

## **Eficiência da adubação fosfatada no feijoeiro em função de doses de polímero superabsorvente misturado ao fertilizante**

**Efficiency of phosphate fertilization in common bean as a function of doses of superabsorbent polymer mixed with fertilizer**

**Eficiencia de la fertilización fosfatada en frijol común en función a dosis de polímero superabsorbente mezclado con fertilizante**

Recebido: 27/02/2022 | Revisado: 07/03/2022 | Aceito: 13/03/2022 | Publicado: 21/03/2022

**Pedro Ruben Viera Fariña**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1512-1246>  
Universidade Federal de Viçosa, Brasil  
E-mail: [rubenviera20@gmail.com](mailto:rubenviera20@gmail.com)

**Marcos Fabian Sanabria Franco**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7820-9037>  
Universidade de São Paulo, Brasil  
E-mail: [marcosfabiansanabria@gmail.com](mailto:marcosfabiansanabria@gmail.com)

**Amalio Ramón Mendoza González**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9412-0684>  
Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria, Paraguay  
E-mail: [amalio.mendoza@hotmail.com](mailto:amalio.mendoza@hotmail.com)

**Carlos Diego da Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4674-8455>  
Universidade de São Paulo, Brasil  
E-mail: [carlosdiego@usp.br](mailto:carlosdiego@usp.br)

**Leonardo Ângelo Aquino**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7764-730X>  
Universidade Federal de Viçosa, Brasil  
E-mail: [aquino.ufv@gmail.com](mailto:aquino.ufv@gmail.com)

**Willian Rodrigues Macedo**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4660-913X>  
Universidade Federal de Viçosa, Brasil  
E-mail: [willian\\_rmacedo@yahoo.com.br](mailto:willian_rmacedo@yahoo.com.br)

### **Resumo**

O recurso hídrico é um dos principais fatores limitantes para a produtividade das culturas. A má distribuição de chuvas é um grave problema na agricultura de sequeiro. Ocorrência de períodos de déficit hídrico no solo em fases mais sensíveis da cultura podem resultar em perdas expressivas na produtividade e no aproveitamento dos nutrientes. O uso de Polímeros Superabsorventes pode ser uma estratégia para minimizar os riscos de plantio em condições de déficit hídrico. Desta forma, objetivou-se determinar respostas fisiológicas e os componentes de produção de feijão (*Phaseolus vulgaris*) em resposta à adubação fosfatada combinada com doses de polímeros na presença ou ausência de deficiência de água no solo. O experimento foi montado em casa de vegetação em vasos de 150 dm<sup>3</sup> com 17 plantas de feijão em cada vaso. Os tratamentos consistiram de três fatores que foram combinados em esquema fatorial: dois regimes hídricos (com e sem déficit hídrico), duas doses de P (ideal e 1/3 ideal) e cinco doses de polímeros (0, 2, 4, 8, 16% equivalente da massa do fertilizante fosfatado para a de 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). A matéria seca foi aumentada 0,9% na menor dose de P misturada com 16% de polímero sem déficit hídrico e 0,5% na maior dose de P misturada com 5% de polímero sem déficit hídrico. O acúmulo de P foi aumentado 16 e 19% na maior e menor dose de P misturado com 8,6 e 16% de polímero sem déficit hídrico, respectivamente. A taxa fotossintética e condutância estomática foram menores ao submeter às plantas ao déficit hídrico. A concentração de prolina na folha foi maior na menor dose de P misturado com 8% de polímero com e sem déficit hídrico, respectivamente. Os números de vagem por planta aumentaram 21 e 6% na maior e menor dose de P misturado com 8,9 e 5,46 % de polímero sem déficit hídrico, respectivamente. O peso de cem grãos apresentou uma diferença de 0,5% na maior e menor dose de P misturado com 2,41 e 16% de polímero sem déficit hídrico. A produção de grãos por vaso foi aumentada 22 e 24% na maior e menor dose de P misturado com 13,7 e 16% de polímeros sem déficit hídrico, respectivamente. A EUA aumentou 21 e 24% na maior e menor dose de P misturado com 5,89 e 6,81% de polímero sem déficit hídrico, respectivamente. Polímeros superabsorventes pode ser uma alternativa para prolongar a umidade do solo e aumentar a eficiência do fertilizante fosfatado.

**Palavras-chave:** Déficit hídrico; Difusão de P; Eficiência de uso da água.

## Abstract

The water resource is one of the main limiting factors for crop productivity. Poor distribution of rainfall is a serious problem in rainfed agriculture. The occurrence of periods of water deficit in the soil in the most sensitive phases of the crop can result in significant losses in productivity and in the use of nutrients. The use of Superabsorbent Polymers can be a strategy to minimize the risks of planting under water deficit conditions. Thus, the objective was to determine physiological responses and production components of common bean (*Phaseolus vulgaris*) in response to phosphate fertilization combined with doses of polymers in the presence or absence of water deficiency in the soil. The experiment was set up in a greenhouse in 150 dm<sup>3</sup> pots with 17 bean plants in each pot. The treatments consisted of three factors that were combined in a factorial scheme: two water regimes (with and without water deficit), two doses of P (ideal and 1/3 ideal) and five doses of polymers (0, 2, 4, 8, 16% equivalent of the mass of the phosphate fertilizer for that of 120 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Dry matter was increased by 0.9% at the lowest dose of P mixed with 16% of polymer without water deficit and by 0,5% at the highest dose of P mixed with 5% of polymer without water deficit. P accumulation was increased by 16 and 19% at the highest and lowest dose of P mixed with 8,6 and 16% non-water deficit polymer, respectively. The photosynthetic rate and stomatal conductance were lower when the plants were subjected to water deficit. The concentration of proline in the leaf was higher at the lowest dose of P mixed with 8% polymer with and without water deficit, respectively. The number of pods per plant increased by 21 and 6% at the highest and lowest doses of P mixed with 8,9 and 5.46% of polymer without water deficit, respectively. The weight of one hundred grains showed a difference of 0,5% in the highest and lowest doses of P mixed with 2,41 and 16% of polymer without water deficit. Grain yield per pot was increased by 22 and 24% at the highest and lowest dose of P mixed with 13,7 and 16% of polymers without water deficit, respectively. The EUA increased by 21 and 24% at the highest and lowest dose of P mixed with 5,89 and 6,81% of polymer without water deficit, respectively. Superabsorbent polymers can be an alternative to prolong soil moisture and increase the efficiency of phosphate fertilizer.

