

**ROSIANE FILOMENA BATISTA ALMEIDA DE AQUINO**

**PARCELAMENTO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA EM CEBOLA COMO  
ESTRATÉGIA PARA AUMENTAR A EFICIÊNCIA DE APROVEITAMENTO  
DO P**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Roberto Ferreira Novais

Coorientadores: Leonardo Angelo de Aquino  
Willian Rodrigues Macedo

**RIO PARANAÍBA - MINAS GERAIS  
2020**

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Campus Rio Paranaíba  
UFV**

T

A281p Aquino, Rosiane Filomena Batista Almeida de, 1987-  
Parcelamento da adubação fosfatada em cebola como estratégia para  
aumentar a eficiência de aproveitamento do P. / Rosiane Filomena Batista  
Almeida de Aquino. – Rio Paranaíba, MG, 2020.  
38 f. ; 29 cm.

Orientador: Roberto Ferreira Novais.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Fixação de P. *Allium cepa*. 2. Nutrição da cebola. 3. Estabilidade de membrana. I. Universidade Federal de Viçosa. Instituto de Ciências Agrárias. Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal. II. Título.

635.25

**ROSIANE FILOMENA BATISTA ALMEIDA DE AQUINO**

**PARCELAMENTO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA EM CEBOLA COMO  
ESTRATÉGIA PARA AUMENTAR A EFICIÊNCIA DE APROVEITAMENTO  
DO P**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 27 de fevereiro de 2020.

Assentimento:

  
\_\_\_\_\_  
Rosiane Filomena Batista Almeida de Aquino  
Autora

  
\_\_\_\_\_  
Roberto Ferreira Novais  
Orientador

*À Maria Cecília, meu maior presente,  
para que também lute por seus sonhos.*

*DEDICO.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, e ser presença Viva em mim me dando forças para terminar mais essa etapa em minha vida e a Nossa Senhora pela constante intercessão.

À minha família Leonardo e Maria Cecília, por entenderem a minha ausência durante o tempo que conduzi esse projeto, e que me trazem momentos de muitas alegrias que tornaram essa caminhada mais leve, amo vocês!

Aos meus pais Raymundo e Lourdinha responsáveis pela minha formação e que construíram tão bem meus valores, retribuo com mais um título alcançado! À minha irmã Rafaela, amiga de todas as horas, obrigada pelo apoio em todos os projetos. Meu eterno amor por vocês.

À Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba, aos professores e técnicos que lutaram e lutam pelo programa de Pós-Graduação e que juntos apoiam nós estudantes na nossa formação.

Ao professor e orientador Roberto Novais pelo constante apoio, por ser compreensivo com a múltipla profissional que fui durante o mestrado e por me dar a oportunidade de ser sua orientada, seus ensinamentos e delicados “puxões de orelha” me ajudaram a crescer durante esse período. Minha eterna gratidão e respeito pela sua contribuição à ciência.

Ao marido, professor e coorientador Leonardo Aquino, pelo apoio, companheirismo, e pelas cobranças que me amadurecem, sua orientação me faz cada dia mais ter orgulho desse profissional maravilhoso que é.

Ao Prof. Willian Macedo, sempre solícito em me ajudar nos procedimentos da pós-graduação e paciência em me atender. Por agregar ao trabalho seus conhecimentos em fisiologia, trazendo ideias que enriqueceram o trabalho e por ceder seu laboratório para a condução das análises.

Ao Prof. Danilo Soares pela participação na banca de defesa da dissertação e por poder contribuir para a melhoria do trabalho.

Aos técnicos de laboratório Jader e Vinícius, pela paciência e acompanhamento de todas as análises. À DSc. Danúbia pelo auxílio nas análises fisiológicas, que tornou o processo mais fácil.

Aos amigos do grupo de pesquisa Nelson, Alan e Dani, pela ajuda na condução do experimento e ao doutorando Alian pela constante ajuda nas dúvidas de escrita desse trabalho.

Aos amigos que a Pós-Graduação me proporcionou: Alian, Carlos, Pedro, Marcos, Layane, Vanessa, Brenda, Victor e Laís, pelos bons momentos compartilhados durante o curso.

Aos amigos do IPACER – Instituto de Pesquisa Agrícola do Cerrado por terem ajudado na condução do experimento e por entenderem também minha ausência enquanto estava me dedicando aos estudos, minha eterna gratidão a essa equipe nota 10.

Aos amigos-anjos de Rio Paranaíba, minha segunda família, que me apoiaram e torceram para que esse momento se realizasse.

Às amigas Fran e Raquel, mulheres de sucesso, que me motivaram ainda mais com palavras de apoio e pelo auxílio em gerenciar minhas inúmeras funções, minha eterna gratidão.

A todos que direta ou indiretamente ajudaram na concretização desse sonho, meu muito obrigada!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## BIOGRAFIA

Rosiane Filomena Batista Almeida de Aquino, filha de Raymundo Oliveira Almeida e Maria de Lourdes Batista, nasceu em Barbacena-MG no dia 25 de agosto de 1987. Em 2003 iniciou o Ensino médio integrado ao curso técnico em Agricultura na Escola Agrotécnica Federal de Barbacena (EAFB). Sua primeira disciplina no curso técnico foi Solos e, desde então, dedicou-se a essa área durante o curso. Foi bolsista no Laboratório de Solos da EAFB, e como a maioria de seus professores formaram na UFV, incentivaram-lhe a prestar vestibular nesta universidade. Porém, ao formar-se no curso técnico em 2005, não passou no vestibular e teve que trabalhar para ajudar a família. Atuou dois anos como técnica agrícola em Barbacena-MG. Em 2006, conheceu Leonardo Aquino que a incentivou a retomar aos estudos. Casaram-se em 2008, moraram em Januária-MG, onde iniciou sua graduação em 2009 no Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG). Neste, foi bolsista de iniciação científica em Entomologia Agrícola e estagiária em Nutrição Mineral de Plantas. Em 2010 mudaram-se para Rio Paranaíba onde continuou sua graduação na Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba (UFV-CRP). Foi membro do grupo de pesquisas SINP – Soluções Inteligentes em Nutrição de Plantas por 3 anos. Submeteu-se à defesa do Trabalho de Conclusão de Curso em fevereiro de 2014. Em agosto de 2014, graduou-se engenheira agrônoma pela UFV-CRP. Em 2014 participou da fundação do IPACER – Instituto de Pesquisa Agrícola do Cerrado em Rio Paranaíba-MG. Em 2018, ingressou no Mestrado em Produção Vegetal na UFV-CRP, sob orientação do Prof. Roberto Novais que lhe proporcionou trabalhar novamente com sua maior área de interesse na Agronomia – Fertilidade do Solo. Submeteu-se à defesa da dissertação em fevereiro de 2020.

## RESUMO

AQUINO, Rosiane Filomena Batista Almeida de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba, fevereiro de 2020. **Parcelamento da adubação fosfatada em cebola como estratégia para aumentar a eficiência de aproveitamento do P.** Orientador: Roberto Ferreira Novais. Coorientadores: Leonardo Angelo de Aquino e Willian Rodrigues Macedo.

O fósforo (P) é um dos nutrientes aplicados em maiores doses em cultivos de olerícolas devido à elevada fixação do nutriente nos solos. Na cebola, o aproveitamento do P é prejudicado pelas raízes superficiais, pouco ramificadas e de crescimento lento. Para contornar as limitações desta planta, objetivou-se estudar doses de P e formas de parcelamento para aumentar a eficiência da adubação fosfatada e as consequências sob características fisiológicas e de crescimento da cebola. Conduziram-se dois experimentos, um em Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa e outro em Latossolo Amarelo textura média em casa de vegetação. Foram avaliadas as interações entre duas doses de P e cinco formas de parcelamento arranjadas em esquema fatorial (2 x 5) + 1 (testemunha sem P) em delineamento inteiramente casualizado e cinco repetições. A eficiência agronômica, a eficiência de recuperação de P, o P-disponível no solo no final do cultivo, teor de pigmentos fotossintetizantes e a matéria seca produzida foram influenciados positivamente pelo parcelamento de P, especialmente no solo de textura argilosa. A aplicação parcelada de P foi estratégica para reduzir o tempo de contato do P com o solo e prevenir a fixação com garantia da manutenção de maior disponibilidade do nutriente no solo ao longo do ciclo da cultura. No solo de textura média, a menor capacidade de fixação de P tornou menos problemática a movimentação do nutriente aplicado e, com isso, menor o efeito do parcelamento.

Palavras-chave: Fixação de P. *Allium cepa*. Nutrição da cebola. Estabilidade de membrana.

## ABSTRACT

AQUINO, Rosiane Filomena Batista Almeida de, M.Sc., Federal Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba, February, 2020. **Split of phosphate fertilization in onion as a strategy to increase the efficiency of P fertilization.** Advisor: Roberto Ferreira Novais. Co-advisors: Leonardo Angelo de Aquino and Willian Rodrigues Macedo.

Phosphorus (P) is one of the nutrients applied in higher amounts to vegetable crops due to high P fixation to soil clays. In onion, the P use is hampered by shallow roots, little branched and slow growth. In order to overcome the plant's limitations, the objective was to study doses and forms of P splitting to increase the efficiency of phosphate fertilization and consequences on physiological and growth characteristics of onion. Two experiments were carried out, one in a *Red Yellow Latosol* with a clay texture and the other in *Yellow Latosol* with medium texture in a greenhouse. It was evaluated the interactions between two P doses and five split forms arranged in a factorial scheme  $(2 \times 5) + 1$  (control without P) in a completely randomized design and five replications. The agronomic efficiency, the recovery efficiency of P, the P-available in soil at the end of cultivation, the photosynthetic pigment content and the dry matter were positively influenced by P split, especially in clayey soil. Split application of P was strategic to reduce the contact time of P with soil and prevent fixation with guarantee of greater nutrient availability in soil throughout the crop cycle. In medium-textured soil, the lower P-fixing capacity became less problematic the nutrient movement, therefore low splitting effect.