**Keywords:** Water deficit; P diffusion; Water use efficiency.

## Resumen

El recurso hídrico es uno de los principales factores limitantes para la productividad de los cultivos. La mala distribución de las precipitaciones es un problema grave en la agricultura de secano. La ocurrencia de períodos de déficit hídrico en el suelo en las fases más sensibles del cultivo puede resultar en pérdidas significativas en la productividad y en el aprovechamiento de los nutrientes. El uso de Polímeros Superabsorbentes puede ser una estrategia para minimizar los riesgos de plantar en condiciones de déficit hídrico. Así, el objetivo fue determinar las respuestas fisiológicas y componentes productivos del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) en respuesta a la fertilización fosfatada combinada con dosis de polímeros en presencia o ausencia de deficiencia hídrica en el suelo. El experimento se montó en un invernadero en macetas de 150 dm<sup>3</sup> con 17 plantas de frijol en cada maceta. Los tratamientos consistieron en tres factores que se combinaron en un esquema factorial: dos regímenes hídricos (con y sin déficit hídrico), dos dosis de P (ideal y 1/3 ideal) y cinco dosis de polímeros (0, 2, 4, 8, 16% equivalente de la masa del fertilizante fosfatado por el de 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). La materia seca se incrementó en 0,9% a la dosis más baja de P mezclado con 16% de polímero sin déficit de agua y en 0,5% a la dosis más alta de P mezclado con 5% de polímero sin déficit de agua. La acumulación de P aumentó en un 16 y 19 % con la dosis más alta y más baja de P mezclado con 8,6 y 16 % de polímero sin déficit de agua, respectivamente. La tasa fotosintética y la conductancia estomática fueron menores cuando las plantas fueron sometidas a déficit hídrico. La concentración de prolina en la hoja fue mayor con la dosis más baja de P mezclado con 8% de polímero con y sin déficit de agua, respectivamente. El número de vainas por planta aumentó en 21 y 6 % a las dosis más altas y más bajas de P mezclado con 8,9 y 5,46 % de polímero sin déficit hídrico, respectivamente. El peso de cien granos mostró una diferencia de 0.5% en las dosis más alta y más baja de P mezclado con 2,41 y 16% de polímero sin déficit de agua. El rendimiento de grano por maceta se incrementó en 22 y 24 % a la dosis más alta y más baja de P mezclado con 13,7 y 16 % de polímeros sin déficit de agua, respectivamente. La EUA aumentó en un 21 y 24% a la dosis más alta y más baja de P mezclado con 5,89 y 6,81% de polímero sin déficit de agua, respectivamente. Los polímeros superabsorbentes pueden ser una alternativa para prolongar la humedad del suelo y aumentar la eficiencia de los fertilizantes fosfatados.

**Palabras clave:** Déficit hídrico; Difusión de P; Eficiencia en el uso del agua.

## 1. Introdução

A escassez hídrica é uma das principais limitantes à produtividade das culturas no mundo. Essa pode ter origem na baixa precipitação pluvial ou no uso irracional dos recursos hídricos com a expansão de áreas de cultivo irrigadas (Tundisi, 2008; FAO, 2013). O aumento populacional e a necessidade de intensificação da produção de alimentos, aliados à escassez de recursos hídricos, têm levado a buscas por alternativas que reduzam o consumo e otimizem o uso de água durante os cultivos.

O uso de tecnologias que ajudam a prolongar a disponibilidade de nutrientes e água no solo são essenciais para o aumento da produtividade agrícola e maior eficiência no uso de água e nutrientes (Lopes et al., 2017).

O feijão é sensível ao estresse hídrico, especialmente a deficiência, comum em muitas áreas de cultivo. A irrigação e tecnologias conservadoras de água no solo são importantes para ganhos de produtividade e da eficiência de nutrientes aplicados na cultura (Morais et al., 2016). Quando submetido à deficiência de água no solo (potencial hídrico no solo inferior à -0,6 MPa) há queda da germinação e do comprimento do hipocótilo e da radícula (Viçosi et al., 2017). A adaptação de plantas ao ambiente com déficit hídrico e um desafio da agricultura moderna (Lizana et al., 2006), pois, é comum o cultivo das plantas em condição hídrica subótima.

O manejo de fertilizantes pode constituir para o aumento da produtividade, especialmente o fósforo cuja disponibilidade às plantas é influenciada por vários atributos do solo. A disponibilidade de nutrientes dos solos, através de análises de solos, deve correlacionar-se com as quantidades absorvidas pelas plantas e, conseqüentemente, com a produção possibilitada pelo mesmo (Silva et al., 2001, Procópio et al., 2005). Embora o teor total de P no solo se situe entre 200 e 3000 mg kg<sup>-1</sup>, na maioria das vezes, menos de 0,1% (0,2 a 3 mg kg<sup>-1</sup>) desse fósforo se encontra em solução, ou seja, prontamente disponível à absorção vegetal (Novais & Smyth, 1999). Isso ocorre, pois, os solos das regiões tropicais são geralmente ácidos e apresentam quantidades significativas de oxidróxidos de Fe e Al e caulinita, carregados positivamente, que apresentam alta capacidade de fixação de fosfato, que é adsorvido às superfícies dos colóides por um complexo de esfera interna (Meurer et al., 2004).

Como alternativa para melhor aproveitamento da precipitação pluvial, pode-se adotar o uso de polímeros capazes reter a água nos períodos de alta disponibilidade e disponibilizá-la em período posterior de menor precipitação (Romero et al., 2016). A maior retenção de água no solo contribui tanto para a economia hídrica da cultura como para o melhor aproveitamento do P, pois, a umidade é um dos fatores que mais influenciam o fluxo difusivo de P no solo (Costas, 2019). A maior umidade no solo, especialmente na região de aplicação de P, pode contribuir para maior e constante fluxo difusivo de P (Aquino et al. 2011). Assim, menores doses de P podem ser requeridas e haverá maior aproveitamento do nutriente pelo feijoeiro com o uso de polímeros superabsorvente que garantam alta umidade junto dos grânulos de adubo fosfatado. Essa pesquisa tem por objetivo determinar respostas fisiológicas e os componentes de produção de feijão (*Phaseolus vulgaris*) em resposta à adubação fosfatada combinada com doses de polímeros na presença ou ausência de deficiência de água no solo.

## 2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação. O solo utilizado no experimento foi um Latossolo Vermelho-Amarelo com textura argilosa que foi caracterizado quimicamente (Tabela 1).

**Tabela 1.** Análise química do solo coletado antes da instalação do experimento.

Textura	pH	P <sup>1</sup>	K <sup>1</sup>	S	B	Fe <sup>1</sup>	Mn <sup>1</sup>	Cu <sup>1</sup>	Zn <sup>1</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	P <sup>2</sup>
	(H <sub>2</sub> O)	-----mg dm <sup>-3</sup> -----							cmolc.dm <sup>-3</sup>		mg L <sup>-1</sup>	
Amostra 1	5,5	4,2	26	9	0,20	34	3,80	0,90	0,50	2,10	0,7	14,80
Amostra 2	5,5	3,8	28	12	0,20	31	2,00	0,90	0,60	2,20	0,7	14,20

<sup>1</sup> Extrator: Mehlich-1; <sup>2</sup> Fósforo remanescente. Fonte: Autores.

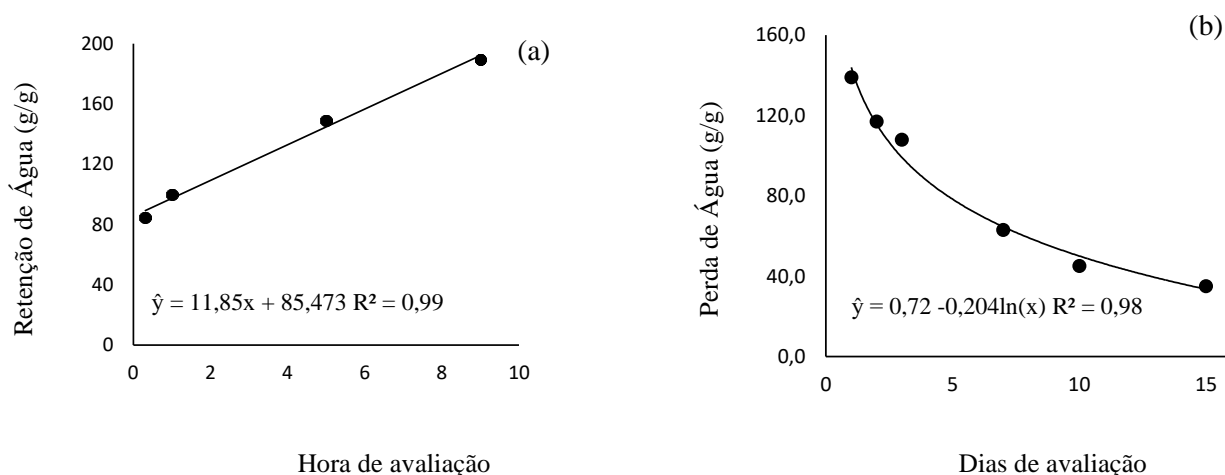
A unidade experimental foi um vaso de 150 dm<sup>3</sup> (0,5 m<sup>2</sup> de área superficial) preenchido com solo corrigido e adubado para o adequado crescimento do feijoeiro. Os tratamentos foram arranjados em esquema fatorial (2x2x5+2): dois regimes hídricos (ciclos de deficiência hídrica a partir do florescimento ou irrigação plena durante todo o ciclo), duas doses de

P (ideal e 1/3 ideal) e cinco doses de polímeros. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com quatro repetições. A cultivar utilizado foi ANFC do grupo carioca, ciclo até colheita de 76 dias, tipo II com habito de crescimento indeterminado com porte semi-ereto. Em cada vaso foram semeadas 40 sementes dispostas em linha concêntrica e distante 10 cm da borda do vaso. Após a emergência efetuou-se o desbaste das plantas restando doze plantas por metro quadrado. As doses de polímeros foram misturadas com o adubo fosfatado (MAP granulado com 11% de N e 52% de  $P_2O_5$ ). As doses de polímero foram equivalentes a 0 (sem polímero); 4,62; 9,23; 18,46 e 36,92  $kg\ ha^{-1}$  do polímero. Essas doses equivalem a 0, 2, 4, 8 e 16% da massa do fertilizante fosfatado para a dose de 120  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$  que é a recomendada para o cultivo em solos com baixa disponibilidade de P (Ribeiro et al., 1999). As doses de adubo fosfatado e de polímeros por vaso foi estimado considerando que num cultivo de campo há 20.000 metros de linha (espaçamento de 50 cm) e que no vaso foi colocado sulco de semeadura de 80 cm. A mistura do adubo fosfatado e polímero foi depositada em sulco com 8 cm de profundidade. As sementes foram semeadas a 3 cm de profundidade, ou seja, 5 cm acima da mistura do adubo fosfatado mais polímero. Foram feitas adubação de nitrogênio (0,152  $mg/dm^3$ ),  $K_2SO_4$  (0,172  $mg/dm^3$ ),  $H_3BO_4$  (0,0024  $mg/dm^3$ ),  $ZnSO_4$  (0,175  $mg/dm^3$ ) e  $CuSO_4$  (0,0046  $mg/dm^3$ ).

Para caracterizar a retenção de água do polímero foi realizado um ensaio para determinar a capacidade de absorção e liberação de água. Para isso 5 g de polímero superabsorventes foram adicionadas em 1,5 litros de água deionizada. Uma vez que o polímero entra em contato com água a absorção foi rápida, com máxima absorção até 9 horas (Figura 1a). Após absorver a máxima quantidade de água o polímero foi colocado em estufa a uma temperatura de 30°C para determinar a liberação de água (Figura 1b).