Keywords: P fixation. *Allium cepa*. Onion nutrition. Membrane stability.

## SUMÁRIO

1- Introdução .....	10
2- Material e métodos.....	12
2.1 – Condições experimentais.....	12
2.2 - Avaliações .....	14
2.3 – Análises Estatísticas .....	16
3- Resultados.....	16
4- Discussão .....	20
5- Conclusões .....	24
6- Referências bibliográficas.....	25
Anexo .....	31

## 1- Introdução

Nos cultivos em solos brasileiros o fósforo (P) é, comumente, o nutriente aplicado em maiores doses, dado o alto intemperismo, de modo geral, desses solos, com presença de argilas oxídicas que tornam os solos com alta capacidade de adsorção de fosfatos, o que gera baixa disponibilidade natural de P (Neto et al., 2004). Tais condições limitam a produção das culturas, especialmente das olerícolas que, por apresentarem ciclo curto e sistema radicular com características pouco favoráveis ao aproveitamento dos nutrientes, demandam maiores doses de P (Aguiar Neto et al., 2014; Santos et al., 2017; Aquino et al., 2015).

A cebola é a terceira olerícola mais cultivada no mundo e a mais importante do grupo dos bulbos (Singh et al., 2018). A adequada fertilização em especial com P propicia ganhos expressivos na sua produtividade (Resende et al., 2016; Kumar et al., 2018, Gonçalves et al., 2019b). O acúmulo de P pode chegar a 80 kg ha<sup>-1</sup> de acordo com a cultivar e a produtividade, porém as doses ótimas aplicadas do nutriente atingem 500 kg ha<sup>-1</sup> em solo argiloso (Gonçalves et al., 2019b). A disparidade entre extração e doses aplicadas deve-se, principalmente, à alta fixação do P nos solos argilosos em particular, pelos oxihidróxidos de Fe e de Al que possuem, o que resulta na menor disponibilidade deste nutriente para as plantas (Costa et al., 2006).

Uma maneira de aumentar a eficiência do P aplicado para o cultivo de plantas, de modo particular naqueles com maior poder de fixação deste nutriente, é o parcelamento de sua dose (Aquino et al., 2011; Maroueli et al., 2015). Na cultura do tomateiro o parcelamento da adubação fosfatada com parte da dose no sulco de plantio e parte em cobertura aplicada via gotejamento resultou em maior produtividade de frutos (Maroueli et al., 2015). A resposta do algodoeiro ao P em Neossolo Quartzarênico foi mais expressiva no cultivo irrigado em comparação ao de sequeiro, o que demonstra que a umidade foi crítica à resposta da cultura ao P aplicado (Aquino et al., 2011). Isso se deve ao fato de que tão importante quanto às doses aplicadas de P é o conteúdo volumétrico de água, veículo para o transporte do nutriente no solo, via fluxo difusivo do nutriente (Silva et al., 2018).

Para cebola, a adubação fosfatada é comumente aplicada à lanço, em superfície, e incorporada ao solo na profundidade de até 20 cm (Kurtz et al., 2018) e a quantidade aplicada na semeadura pode chegar a 100% do valor total aplicado na cultura

(Thangasamy e Chavan, 2018). Aplicar o P incorporado, em pré-plantio, permite altos teores iniciais de P na solução do solo, essencial para o crescimento das raízes (Maroueli et al., 2015). Porém, a aplicação do fertilizante fosfatado apenas em pré-plantio torna o P pouco disponível ao longo do ciclo da cultura, devido às reações de precipitação e fixação do fosfato no solo (Javid et al., 2015). Assim, aplicações parceladas de P tendem a sincronizar a demanda da planta com a disponibilização de P via fertilizante, o que reduz a fração deste nutriente em solução suscetível à fixação (Khokhar, 2019). Em cebola, aplicar maiores doses de P na fase inicial da cultura, não coincide com a fase de seu maior acúmulo, pois cerca de 70% da absorção de P pela cultura ocorre entre 30-75 dias (Thangasamy, 2015), restando significativa quantidade de P em solução que pode ser fixada.

As raízes de cebola apresentam crescimento de raízes lento, são superficiais e com pouco crescimento horizontal (Andresen et al., 2016). Durante os 30 primeiros dias de ciclo da cultura o sistema radicular encontra-se na faixa de 0-15 cm de profundidade (Thangasamy et al., 2010), o que faz com a que o aproveitamento inicial dos nutrientes aplicados particularmente daqueles transportados por difusão, como o P, seja limitado. Na cultura da batata o menor suprimento de P reduziu o comprimento e área de raízes para todas as variedades estudadas (Fernandes et al., 2014). Dessa forma, o P estimula o crescimento das raízes, mas o pequeno volume típico de espécies olerícolas (Khokhar, 2019) pode prejudicar o aproveitamento do P incorporado ao solo, especialmente quando a distância entre o P e a raiz é maior. Criar estratégias para aumentar a eficiência da adubação fosfatada torna-se fundamental para melhor aproveitamento do P aplicado e para que as plantas não tenham déficit nutricional.

O desempenho fotossintético da planta pode ser diminuído em função de deficiências nutricionais. A deficiência de P diminui a produção e consumo de ATP e NADPH, menor abertura estomática e assim menor atividade bioquímica e fotoquímica e o saldo é menor disponibilidade de energia na forma de carboidratos o que reduz o crescimento e desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, o rendimento das culturas (Silva et al., 2010; Li et al., 2016; Santos et al., 2018).

A menor eficiência fotossintética causada pela limitação de P tem por consequência o menor transporte de elétrons e maior é o acúmulo de elétrons que formam portanto espécies reativas de oxigênio (EROs) o que estimula os mecanismos

fotoprotetores, vias alternativas de transporte de elétrons e mecanismos de sequestro de espécies reativas de oxigênio, como expressão de carotenoides e enzimas antioxidantes (Li et al., 2018). O P ainda encontra-se presente em componentes estruturais como fosfolipídios na membrana celular (Jiang et al., 2019), garantindo assim membranas celulares mais estáveis e menos passível de dano, porém se acumuladas maiores quantidades de EROs maior é a oxidação de componentes celulares, como a membrana, tornando-a mais instável (Fioreze et al., 2013).

A hipótese desse trabalho é que a aplicação parcelada de P, reduz o tempo de contato do P – solúvel com o solo e com isso diminui a fixação e resulta no maior aproveitamento do nutriente pela cebola. Portanto, objetivou-se estudar doses de P e formas de parcelamento para aumentar a eficiência da adubação fosfatada e as consequências sob características fisiológicas e de crescimento da cebola.

## **2- Material e métodos**

### **2.1 – Condições experimentais**

Dois experimentos foram conduzidos em casa de vegetação na Estação Experimental do IPACER – Instituto de Pesquisa Agrícola do Cerrado em Rio Paranaíba – MG (Latitude - 19° 12' 4,2" S, Longitude - 46° 09' 19,32" O). Um experimento com amostra de um Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa e outro um Latossolo Amarelo textura média (Embrapa, 2013), cujos atributos químicos e físicos são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1** - Análises química e física de amostras dos solos utilizados nos experimentos.

Análise química												
Solo	pH H <sub>2</sub> O	P-rem (mg L <sup>-1</sup> )	P --	K <sup>+</sup> mg dm <sup>-3</sup>	S --	Ca <sup>2+</sup> -----	Mg <sup>2+</sup> -----	Al <sup>3+</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	H+Al -----	M. O. -----	V --	m --
LA*	5,3	36,1	4,7	24,5	12	1,5	0,6	0,1	3,5	0,7	38	4,4
LVA**	5,7	11,0	1,1	20	18	4,3	0,6	0,0	3,5	3,3	58	0,0
Análise física												
Solo	Areia grossa -----	Areia fina -----	Silte -----	Argila -----	Classificação Textural							
	----- kg/kg -----											
LA*	0,644	0,132	0,010	0,152	Franco-arenosa							
LVA**	0,161	0,194	0,147	0,560	Argiloso							

pH H<sub>2</sub>O: Relação 1:2,5; P-rem = P remanescente, concentração de P quantificada no sobrenadante após agitação de 10 cm<sup>3</sup> de solo por uma hora em 100 ml de uma solução com 60 mg de P; K<sup>+</sup>: extrator Mehlich-1; S: extrator fosfato monocálcico em ácido acético; Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>: extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; H+Al: extrator acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>, pH 7,0. \* LA (Latosolo Amarelo textura média) e \*\* LVA (Latosolo Vermelho-Amarelo textura argilosa).

Foram combinadas duas doses de P (uma dose ótima e 50% desta) e cinco formas de parcelamento em esquema fatorial (2 x 5) + 1. O tratamento adicional foi a testemunha sem aplicação de P. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições. A dose ótima foi determinada de acordo com o P remanescente do solo e indicações de doses de P por Alvarez et al. (2000) para experimentos com solo em casa de vegetação. Definiram-se as doses de 450 e 225 mg dm<sup>-3</sup> de P e de 300 e 150 mg dm<sup>-3</sup> para o LVA e para o LA, respectivamente. As formas de parcelamentos foram:

- 100% do P na semeadura incorporado ao solo;
- 50% do P na semeadura incorporado ao solo e 50% parcelado em três vezes, aos 10, 30 e 50 dias após a emergência (DAE);
- 50% do P na semeadura incorporado ao solo e 50% parcelado em seis vezes, aos 10, 18, 26, 34, 42 e 50 DAE;
- 50% do P na semeadura incorporado ao solo e 50% parcelado em nove vezes, aos 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50 DAE;
- 100% do P parcelado em nove vezes, aos 0, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, e 50 DAE.

Os experimentos foram semeados em 19/05/2018. A unidade experimental foi um vaso com 7,5 dm<sup>3</sup> de solo no qual foram colocadas para germinar 20 sementes da variedade Aquarius. Após a emergência realizou-se o desbaste para permanecerem oito plantas por vaso.