As plantas foram irrigadas em condições iguais e ótimas até atingirem o estágio fenológico R5 (emissão do primeiro botão floral). Após esse estágio foram introduzidos os tratamentos referentes aos regimes de água no solo. O solo dos tratamentos controles (irrigado) foi mantido com umidade equivalente à capacidade de campo por meio de irrigações diárias. Os tratamentos com ciclos de deficiência hídrica foram irrigados apenas quanto à condutância estomática das plantas de feijoeiro atingiram 33% da medida nas plantas com irrigação plena. As plantas foram submetidas a quatro ciclos de umedecimento e de secagem do solo. As quantidades de água repostas nos vasos foram com base na massa de solo desses, umidade atual e a equivalente à capacidade de campo.

**Figura 1.** Retenção de água a partir do polímero seco (a) e perda de água a partir do polímero saturado (b) em função do tempo.



Fonte: Autores.

Foram feitas as avaliações de troca gasosa com um analisador de gás infravermelho (IRGA) modelo LI-6400XT (LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA), as quais foram a mensuração da taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (A) ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), e a condutância estomática ( $g_s - \text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ). As medições foram diárias a partir da imposição dos regimes de água no solo.

No estádio R5 as folhas foram colhidas e foram desidratadas em estufa com circulação forçada de ar a 70 °C, por 72 horas. Posteriormente as folhas secas foram pesadas e em seguida trituradas em moinho tipo Willey equipado com peneira de 1,27 mm. As amostras foram submetidas à digestão sulfúrica e quantificados os nutrientes N, P (Embrapa 2009). A concentração de prolina parte aérea foi extraída pelo método do ácido sulfossalicílico e determinada em espectrofotômetro, a 520 nm, de acordo com Baté s et al. (1973)

Para calcular a matéria seca da planta foram coletando folhas nos estádios finais da planta até a colheitas das vagens, depois foi coletada a totalidade da planta e foram desidratadas em estufa com circulação forçada de ar a 70 °C, por 72 horas. Foi calculado número de vagem por vaso e número de grão por vagem, peso de 100 grãos e produção de grãos (g/vaso).

A eficiência do uso da água (EUA<sub>g</sub>) ( $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ) foi calculada relacionando a produção de grãos (PG) e a quantidade de água aplicada (QA),  $\text{EUA}_g = \text{PG}/\text{QA}$  (Geerts e Raes, 2009; Lacerda et al., 2009).

Para análises estatísticas inicialmente os dados foram submetidos à verificação da normalidade e homogeneidade das variâncias. Posteriormente os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e realizara-se análise de regressão. Foi utilizado o Software em planilha eletrônica SPEED Stat (Carvalho e Mendes, 2017) e adotada a significância de 5%.

### 3. Resultados

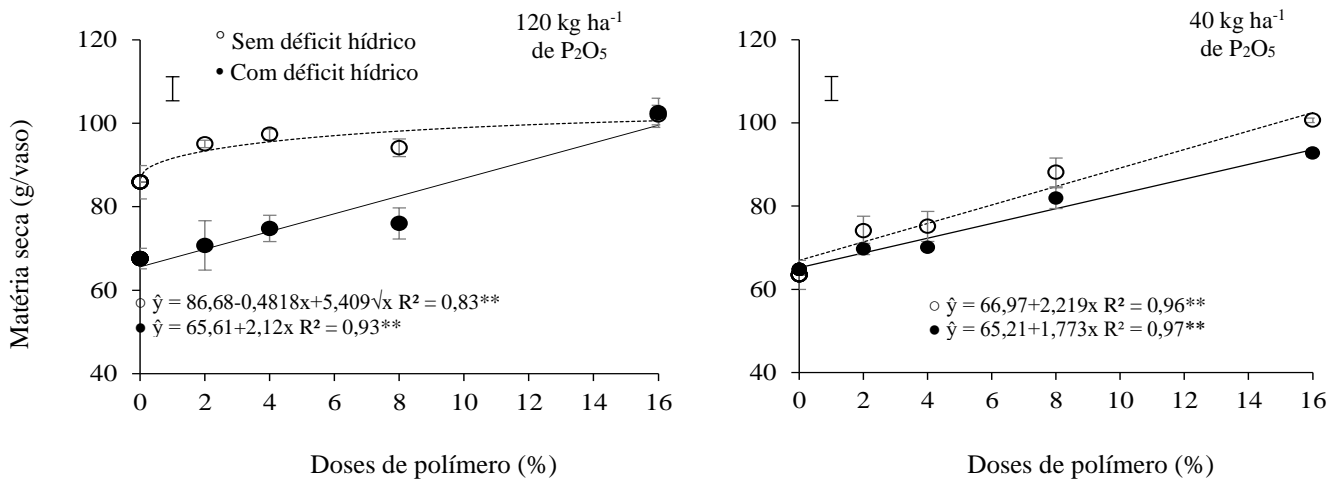
A matéria seca da planta foi influenciada pela interação tripla dos fatores estudados (P, Regime hídrico e Polímeros). Com a maior dose de P o déficit hídrico reduziu a produção de matéria seca de 86,68 para 65,61. A adição da maior dose de polímero à maior dose do adubo fosfatado elevou a produção de matéria seca e tornou insignificante o efeito do déficit hídrico sobre o crescimento (Figura 2). Com a aplicação da menor dose de P o incremento de doses de polímero aumentou a produção de matéria seca, de forma independente da ocorrência do déficit hídrico a partir do florescimento. Sem indução da deficiência hídrica, a combinação da maior dose de polímero com a menor do adubo fosfatado resultou em produção de matéria seca 18,2% maior que a obtida das plantas adubadas com a maior dose de P e sem adição do polímero. Com deficiência hídrica o aumento das doses de polímero incrementou linearmente a produção de matéria seca e de forma mais acentuada quando a dose de P foi a maior.

O déficit hídrico reduziu em 16,1 ou 15,5% o acúmulo de N quando o feijoeiro foi adubado com a maior ou menor dose de P, respectivamente (Figura 3). A adição de polímero ao adubo fosfatado incrementou o acúmulo de N de forma mais acentuada quando combinadas a maior dose de P e a indução da deficiência hídrica ou a menor dose de P sem ocorrência da deficiência hídrica.