Anterior à semeadura, a saturação por bases dos solos foi elevada para 70% com calcário dolomítico (38% CaO e 14% MgO) e foi aplicado gesso agrícola (17% de Ca e 14% de S) na dose de 250 mg dm<sup>-3</sup> para fornecimento de S. No dia da semeadura para fornecimento de P foram utilizadas as fontes MAP – fosfato monoamônico (12-61-00) e MKP – fosfato monopotássico (00-52-34) e para fornecimento de nitrogênio e potássio as fontes utilizadas foram nitrato de amônio e cloreto de potássio, respectivamente para o nivelamento de ambos os solos em todos os tratamentos na dose de 150 mg dm<sup>-3</sup>.

Em cobertura, os tratamentos com P parcelado foram aplicados via solução com MAP (12% de N e 61% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e MKP (34% de K<sub>2</sub>O e 52% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) com aplicação no centro do vaso. As fontes MAP e MKP foram combinadas para reduzir o efeito do ânion acompanhante do P e minimizar a quantidade de nitrato de amônio ou cloreto de potássio, necessária para ajustar as doses iguais de N e de K para todos os vasos. Micronutrientes foram aplicados nas doses de: 0,6 mg dm<sup>-3</sup> de B (ácido bórico), 0,38 mg dm<sup>-3</sup> de Cu (sulfato de cobre) e 1,5 mg dm<sup>-3</sup> de Zn (sulfato de zinco). As coberturas com micronutrientes foram realizadas via solução e parceladas em três aplicações aos 15, 30 e 45 DAE.

A irrigação do experimento via microaspersão aérea foi realizada diariamente a fim de repor a evapotranspiração da cultura. Pragas e doenças foram controladas conforme a necessidade com defensivos registrados para a cultura. Quando houve plantas daninhas nos vasos foi feito o arranquio manual.

## 2.2 - Avaliações

Aos 30 DAE quando a planta apresentava quatro folhas expandidas, coletaram-se três plantas por vaso para determinar a matéria seca e o teor de P. Aos 64 DAE foram coletadas folhas para análise de extravasamento de eletrólitos e teores de pigmentos. Para extravasamento de eletrólitos foram retirados 10 discos foliares, de aproximadamente 1 cm de diâmetro, e incubados em 20 mL de água destilada à 25 °C por 24 h, em agitação leve e constante. Após esse período a condutividade elétrica do extrato (L1) foi medida utilizando-se um condutivímetro de bancada. As amostras foram fervidas a 100°C, durante 1 h em tubos vedados. Esses tubos foram resfriados a temperatura ambiente e foi realizada a segunda leitura (L2). O extravasamento de eletrólitos (EL) foi determinado segundo Talukdar (2013), em que:  $EL (\%) = (L1 / L2) \times 100$ .

Para extração dos pigmentos fotossintéticos (Clorofila a, clorofila b, clorofila total e carotenóides) 100 mg de material vegetal fresco foram acondicionados em tubos contendo como extrator solução de acetona 80% (v/v), e mantidos no escuro por 72 h (Macedo et al., 2013). Posteriormente, os extratos foram submetidos à leitura em um espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 470, 645 e 663 nm, para determinação de carotenoides e das clorofilas a, b e total, respectivamente (Witham et al., 1971; Harmut et al., 1983).

Os experimentos foram encerrados com as plantas no início de bulbificação aos 65 DAE. A planta (parte aérea + bulbo) foi seca em estufa de ventilação forçada de ar a 70°C por 72 horas e, determinada a matéria seca total que foi pesada e triturada em moinho tipo Willey. O material vegetal foi submetido à digestão nitroperclórica e o teor de P dosado conforme métodos descritos em Silva (2009). O acúmulo total de P foi obtido pelo produto entre produção de matéria seca e teor de P.

Foram calculadas as eficiências agronômicas e de recuperação de P. A eficiência agronômica que é a quantidade de matéria seca acumulada por unidade de nutriente aplicado foi calculada pela seguinte equação (adaptada de Fageria, 1998):

$$EA = (MS_{Ad} - MS_{NAd}) / D_{Ap} \times 100$$

Em que:

EA = Eficiência agronômica do P aplicado via fertilizante (mg MS / mg dm<sup>-3</sup> de P)

MS<sub>Ad</sub> = Matéria seca produzida pela planta em tratamento com adição de P (mg)

MS<sub>NAd</sub> = Matéria seca produzida pela planta em tratamento sem adição de P (testemunha) (mg)

D<sub>Ap</sub> = Dose do nutriente aplicado (mg dm<sup>-3</sup>)

A eficiência de recuperação que é a quantidade de nutriente acumulado por unidade de nutriente aplicado (Fageria, 1998) foi calculada pela seguinte equação:

$$ER = (Q_{Ad} - Q_{NAd}) / D_{Ap} \times 100$$

Em que:

ER = Eficiência de recuperação pela planta do P aplicado via fertilizante (%)

Q<sub>Ad</sub> = Quantidade absorvida do nutriente pela planta em tratamento com adição de P (mg)

Q<sub>NAd</sub> = Quantidade absorvida do nutriente pela planta em tratamento sem adição de P (mg)

$D_{Ap}$  = Dose do nutriente aplicado ( $\text{mg dm}^{-3}$ )

Amostras de solo foram coletadas no centro do vaso (local de aplicação do P em cobertura) no final do experimento na profundidade 0-20 cm e analisadas para determinar o teor de P disponível pelo extrator Melich-1 (Donagema, 2011).

### **2.3 – Análises Estatísticas**

As condições de normalidade (pelo teste de Jarque-Bera) e homocedasticidade (pelo teste de Levene-Brown-Forsythe) foram averiguadas para a análise de variância. Quando os dados não atenderam aos pressupostos para análise de variância eles foram transformados, sendo indicados nas tabelas os dados originais. Os experimentos tiveram os graus de liberdade dos fatores em estudo desdobrados e as doses comparadas pelo teste F e o parcelamento de P, dentro de cada dose de P aplicada, comparado pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK). O software estatístico utilizado foi o Speed Stat (Carvalho & Mendes, 2017) e a significância adotada foi de 5%.

### **3- Resultados**

No solo de textura média (LA) não houve efeito de dose e forma de parcelamento para matéria seca (MS) total aos 30 DAE. A MS no final do experimento foi maior para o parcelamento de P mais frequente. O conteúdo de P na planta aos 30 DAE apresentou interação entre dose x modo de aplicação de P (Tabela 2). Quando a dose aplicada foi a menor, não houve diferença entre formas de parcelamento. Com a maior dose de P fornecida, a aplicação parcelada resultou em maior conteúdo de P aos 30DAE.

**Tabela 2.** Matéria seca e conteúdo de P aos 30 DAE e na colheita do experimento, eficiência agrônômica e de recuperação, P disponível no solo ao final do experimento, extravasamento de eletrólitos e teor de pigmentos em função da interação entre doses e modos de aplicação de P no solo de textura média (LA).

Modo de aplicação de P (% P em sementeira + % do P parcelado)	Doses de P (mg/dm <sup>3</sup> )															
	150				300				150				300			
	Matéria Seca 30 DAE (mg/planta)				Matéria Seca colheita (mg/planta)				Conteúdo de P aos 30 DAE (mg/planta)				Conteúdo de P na colheita (mg/planta)			
Controle (sem P)	12 <sup>‡</sup>				17 <sup>‡</sup>				0,014 <sup>‡</sup>				0,018 <sup>‡</sup>			
100% sementeira	210	Aa	183	Ab	1427	Ab	1533	Ab	1,42	Aa	1,92	Ab	7,2	Bb	11,2	Aa
50% sementeira + 50% parcelado (3X)	217	Aa	269	Aa	1394	Bb	1843	Aab	1,48	Ba	3,06	Aa	8,4	Bab	13,2	Aa
50% sementeira + 50% parcelado (6X)	203	Aa	226	Aab	1552	Ab	1792	Aab	1,74	Ba	2,69	Aa	8,8	Bab	12,7	Aa
50% sementeira + 50% parcelado (9X)	253	Aa	287	Aa	1871	Aa	1839	Aab	2,02	Ba	3,34	Aa	9,7	Ba	12,8	Aa
100% parcelado (9X)	241	Aa	281	Aa	1811	Aa	1896	Aa	1,71	Ba	3,25	Aa	9,7	Ba	12,6	Aa
F <sub>modo de aplicação</sub>	5,39**				7,15**				7,77**				5,23**			
F <sub>doses</sub>	4,15*				9,94**				94,02**				133,96**			
F <sub>interação</sub>	1,27 <sup>Ns</sup>				2,34 <sup>0</sup>				2,78*				1,07 <sup>Ns</sup>			
CV (%)	19,6				12,3				20,9				11,9			
	Eficiência Agrônômica (mg MS /mg P)				Eficiência de Recuperação (%)				P disponível (mg/dm <sup>3</sup> )				Extravasamento relativo de eletrólitos (%)			
Controle (sem P)	--				--				11,0 <sup>‡</sup>				58,3 <sup>‡</sup>			
100% sementeira	9,4	Ab	5,1	Ba	4,76	Ab	3,73	Ba	137	Bd	238	Ac	29,5	Aab	30,7	Aab
50% sementeira + 50% parcelado (3X)	9,2	Ab	6,1	Ba	5,57	Aa	4,40	Ba	194	Bc	323	Ab	35,4	Aa	28,8	Aab
50% sementeira + 50% parcelado (6X)	10,2	Ab	5,9	Ba	5,88	Aa	4,22	Ba	348	Aa	312	Bb	26,1	Aab	22,0	Ab
50% sementeira + 50% parcelado (9X)	12,4	Aa	6,1	Ba	6,43	Aa	4,27	Ba	198	Bc	332	Ab	32,1	Aab	26,3	Aab
100% parcelado (9X)	12,0	Aa	6,3	Ba	6,44	Aa	4,21	Ba	258	Bb	396	Aa	24,1	Bb	35,2	Aa
F <sub>modo de aplicação</sub>	6,8**				5,28**				56,13**				2,16 <sup>Ns</sup>			
F <sub>doses</sub>	244,82**				90,19**				176,67**				0,29 <sup>Ns</sup>			
F <sub>interação</sub>	3,44*				2,02~				21,96**				4,02*			
CV (%)	13,0				12,3				9,9				24,2			
	Clorofila a (mg/g/ de matéria fresca)				Clorofila b (mg/g/ de matéria fresca)				Clorofila total (mg/g/ de matéria fresca)				Carotenoides (mg/g/ de matéria fresca)			
Controle (sem P)	0,17 <sup>‡</sup>				0,05 <sup>‡</sup>				0,22 <sup>‡</sup>				0,064 <sup>‡</sup>			
100% sementeira	0,33	Aa	0,31	Ab	0,10	Aa	0,10	Ab	0,43	Aa	0,41	Ab	0,0112	Aa	0,0104	Ab
50% sementeira + 50% parcelado (3X)	0,37	Aa	0,36	Aab	0,12	Aa	0,12	Aab	0,49	Aa	0,48	Aab	0,0126	Aa	0,0124	Aab
50% sementeira + 50% parcelado (6X)	0,32	Aa	0,36	Aab	0,10	Aa	0,11	Aab	0,43	Aa	0,47	Aab	0,0110	Aa	0,0122	Aab
50% sementeira + 50% parcelado (9X)	0,30	Ba	0,39	Aab	0,10	Aa	0,12	Aab	0,40	Ba	0,51	Aab	0,0106	Ba	0,0137	Aab
100% parcelado (9X)	0,30	Ba	0,44	Aa	0,10	Ba	0,14	Aa	0,40	Ba	0,58	Aa	0,0105	Ba	0,0151	Aa
F <sub>modo de aplicação</sub>	1,30 <sup>Ns</sup>				1,38 <sup>Ns</sup>				1,32 <sup>Ns</sup>				1,27 <sup>Ns</sup>			
F <sub>doses</sub>	7,50*				6,35*				7,26*				6,17*			
F <sub>interação</sub>	3,00*				2,17~				2,8*				2,55 <sup>0</sup>			
CV (%)	14,2				15,0				14,4				15,1			