Quando aplicada a dose de 120  $\text{kg ha}^{-1}$  de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sem déficit hídrico o máximo acúmulo de P foi de 258,7 mg/vaso associado a adição de 8,65% de polímero adubo fosfatado. Plantas adubadas com a menor dose de P combinadas com a maior dose de polímero superaram o acúmulo do nutriente das que receberam a maior dose de P sem adição de polímero na condição de déficit hídrico (Figura 4).

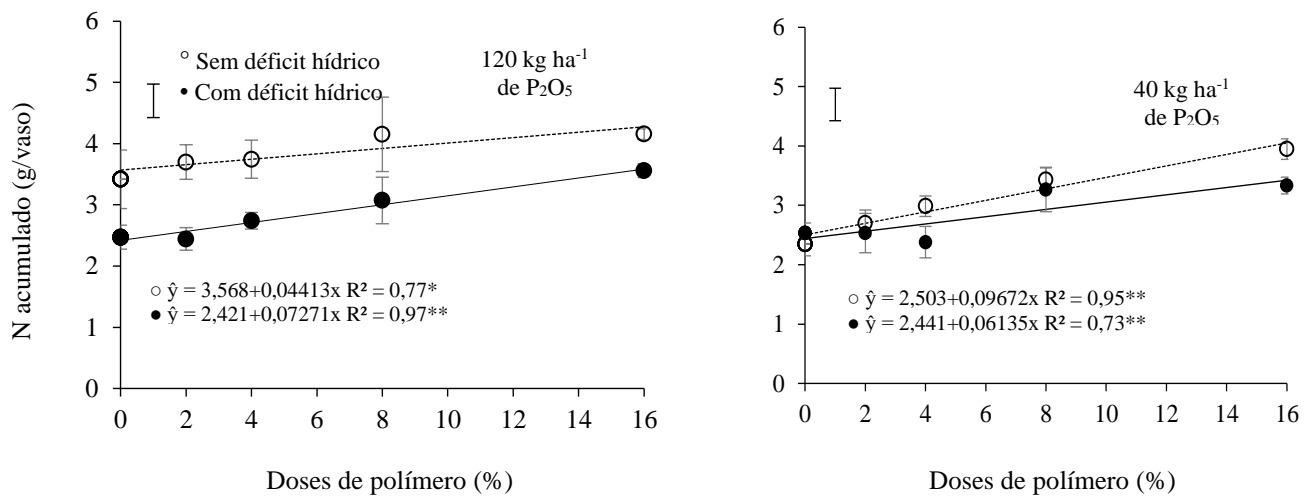
Houve interação dos fatores doses de P e regime hídrico sobre o acúmulo de prolina (Figura 5). Com a maior dose de P sem deficiência hídrica a concentração de prolina foi máxima quando aplicado à dose de 5,43% de polímero. Com a maior dose de P e deficiência hídrica ou com a menor dose de P independentemente da deficiência hídrica, as doses de polímero não alteraram a concentração de prolina. O principal fator que alterou a concentração de prolina foi a dose de P (Figura 5).

**Figura 2.** Matéria seca da planta (folhas + caule + vagens) em função de doses polímero e de doses de P com ou sem déficit hídrico a partir de início de florescimento do feijoeiro.



Fonte: Autores.

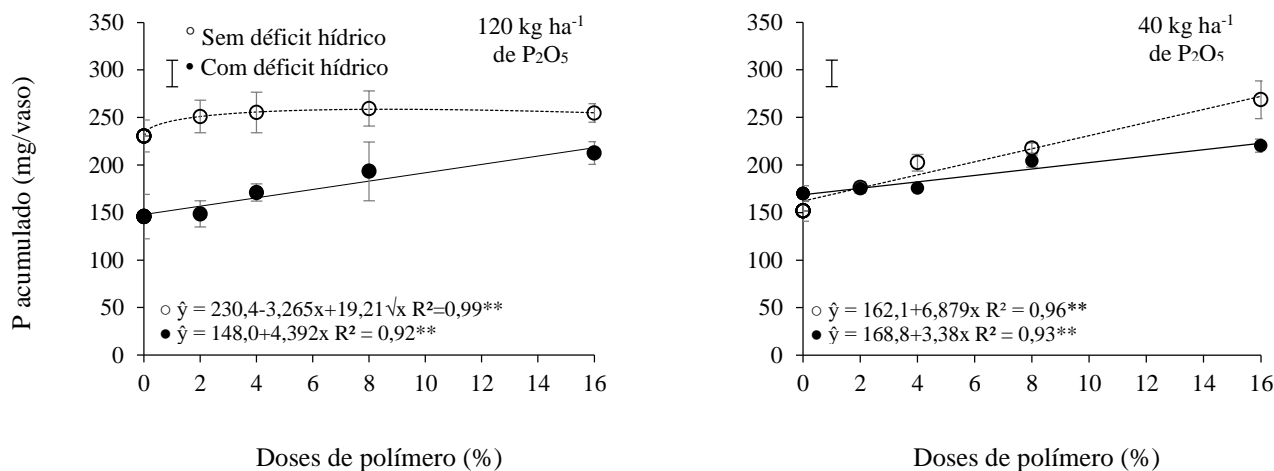
**Figura 3.** Nitrogênio (N) acumulado (folhas + caule) em função de doses polímero e de doses de P com ou sem déficit hídrico a partir de início de florescimento do feijoeiro.



Fonte: Autores.

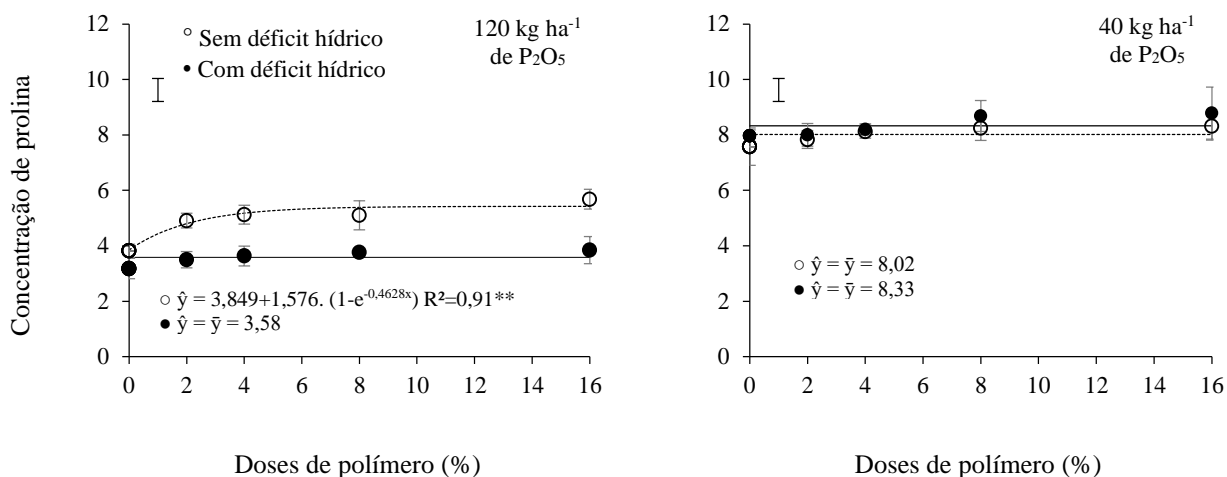
Com déficit hídrico, na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sem polímero a taxa fotossintética diminuiu 92, 52 e 71% nos três ciclos de déficit hídrico. Com 4% de polímero misturado ao adubo à diminuição da taxa fotossintética foi de 98, 50 e 76% nos três ciclos de déficit hídrico. Com dose de 16% de polímero a taxa fotossintética diminuiu 86, 86 e 36% nos três ciclos de déficit hídrico, respectivamente. Na dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sem polímero a taxa fotossintética diminuiu 92, 50 e 93% nos três ciclos de déficit hídrico. Com 4% de polímero misturado ao adubo à diminuição da taxa fotossintética foi de 98, 78 e 82% nos três ciclos de déficit hídrico. Com dose de 16% de polímero a taxa fotossintética diminuiu 92, 65 e 63% nos três ciclos de déficit hídrico, respectivamente (Figura 6). As taxas fotossintéticas se mantiveram alto quando não sofreram déficit hídrico.

**Figura 4.** Fósforo (P) acumulado (folhas + caule) em função de doses polímero e de doses de P com ou sem déficit hídrico a partir de início de florescimento do feijoeiro.



Fonte: Autores.

**Figura 5.** Concentração de prolina em folhas em função de doses polímero e de doses de P com ou sem déficit hídrico a partir de início de florescimento do feijoeiro.



Fonte: Autores.

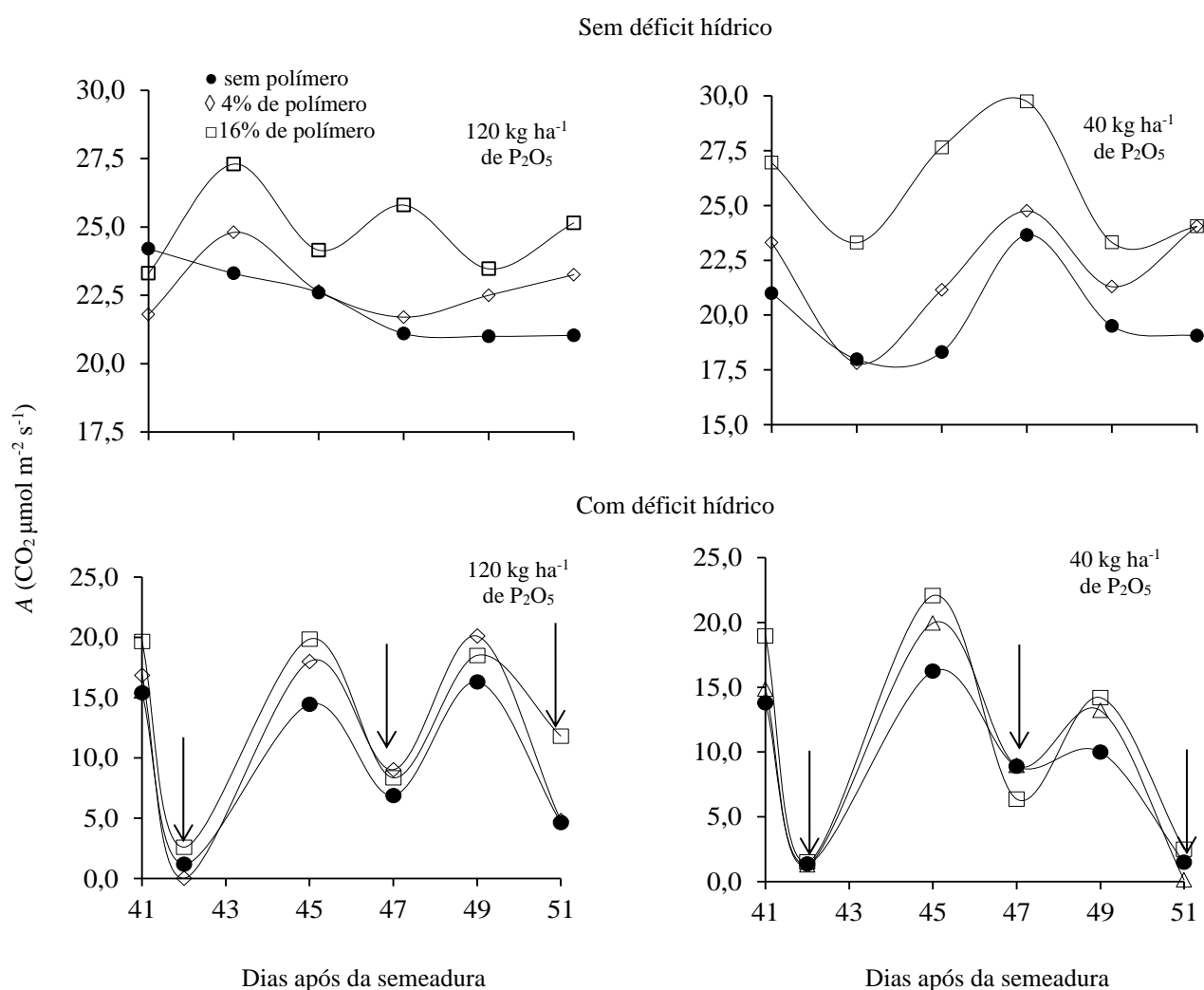
Na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com déficit hídrico, sem polímero a condutância estomática diminuiu 90, 45 e 85% nos três ciclos de déficit hídrico. Com 4% de polímero misturado ao adubo à diminuição da taxa fotossintética foi de 91, 55 e 99% nos três ciclos de déficit hídrico. Com dose de 16% de polímero a taxa fotossintética diminuiu 92, 71 e 82% nos três ciclos de déficit hídrico, respectivamente. Na dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sem polímero a taxa fotossintética diminuiu 88, 37 e 63% nos três ciclos de déficit hídrico. Com 4% de polímero misturado ao adubo à diminuição da taxa fotossintética foi de 90, 52 e 76% nos três ciclos de déficit hídrico. Com dose de 16% de polímero a taxa fotossintética diminuiu 88, 29 e 84% nos três ciclos de déficit hídrico, respectivamente (Figura 7). A condutância estomática se manteve normal quando não sofreram déficit hídrico.