Modos de aplicação ou parcelamento: 3X= 50% do P na sementeira incorporado ao solo e 50% parcelado em três vezes, (aos 10, 30 e 50 dias após a emergência); 6X = 50% do P na sementeira incorporado ao solo e 50% parcelado em seis vezes (aos 10, 18, 26, 34, 42 e 50 dias após a emergência); 9X= 50% do P na sementeira incorporado ao solo e 50% parcelado em nove vezes (aos 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50 dias após a emergência) e 9X Total = 100% do P parcelado em nove vezes (aos 0, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, e 50 dias após a emergência). <sup>Ns</sup>, ~, 0, \*, \*\* - Não significativo ou significativo a 25, 10, 5 e 1% pelo teste F, respectivamente. Médias seguidas por mesmas letras minúsculas nas colunas ou maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste Student Newman-Keuls a 5%. Médias do tratamento sem aplicação de P seguidas por ‡ diferem da média do fatorial pelo teste F a 5%.

A eficiência agronômica de P no solo de textura média (LA) foi maior com a aplicação da menor dose de P. O parcelamento da adubação fosfatada, especialmente o mais frequente, resultou em aumento da eficiência agronômica quando a dose de P aplicada foi a menor (Tabela 2).

A eficiência de recuperação de P foi maior para a menor dose testada. O P disponível no solo de textura média no final do experimento foi incrementado pela aplicação parcelada do fertilizante (Tabela 2). As maiores disponibilidades de P no solo ocorreram quando a menor dose foi parcelada 50% em semeadura e 50% em seis aplicações ou quando a maior dose foi aplicada exclusivamente parcelada em nove aplicações.

As plantas cultivadas sem adubação fosfatada apresentaram extravasamento relativo de eletrólitos de 58% que foi reduzido para 24% nas plantas do tratamento com a menor dose de P aplicada parceladamente. Os teores de pigmentos fotossintetizantes não foram influenciados pelo modo de aplicação de P, porém foram maiores quando aplicada a maior dose de P no solo de textura média (Tabela 2).

As plantas cultivadas em solo argiloso (LVA) apresentaram maior MS aos 30 DAE quando adubadas com a maior dose de P aplicada e quando essa parcelada de forma mais frequente (Tabela 3). A menor dose de P aplicada 100% na semeadura proporcionou menor MS aos 30 DAE. A MS de plantas e o conteúdo de P no final do experimento foram incrementados pela maior dose do fertilizante fosfatado. Esses incrementos foram potencializados pelo parcelamento do P em maior frequência.

A eficiência agronômica de P, a eficiência de sua recuperação e o P-disponível no solo no final do cultivo foram influenciados positivamente pelo parcelamento de P, no experimento em solo argiloso para ambas as doses testadas (Tabela 3). Com a aplicação da menor dose de P, a MS no final do experimento foi menor quando comparada a maior dose de P, exceto quando essa menor dose de P foi aplicada com maior frequência e exclusivamente parcelada em nove aplicações.

**Tabela 3.** Matéria seca e conteúdo de P aos 30 DAE e na colheita do experimento, eficiência agrônômica e de recuperação, P disponível no solo ao final do experimento, extravasamento de eletrólitos e teor de pigmentos em função da interação entre doses e modos de aplicação de P em solo argiloso.

Modo de aplicação de P (% P em sementeira + % do P parcelado)	Doses de P (mg/dm <sup>3</sup> )															
	225				450				225				450			
	Matéria Seca 30 DAE (mg/planta)				Matéria Seca colheita (mg/planta)				Conteúdo de P aos 30 DAE (mg/planta)				Conteúdo de P na colheita (mg/planta)			
Controle (sem P)	17 <sup>#</sup>				16 <sup>#</sup>				0,013 <sup>#</sup>				0,012 <sup>#</sup>			
100% sementeira	27	Bc	52	Ac	118	Bd	229	Ab	0,04	Ac	0,07	Ad	0,23	Bd	0,48	Ac
50% sementeira + 50% parcelado (3X)	65	Bb	150	Aa	313	Bb	1249	Aa	0,10	Bb	0,48	Aab	0,74	Bb	3,49	Aa
50% sementeira + 50% parcelado (6X)	22	Bc	94	Ab	160	Bcd	1044	Aa	0,04	Bc	0,37	Ab	0,37	Bc	2,68	Aa
50% sementeira + 50% parcelado (9X)	27	Bc	80	Abc	249	Bbc	1189	Aa	0,07	Bbc	0,22	Ac	0,44	Bc	3,18	Aa
100% parcelado (9X)	96	Ba	172	Aa	1010	Aa	1001	Aa	0,27	Ba	0,57	Aa	1,92	Aa	1,66	Ab
F <sub>modo de aplicação</sub>	28,09**				91,19**				43,51**				124,13**			
F <sub>doses</sub>	89,22**				348,72**				151,63**				526,5**			
F <sub>interação</sub>	1,77~				43,5**				8,03**				69,92**			
CV (%)	16,9				14,7				12,3				9,6			
	Eficiência Agrônômica (mg MS /mg P)				Eficiência de Recuperação (%)				P disponível (mg/dm <sup>3</sup> )				Extravasamento relativo de eletrólitos (%)			
Controle (sem P)	--				--				2,3 <sup>#</sup>				51,2 <sup>#</sup>			
100% sementeira	0,5	Ac	0,5	Ab	0,013	Ad	0,013	Ad	10,1	Bc	20,8	Ad	31,4	Aab	34,4	Aa
50% sementeira + 50% parcelado (3X)	1,3	Bb	2,7	Aa	0,044	Bb	0,103	Aa	17,8	Bb	45,8	Ac	31,2	Aab	21,1	Bb
50% sementeira + 50% parcelado (6X)	0,6	Bc	2,3	Aa	0,021	Bc	0,079	Ab	14,1	Bbc	48,2	Ac	23,3	Ac	22,7	Ab
50% sementeira + 50% parcelado (9X)	1,0	Bb	2,6	Aa	0,025	Bc	0,093	Aab	19,2	Bb	84,2	Ab	35,2	Aa	22,9	Bb
100% parcelado (9X)	4,4	Aa	2,2	Ba	0,113	Aa	0,049	Bc	27,5	Ba	133,1	Aa	26,4	Bbc	34,1	Aa
F <sub>modo de aplicação</sub>	81,2**				100,58**				41,05**				12,94**			
F <sub>doses</sub>	35,81**				104,06**				274,27**				6,69*			
F <sub>interação</sub>	42,26**				71,94**				4,8*				16,16**			
CV (%)	16,3				12,1				8,1				8,6			
	Clorofila a (mg/g/ de matéria fresca)				Clorofila b (mg/g/ de matéria fresca)				Clorofila total (mg/g/ de matéria fresca)				Carotenoides (mg/g/ de matéria fresca)			
Controle (sem P)	0,31 <sup>#</sup>				0,10 <sup>#</sup>				0,41 <sup>#</sup>				0,0128 <sup>#</sup>			
100% sementeira	0,44	Ab	0,54	Ab	0,13	Ab	0,15	Ab	0,57	Ab	0,69	Ab	0,0170	Aa	0,0194	Ab
50% sementeira + 50% parcelado (3X)	0,59	Aab	0,67	Ab	0,18	Aab	0,20	Ab	0,77	Aab	0,86	Ab	0,0221	Aa	0,0236	Ab
50% sementeira + 50% parcelado (6X)	0,57	Bab	0,73	Aab	0,17	Bab	0,22	Ab	0,74	Bab	0,94	Aab	0,0216	Aa	0,0259	Aab
50% sementeira + 50% parcelado (9X)	0,57	Aab	0,65	Ab	0,17	Aab	0,20	Ab	0,74	Aab	0,85	Ab	0,0211	Aa	0,0229	Ab
100% parcelado (9X)	0,67	Ba	0,85	Aa	0,20	Ba	0,27	Aa	0,87	Ba	1,12	Aa	0,0238	Ba	0,0297	Aa
F <sub>modo de aplicação</sub>	7,73**				8,65**				7,98**				6,99**			
F <sub>doses</sub>	13,67**				15,18**				14,09**				9,22**			
F <sub>interação</sub>	0,48 <sup>Ns</sup>				0,9 <sup>Ns</sup>				0,56 <sup>Ns</sup>				0,63 <sup>Ns</sup>			
CV (%)	14,4				15,3				14,6				13,2			

Modos de aplicação ou parcelamento: 3X= 50% do P na sementeira incorporado ao solo e 50% parcelado em três vezes, (aos 10, 30 e 50 dias após a emergência); 6X = 50% do P na sementeira incorporado ao solo e 50% parcelado em seis vezes (aos 10, 18, 26, 34, 42 e 50 dias após a emergência); 9X= 50% do P na sementeira incorporado ao solo e 50% parcelado em nove vezes (aos 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50 dias após a emergência) e 9X Total = 100% do P parcelado em nove vezes (aos 0, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, e 50 dias após a emergência). <sup>Ns</sup>, \*, \*\* - Não significativo ou significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente. Médias seguidas por mesmas letras minúsculas nas colunas ou maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste Student Newman-Keuls a 5%. Médias do tratamento sem aplicação de P seguidas por # diferem da média do fatorial pelo teste F a 5%.