O incremento das doses de polímero resultou no aumento do número de vagens para ambas as doses de P e condições hídricas no solo (Figura 8). Com a aplicação da maior dose sem deficiência hídrica, a adição de 15,4% da dose de polímero incrementou o número de vagens por planta em 38,4%. Na condição de déficit hídrico a dose de 13,5% incrementou o número de vagens por planta em 50,1% em relação ao tratamento sem polímero. Nas plantas submetidas a déficit hídrico e cultivadas

com a maior dose de P na qual adicionou-se 13,5% de polímero o número estimado de vagens por planta foi de 5,74. Esse número supera as 5,25 vagens por planta obtidas nas plantas cultivadas com a maior dose de P sem adição do polímero e sem déficit hídrico.

Nas plantas cultivadas com a menor dose de P a adição do polímero resultou em ganho no número de vagens (Figura 8). A combinação da menor dose de P e 10,8% de polímero resultou em 6,08 vagens por planta, o que supera as vagens produzidas com a maior dose de P sem adição do polímero. O número de grãos por vagem não foi influenciado pelos tratamentos (Figura 8). O número médio de grãos por vagem foi de 4,52.

**Figura 6.** Taxa assimilatória líquida ( $A$ ) em função de doses polímero e de doses de P com ou sem déficit hídrico a partir de início de florescimento do feijoeiro. Correspondem ao final de cada ciclo de déficit hídrico que foram submetidos os tratamentos e que após esses as plantas foram irrigadas para que a umidade atingisse a capacidade de campo.

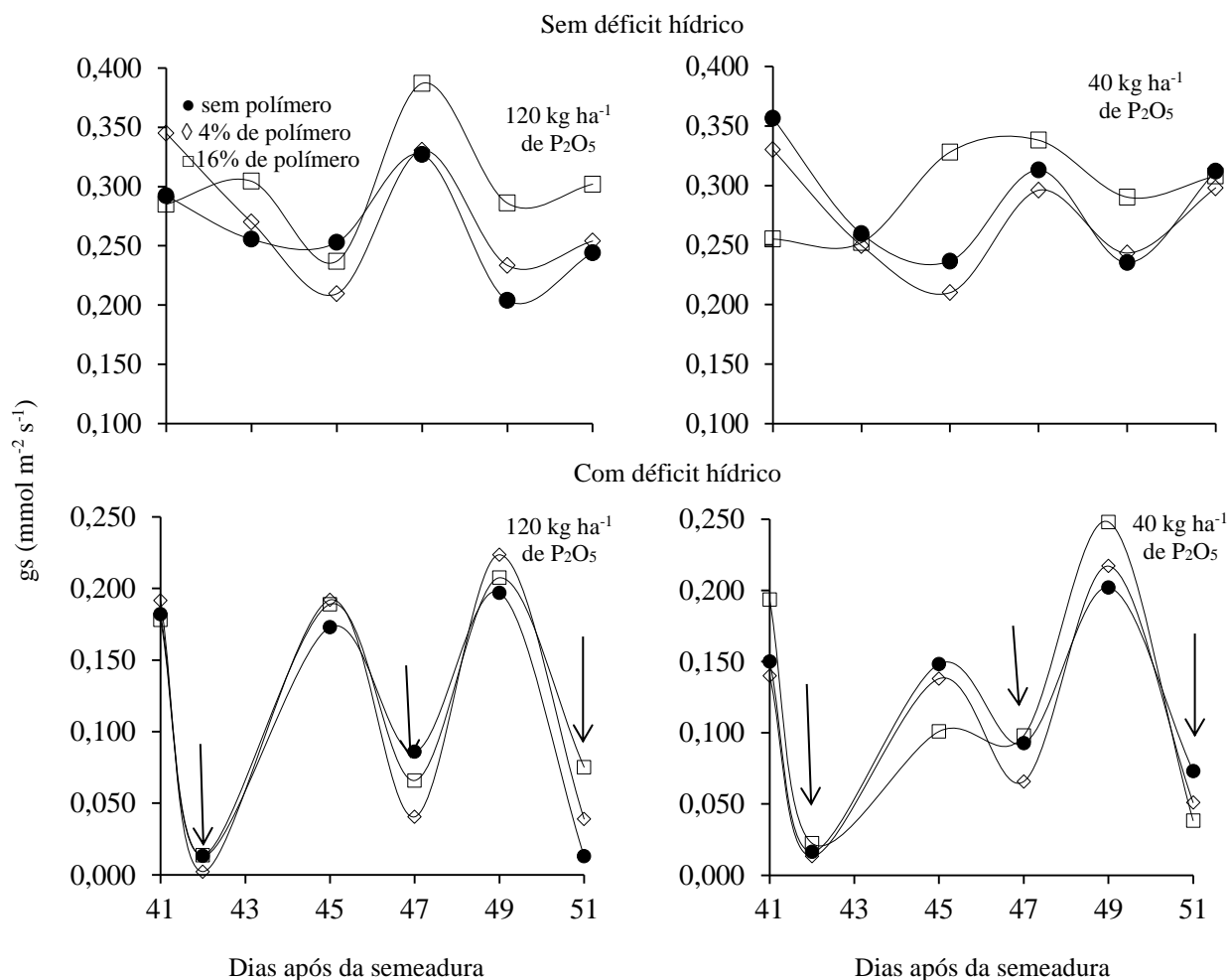


Fonte: Autores.