As plantas cultivadas no solo argiloso sem aplicação de P apresentaram extravasamento de eletrólitos de 51%. A adubação fosfatada e o parcelamento do fertilizante reduziram o extravasamento de eletrólitos. A menor dose de P, comparada a maior dose, dependeu mais da frequência de parcelamento para redução do extravasamento eletrólitos. Os teores de pigmentos fotossintetizantes apresentaram-se maiores na maior dose de P aplicada e no parcelamento mais frequente (Tabela 3).

#### **4- Discussão**

No solo argiloso (LVA), a menor dose de P resultou no menor conteúdo do nutriente na planta aos 30 DAE e ao final do experimento. Isso pode ser atribuído à alta fixação do nutriente (Gonçalves et al., 2019a). No solo de textura média (LA), a menor capacidade de fixação de P torna menos problemática a difusão do nutriente aplicado e, com isso, menor efeito do parcelamento. Apesar da baixa mobilidade do P no solo, a fertirrigação permite que o P alcance maiores profundidades no solo (Maroelli et al., 2015). Isso ocorre devido à alta disponibilidade de água próximo ao ponto de aplicação da solução. A profundidade que o P irá alcançar no solo correlaciona-se positivamente com a concentração da solução, o tempo de irrigação e a umidade inicial (Satpute & Singh, 2017; Silva et al., 2018).

Aos 15 DAE as plantas que receberam adubação não apresentavam diferença visual de crescimento para ambos os solos e cresceram mais que as plantas não adubadas com P. Isso indica que a disponibilidade natural de P no solo não era suficiente para a demanda inicial das plantas. A aplicação parcelada de P foi estratégica para reduzir o tempo de contato do P com o solo e prevenir sua fixação. No entanto, quando a dose aplicada em cada cobertura foi baixa (parcelamentos mais frequentes) houve menor crescimento da cebola. Isso pode ser atribuído à cebola demandar maior fornecimento de P na fase inicial devido à baixa reserva de P na semente e pelas raízes formadas apresentarem baixo volume de solo explorado, o que pode limitar o crescimento das olerícolas caso a adubação não viabilize alta disponibilidade de P no solo (Aquino et al., 2015; Resende et al., 2016).

Com aplicações de doses baixas (aplicações mais frequentes) é possível que o P se concentre nos primeiros centímetros do solo fora do local de maior concentração das raízes da planta, o que ocorreu ao aplicar a menor dose parceladamente, que resultou em menor conteúdo de P aos 30 DAE. O sistema radicular superficial e de baixo volume de espécies de *Allium* aumentam as necessidades de alta disponibilidade de P no solo quando as plantas são jovens (Brewster, 2008; Santos et al., 2017). Com o crescimento e desenvolvimento da planta há aumento do volume de raízes o que favorece a absorção do nutriente. O maior volume de raízes é importante, pois a partir da formação de bulbos intensifica-se a absorção de nutrientes (Gonçalves et al., 2019b). No entanto, apesar do maior volume de raízes, o tempo transcorrido entre a semeadura e bulbificação pode levar ao envelhecimento da ligação P-solo tornando o nutriente indisponível para a cultura (Neto et al., 2004). Assim, a aplicação de parte do P-solúvel por ocasião da semeadura e próximo da semente, associada a aplicações em cobertura durante o ciclo, são estratégicas para garantir o suprimento de P inicial e a grande absorção que ocorre a partir da bulbificação.

O parcelamento foi benéfico para aumentar o conteúdo de P na planta no final do experimento em solo argiloso, especialmente quando a dose do nutriente aplicada foi menor. Isso se deve à alta capacidade de fixação de P dos Latossolos argilosos e à formação das ligações covalentes estáveis com os oxi-hidróxidos de Fe e de Al que diminuem a disponibilidade do nutriente para as plantas (Costa et al., 2006). O aumento do tempo de contato da fonte solúvel de P com o solo acarreta redução da sua disponibilidade para as plantas (Freitas et al., 2013). O parcelamento reduz o tempo de contato entre P e solo, o que possibilita a manutenção de maior proporção de P-solúvel disponível para a cultura (Silva et al., 2010; Li et al 2018).

O conteúdo de P no final do experimento em solo argiloso contribuiu com os teores de P disponível no solo. Quando aplicado 50% do P em cobertura houve maior disponibilidade de P no solo no final do ciclo da cultura, o que possibilitou maior absorção de P pelas plantas. A matéria seca produzida foi 4,5 vezes maior nas plantas em que o P foi aplicado 50% antes da semeadura e 50% parcelado em fertirrigação, em comparação às plantas em que o P foi aplicado integralmente antes da semeadura. A aplicação de 50% do P na semeadura elevou a disponibilidade inicial de P e, conseqüentemente, promoveu o crescimento inicial das plantas, enquanto o

fornecimento parcelado do P restante, mostrou-se adequado para a manutenção de alta disponibilidade de P no solo até a colheita.

No solo de textura média não houve efeito do parcelamento de P sobre o conteúdo de P aos 30 DAE. Na dose menor o conteúdo de P no final do experimento foi maior no parcelamento mais frequente em comparação ao fósforo aplicado todo em semeadura. No algodoeiro, cultivado em Neossolo Quartzarênico, também não houve efeito do parcelamento no teor de nutrientes na folha índice (Aquino et al., 2011), o que os autores atribuíram ao baixo fator capacidade de P do solo. A eficiência de recuperação de P no solo argiloso dependeu da interação doses de P e formas de aplicação. A maior eficiência de recuperação foi alcançada com a menor dose de P aplicada parceladamente (qualquer forma de parcelamento). Com a maior dose de P, a eficiência de recuperação não foi incrementada pelo parcelamento. De forma semelhante, a aplicação de maiores doses de P em solo arenoso resultaram em menores eficiências agronômicas e de recuperação de P pela batateira (Martins et al., 2018).

No cultivo no solo argiloso, o menor crescimento de plantas e conteúdo de P aos 30 DAE e na colheita do experimento ocorreu nas plantas em que o P foi aplicado exclusivamente antes da semeadura. É possível que o P aplicado apenas na semeadura estivesse boa parte não disponível para a planta com a formação de ligações estáveis entre o P e as argilas oxídicas. Com o maior tempo de contato com o solo, especialmente quando esse tem maior poder tampão, há redução da disponibilidade de P (Costa et al., 2006). O teor de P-disponível ao final do experimento foi incrementado pela aplicação mais frequente em cobertura. Esses resultados assemelham-se aos obtidos em cultivo de tomateiro industrial em Latossolo textura argilosa, em que a maior disponibilidade de P no solo e produtividade ao final do experimento foram alcançadas com a aplicação parcelada de P via fertirrigação (Marouelli et al., 2015).

No solo textura argilosa a eficiência de recuperação foi maior na maior dose de P aplicada. Tal resultado contraria o observado em batata em que há redução da taxa de recuperação com o aumento da dose de P (Martins et al., 2018). Isso pode ter ocorrido porque a menor dose de P foi baixa para a magnitude do poder tampão de P do solo argiloso. Latossolos argilosos podem apresentar elevada capacidade de adsorção de P, que ultrapassa a  $2 \text{ mg cm}^{-3}$  de P, o que equivaleria à fixação de mais de  $4.000 \text{ kg ha}^{-1}$  de P ou mais de  $9.000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$  uniformemente incorporados a 20 cm de profundidade no solo (Neto et al., 2004). Além do alto poder tampão, as reações de adsorção podem

evoluir para ligação covalente estável (Costa et al., 2006) que indisponibilizam o nutriente para as plantas (Neto et al., 2004; Freitas et al., 2013) e reduz a eficiência de recuperação.

Os valores encontrados para eficiência de recuperação foram baixos para ambos os solos. Em cultivo de cenoura em solo argiloso e com aplicação de P incorporado ao solo, a eficiência de recuperação de P foi de 2,33 e 5,61% para cultivos de verão e inverno, respectivamente (Assunção et al., 2016). As elevadas doses de P aplicadas em cebola (Resende et al., 2016) podem ser revistas se aplicações parceladas de P via fertirrigação forem utilizadas.

A deficiência de P reduz o crescimento das plantas e isto se deve à diminuição de divisões celulares (Rao et al., 1990; Jiang et al., 2019). Os teores de pigmentos também foram menores quando houve menor adubação com P. De forma similar, a baixa disponibilidade de P em meloeiro reduziu teores das clorofilas a e b e os carotenoides (Li et al., 2018). Os teores de pigmentos têm relação direta com a fotossíntese (Rao et al., 1990; Silva et al., 2010) e esses foram incrementados pelo parcelamento do adubo fosfatado, especialmente no solo argiloso e quando aplicada a maior dose de P.

A aplicação parcelada de P no experimento em solo argiloso, permitiu alcance de maior disponibilidade de P no solo ao final do experimento. A manutenção de alta disponibilidade de P na fase de crescimento dos bulbos é importante para garantir altas taxas de fotossíntese e, com isso, maior produtividade (Resende et al., 2016). A reduzida disponibilidade de P no solo na fase de enchimento de bulbos, associada ao particionamento preferencial de P para os bulbos (Aguiar Neto et al., 2014; Gonçalves et al., 2019b) pode gerar empobrecimento desse nutriente no limbo foliar. O reduzido teor foliar de P pode limitar a fotossíntese porque os transportadores de triose do cloroplasto dependem de  $P_i$  para a exportação dos hidratos de carbono e manutenção de concentrações adequadas de P no estroma cloroplástico (Rychter e Rao, 2005).

O P participa nas moléculas de transferência de energia (ATP, NADP(H) e FADH<sub>2</sub>) e o adequado fornecimento à planta potencializa a atividade fotoquímica e bioquímica, ou seja, maior atividade fotossintética (Li et al., 2018) potencializando a produção de carboidratos e o aumento da matéria seca. Ao diminuir a concentração de fosfato há um suprimento limitado de  $P_i$  o que gera várias mudanças, não apenas no

processo fotossintético, mas também na glicólise, respiração e metabolismo do nitrogênio, as quais reduzem a taxa de fotossíntese líquida (Rychter & Rao, 2005). No milho a baixa disponibilidade de P inibiu a fotossíntese ao regular negativamente as proteínas envolvidas no enriquecimento de CO<sub>2</sub>, no ciclo de Calvin e na cadeia de transporte de elétrons (Zhang et al., 2014; Crous et al., 2017).

Em plantas adequadamente nutridas em P, de 85 a 95% do P inorgânico (Pi) está nos vacúolos (Pi não metabólico). A redução no suprimento de P acarreta redução do Pi do vacúolo e, por conseguinte, no Pi dos cloroplastos e do citosol (Pi metabólico) que é redistribuído para os órgãos em crescimento ou de reserva (Jiang et al., 2019). Dada a fácil redistribuição floemática do P na planta, os sintomas de deficiência (amarelecimento das folhas) aparecem inicialmente nas folhas mais velhas, o que foi possível verificar nas plantas do tratamento com baixo suprimento de P no solo argiloso.

O parcelamento da adubação fosfatada contribui para menor extravasamento de eletrólitos (Tabelas 2 e 3), o que pode ser atribuído em parte à formação dos fosfolipídeos e ácidos nucleicos (Li et al., 2016) o que garante membrana celular bem estruturada e com mecanismos constitutivos de proteção plenos. Em parte, o menor extravasamento de eletrólitos pode ser pela menor geração de espécies reativas de oxigênio (EROs) tóxicas às plantas, que desestabilizam a cadeia de transporte de elétrons, dentre elas: superóxido (O<sub>2</sub><sup>-</sup>), radical hidroxila (OH<sup>-</sup>) e peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), os quais são responsáveis pela oxidação lipídica, provocando alteração e danos de membrana (Li et al., 2018). A manutenção de altos teores de Pi no citosol permite alta exportação de trioses-P do estroma e importação de Pi, condição necessária para aumento do *quenching* fotoquímico e redução do não-fotoquímico (Rychter & Rao, 2005). A redução do *quenching* fotoquímico pode resultar em EROs, as quais podem danificar membranas (Chang et al. 2016) o que pode ser mensurado por maior extravasamento de eletrólitos (Fioreze et al., 2013).

## 5- Conclusões

A aplicação parcelada de P é estratégica para reduzir o tempo de contato do P com o solo e prevenir a fixação de modo particular em solos argilosos. A aplicação de parte do P-solúvel por ocasião da semeadura e próximo à semente, associado às

aplicações em cobertura durante o ciclo garantem a alta demanda inicial e a grande absorção que ocorre a partir da bulbificação da cebola.

## 6- Referências bibliográficas

Abel S, Ticconi CA, Delatorre CA. Phosphate sensing in higher plants. **Physiologia Plantarum**, v.115, p.1–8, 2010.

Aguiar Neto P, Grangeiro LC, Mendes MAS, Costa ND, Marrocos STP, Sousa VFL. Crescimento e acúmulo de macronutrientes na cultura da cebola em Baraúna (RN) e Petrolina (PE). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.4, p.370-380, 2014.

Alvarez VH, Novais RF, Dias LE, Oliveira JA. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Técnico 2000**, v.25, n.1, p.27-32, 2000.

Andresen M, Dresboll DB, Jensen LS, Magid J, Thorup-Kristensen K. Cultivar differences in spatial root distribution during early growth in soil, and its relation to nutrient uptake - a study of wheat, onion and lettuce. **Plant and Soil**, v.408, p.255-270, 2016.

Antoniadis V, Petropoulos SA, Golia E, Koliniati R. Effect of phosphorus addition on onion plants grown in 13 soils of varying degree of weathering. **Journal of Plant Nutrition**, v.40, p. 2054–2062, 2017.

Aquino LA, Berger PG, Oliveira RA, Neves JCL, Lima TC, Batista CH. Parcelamento do fertilizante fosfatado no algodoeiro em sistema de cultivo irrigado e de sequeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.5, p.463–470, 2011.

Aquino RFBA, Assunção NS, Aquino LA, Aquino PM, Oliveira GA, Carvalho AMX. Nutrient demand by the carrot crop is influenced by the cultivar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.2, p.541-552, 2015.

Assunção NS, Clemente JM, Aquino LA, Dezordi LR, Santos LPD. Carrot yield and recovery efficiency of nitrogen, phosphorus and potassium. **Revista Caatinga**, v.29, n.4, p.859–865, 2016.

Brewster JL. Onions and other vegetable alliums, 2nd edn. **CAB International**, Oxfordshire, United Kingdom, p.85-150, 2008.

Carvalho AMX, Mendes FQ. SPEED Stat: a minimalist and intuitive spreadsheet program for classical experimental statistics. In: **Anais da 62ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria**; 24-28 de julho de 2017, p.333, 2017.

Chang Z, Liu Y, Dong H, Teng K, Han L, Zhang X. Effects of cytokinin and nitrogen on drought tolerance of creeping bentgrass. **Plos One**, p.3-19, 2016.

Costa JPV, Barros NF, Albuquerque AW, Moura Filho G, Santos JR. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.4, p.828-835, 2006.

Crous KY, O'Sullivan OS, Zaragoza-Castells J, Bloomfield KJ, Negrini ACA, Meir P, Turnbull MH, Griffin KL, Atkin OK. Nitrogen and phosphorus availabilities interact to modulate leaf trait scaling relationships across six plant functional types in a controlled-environment study. **New Phytologist**, v.215, p.992– 1008, 2017.

Donagema, GK. Manual de métodos de análise de solos. **Embrapa Solos**, 230p, 2011.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed., 353p, 2013.

Fageria, NK. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, p.6-16, 1998.

Fernandes AM, Soratto RP, Gonsales JR. Root morphology and phosphorus uptake by potato cultivars grown under deficient and sufficient phosphorus supply. **Scientia Horticulturae**, v.180, p.190-198, 2014.

Fioreze SL, Rodrigues JD, Carneiro JPC, Silva AA, Lima MB. Fisiologia de produção da soja tratada com cinetina e cálcio sob déficit hídrico e sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, p.1432-1439, 2013.

Freitas IF, Novais RF, Villani EMA, Novais SV. Phosphorus extracted by ion exchange resins and Mehlich-1 from Oxisols (Latosols) treated with different phosphorus rates and sources for varied soil-source contact periods. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.667-677, 2013.

Gonçalves FAR, Castro, GF, Carvalho AMX, Aquino LA, Novais RF. Forms of application of phosphorus fertilization on carrot. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, p.1-16, 2019a.

Gonçalves FAR, Aquino PM, Duarte LO, Aquino RFBA, Reis MR e Aquino LA. Macronutrient extraction curves of the onion crop. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 6, p.2497-2512, 2019b.

Harmut K, Lichtenthaler H, Wellburn A. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. **Biochemical Society Transactions** v.11, p.591-592, 1983.

Javid S, Majeed A, Sial RA, Ahmad ZA, Niaz AMA. Effect of phosphorus fertigation on grain yield and phosphorus use efficiency by maize (*Zea mays* l.). **Journal of Agricultural Research**, v.53, n.1, p.37-47, 2015.

Jiang M, Caldararu S, Zaehle S, Ellsworth DS, Medlyn BE. Towards a more physiological representation of vegetation phosphorus processes in land surface models. **New Phytologist**, v. 222, p.1223-1229, 2019.

Khokhar KM. Mineral nutrient management for onion bulb crops – a review. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 94, p.703-710, 2019.

Kumar R, Prasad RK, Mandal D, Bharti A. Response of nitrogen, phosphorus and potash on growth, yield and quality of onion bulbs during Kharif Season. **Journal Krishi Vigyan**, v.7, n.1, p.180-183, 2018.

Kurtz C, Menezes Júnior FOG, Higashikawa FS. Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura da cebola. **Boletim Técnico 184** Epagri, 2018, 104 p.

Li H, Yang Y, Zhang H, Chu S, Zhang X, Yin D. A genetic relationship between phosphorus efficiency and photosynthetic traits in soybean as revealed by QTL analysis using a high-density genetic map. **Frontiers in Plant Science**, v.7, n.924, 2016.

Li P, Weng J, Zhang Q, Yu L, Yao Q, Chang L, Niu Q. Physiological and biochemical responses of cucumis melo L. chloroplasts to low-phosphate stress. **Frontiers in Plant Science**, v.9, p1-13, 2018.

Macedo WR, Kitahara DK, Castro PRC. Unravelling the physiologic and metabolic action of thiamethoxam on rice plants. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.107, p.244-249, 2013.

Marouelli WA, Guimaraes TG, Braga MB, Carvalho e Silva, WL. Frações ótimas da adubação com fósforo no pré-plantio e na fertirrigação por gotejamento de tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.10, p.949-957, 2015.

Martins JDL, SORATTO RP, Fernandes AM, Dias PHM. Phosphorus fertilization and soil texture affect potato yield. **Revista Caatinga**, v.31, n.3, p.541–550, 2018.

Neto FCR, Schaefer CEGR, Costa LM, Corrêa MM, Fernandes Filho EI, Ibraimo MM. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p953-964, 2004.

Pôrto DRQ, Cecílio Filho AB, May A, Barbosa JC. Acúmulo de macronutrientes pela cebola ‘Optima’ estabelecida por semeadura direta. **Horticultura Brasileira**, v.24, n.4, p.470-475, 2006.

Rao IM, Fredeen AL, Terry N. Leaf phosphate status, photosynthesis, and carbon partitioning in sugar beet III. Diurnal changes in carbon partitioning and carbon export. **Plant Physiology**, v.92, p.29–36, 1990.

Resende GM, Costa ND, Yuri JE. Efeito de doses de fósforo na produtividade e armazenamento pós-colheita de dois cultivares de cebola. **Revista Ceres**, v. 63, n.2, p.249-255, 2016.

Rychter AM e Rao IM. Role of phosphorus in photosynthetic carbon metabolism. **Handbook of photosynthesis**, 2ª edição, M Pessaraki, p. 123–148, 2005.

Santos EF, Pongrac P, Reis AR, White PJ, Lavres J. Phosphorus–zinc interactions in cotton: consequences for biomass production and nutrient-use efficiency in photosynthesis. **Physiologia Plantarum**, 2018.

Santos LPD, Cunha MLP, Clemente JM, Oliveira TF, Aquino PM, Assunção NS, Aquino LA. Recovery efficiencies of nitrogen, phosphorus and potassium of the garlic crop, **Journal of Plant Nutrition**, v.40, n.5, p.624-631, 2017.

Satpute ST e Singh M. Modeling phosphorus distribution under different fertigation strategies in onion (*Allium cepa* L.) crop. **Journal of Applied and Natural Science**, v.9, n.2, p.720 – 729, 2017.

Silva FC. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. **Embrapa Informação Tecnológica**, 627p., 2009.

Silva L, Marchiori PER, Maciel CP, Machado EC e Ribeiro RV. Fotossíntese, relações hídricas e crescimento de cafeeiros jovens em relação à disponibilidade de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.9, 2010.

Silva SR, Barros NF, Silva IR e Comerford NB. Diffusive fluxes of phosphorus, potassium and metallic microelements as affected by soil compaction. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.49, p.2369–2378, 2018.

Singh KP, Singh MK, Singh MK, Singh SP, Singh J, Omid AQ. Growth and yield of bulbs of onion (*Allium cepa* L.) as influenced by different levels of nitrogen, phosphorous, potassium and sulphur. **International Journal of Chemical Studies**, v.6, n.4, p.475-478, 2018.

Talukdar D. Arsenic-induced oxidative stress in the common bean legume, *Phaseolus vulgaris* L. seedlings and its amelioration by exogenous nitric oxide. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v.19 p.69-79, 2013.

Thangasamy A. Quantification of dry-matter accumulation and nutrient uptake pattern of short day onion (*Allium cepa* L.). **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, n.2, p.246–254, 2015.

Thangasamy A & Chavan K. Dry matter accumulation and nutrient uptake patterns of onion seed crop, **Journal of Plant Nutrition**, v.41, n.15, p.1879-1889, 2018.

Thangasamy A, Sankar V, Lawande KE. Integrated nutrient management in onion and garlic. **Indian Journal Fertilizers** v.6, n.11, p.100–107, 2010.

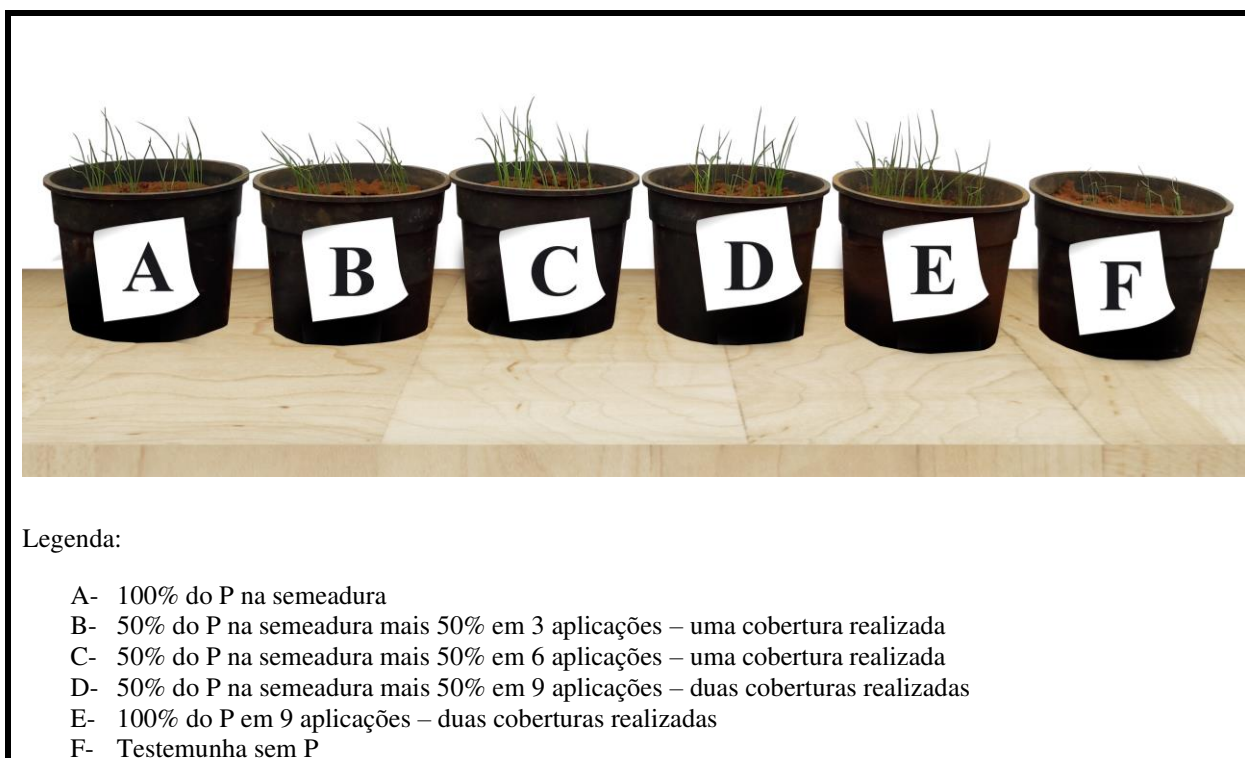
Witham FH, Blaydes DF, Devlin RM. Experiments in plant physiology. **D.Van Nostrand**, p.55-58, 1971.

Zhang K, Liu H, Tao P, Chen H. Comparative proteomic analyses provide new insights into low phosphorus stress responses in maize leaves. **Plos One**, v.9, 2014.

## Anexo



**Fig 1.** Experimento em solo de textura média aos 15 DAE com a dose de  $300 \text{ mg dm}^{-3}$ .



**Fig 2.** Experimento em solo de textura média aos 15 DAE com a dose de  $150 \text{ mg dm}^{-3}$ .



Legenda:

- A- 100% do P na sementeira
- B- 50% do P na sementeira mais 50% em 3 aplicações – uma cobertura realizada
- C- 50% do P na sementeira mais 50% em 6 aplicações – uma cobertura realizada
- D- 50% do P na sementeira mais 50% em 9 aplicações – duas coberturas realizadas
- E- 100% do P em 9 aplicações – duas coberturas realizadas
- F- Testemunha sem P

**Fig 3.** Experimento em solo argiloso aos 15 DAE com a dose de  $450 \text{ mg dm}^{-3}$ .



Legenda:

- A- 100% do P na sementeira
- B- 50% do P na sementeira mais 50% em 3 aplicações – uma cobertura realizada
- C- 50% do P na sementeira mais 50% em 6 aplicações – uma cobertura realizada
- D- 50% do P na sementeira mais 50% em 9 aplicações – duas coberturas realizadas
- E- 100% do P em 9 aplicações – duas coberturas realizadas
- F- Testemunha sem P

**Fig 4.** Experimento em solo argiloso aos 15 DAE com a dose de  $225 \text{ mg dm}^{-3}$ .



Legenda:

- A- 100% do P na sementeira
- B- 50% do P na sementeira mais 50% em 3 aplicações – duas coberturas realizadas
- C- 50% do P na sementeira mais 50% em 6 aplicações – três coberturas realizadas
- D- 50% do P na sementeira mais 50% em 9 aplicações – cinco coberturas realizadas
- E- 100% do P em 9 aplicações – cinco coberturas realizadas
- F- Testemunha sem P

**Fig 5.** Experimento em solo de textura média aos 30 DAE com a dose de  $300 \text{ mg dm}^{-3}$ .



Legenda:

- A- 100% do P na sementeira
- B- 50% do P na sementeira mais 50% em 3 aplicações – duas coberturas realizadas
- C- 50% do P na sementeira mais 50% em 6 aplicações – três coberturas realizadas
- D- 50% do P na sementeira mais 50% em 9 aplicações – cinco coberturas realizadas
- E- 100% do P em 9 aplicações – cinco coberturas realizadas
- F- Testemunha sem P

**Fig 6.** Experimento em solo de textura média aos 30 DAE com a dose de  $150 \text{ mg dm}^{-3}$ .



Legenda:

- A- 100% do P na sementeira
- B- 50% do P na sementeira mais 50% em 3 aplicações – duas coberturas realizadas
- C- 50% do P na sementeira mais 50% em 6 aplicações – três coberturas realizadas
- D- 50% do P na sementeira mais 50% em 9 aplicações – cinco coberturas realizadas
- E- 100% do P em 9 aplicações – cinco coberturas realizadas
- F- Testemunha sem P

**Fig 7.** Experimento em solo argiloso aos 30 DAE com a dose de  $450 \text{ mg dm}^{-3}$ .



Legenda:

- A- 100% do P na sementeira
- B- 50% do P na sementeira mais 50% em 3 aplicações – duas coberturas realizadas
- C- 50% do P na sementeira mais 50% em 6 aplicações – três coberturas realizadas
- D- 50% do P na sementeira mais 50% em 9 aplicações – cinco coberturas realizadas
- E- 100% do P em 9 aplicações – cinco coberturas realizadas
- F- Testemunha sem P

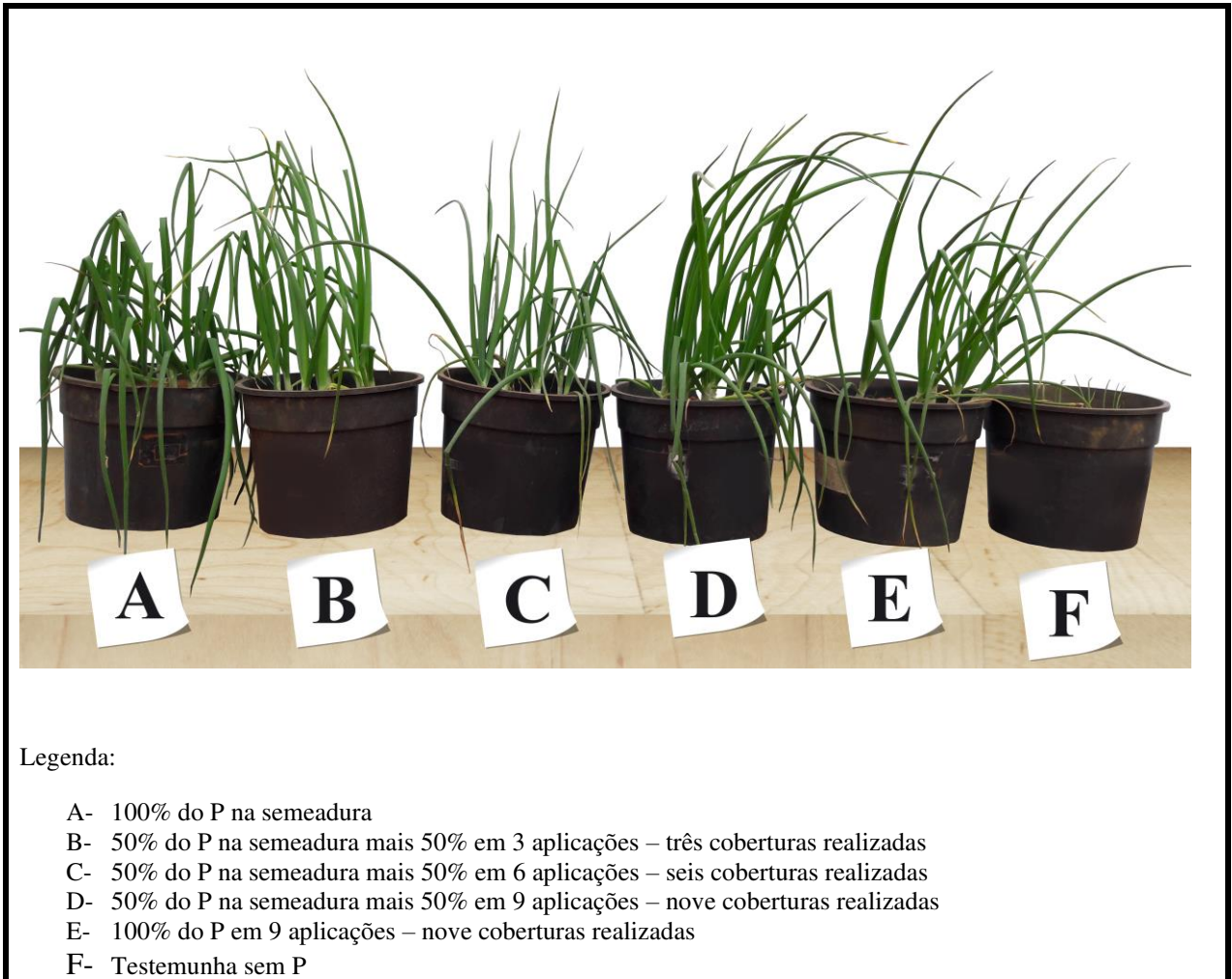
**Fig 8.** Experimento em solo argiloso aos 30 DAE com a dose de  $225 \text{ mg dm}^{-3}$ .



Legenda:

- A- 100% do P na sementeira
- B- 50% do P na sementeira mais 50% em 3 aplicações – três coberturas realizadas
- C- 50% do P na sementeira mais 50% em 6 aplicações – seis coberturas realizadas
- D- 50% do P na sementeira mais 50% em 9 aplicações – nove coberturas realizadas
- E- 100% do P em 9 aplicações – nove coberturas realizadas
- F- Testemunha sem P

**Fig 9.** Final do experimento em solo de textura média (65 DAE) com a dose de  $300 \text{ mg dm}^{-3}$ .



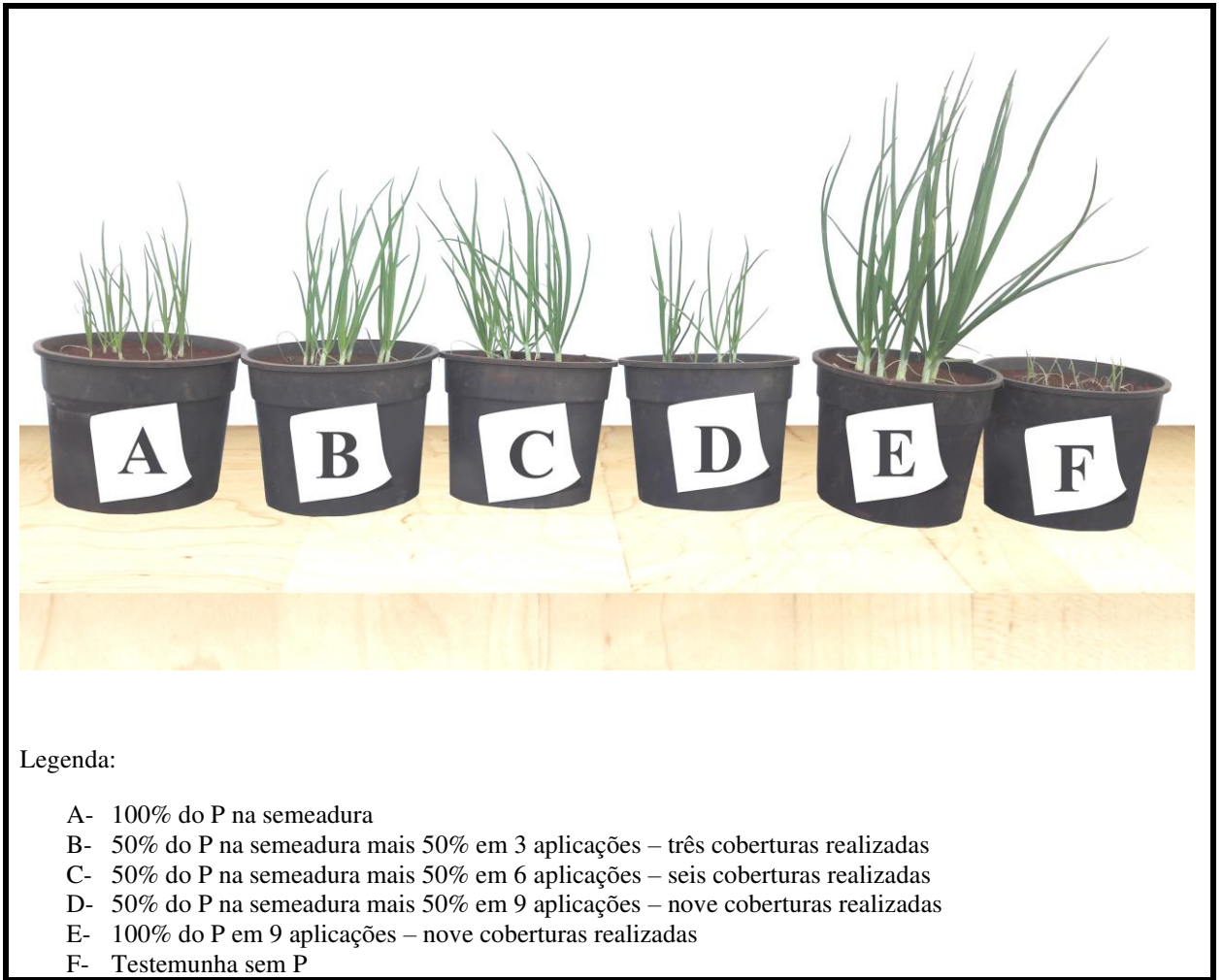
**Fig 10.** Final do experimento em solo de textura média (65 DAE) com a dose de  $150 \text{ mg dm}^{-3}$ .



Legenda:

- A- 100% do P na sementeira
- B- 50% do P na sementeira mais 50% em 3 aplicações – três coberturas realizadas
- C- 50% do P na sementeira mais 50% em 6 aplicações – seis coberturas realizadas
- D- 50% do P na sementeira mais 50% em 9 aplicações – nove coberturas realizadas
- E- 100% do P em 9 aplicações – nove coberturas realizadas
- F- Testemunha sem P

**Fig 11.** Final do experimento em solo argiloso (65 DAE) com a dose de  $450 \text{ mg dm}^{-3}$ .



**Fig 12.** Final do experimento em solo argiloso (65 DAE) com a dose de  $225 \text{ mg dm}^{-3}$ .