Para ambas as doses de P, sem a indução da deficiência hídrica, houve incremento linear da massa de cem grãos em função das doses de polímero adicionadas ao adubo fosfatado (Figura 8). Com a indução da deficiência hídrica o incremento das doses de polímero aumentou a massa de cem grãos, mais de forma pouco expressiva a partir de 2 e 4% para a menor e maior dose de P, respectivamente.



**Figura 7.** Condutância estomática (gs) em função de doses polímero e de doses de P com ou sem déficit hídrico a partir de início de florescimento do feijoeiro. Correspondem ao final de cada ciclo de déficit hídrico que foram submetidos os tratamentos e que após esses as plantas foram irrigadas para que a umidade atingisse a capacidade de campo.

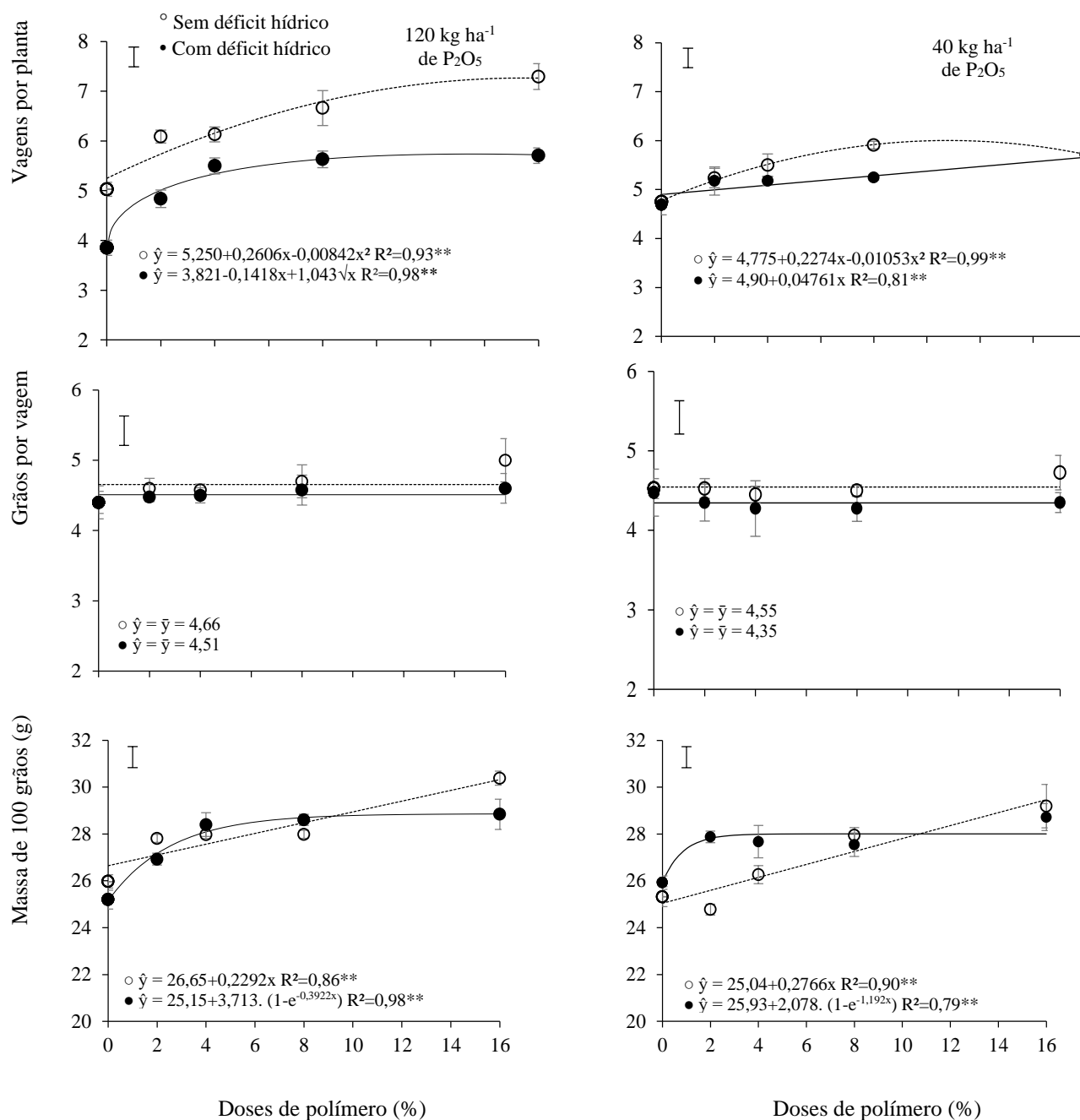


Fonte: Autores.

A adição de polímero incrementou a produção de grãos para ambas as doses de P e condições hídricas no solo (Figura 9). Com a maior dose de P, sem indução da deficiência hídrica a produção atingiu 86,02 g/vaso. Essa produção foi incrementada em 43,9% quando aplicada a maior dose de polímero. Na condição de deficiência hídrica a produção alcançou 95,4 g/vaso e superou em 10,7% a produção do tratamento sem indução da deficiência hídrica e sem adição do polímero. Quando houve indução do déficit hídrico, a combinação das maiores doses de P e de polímero incrementou em 34,2% da produção em relação a não adição do polímero. As produções das plantas que receberam maior dose de P, sem déficit hídrico e sem polímero foram similares às que receberam a menor dose de P associada a maior dose do polímero na presença do déficit hídrico.

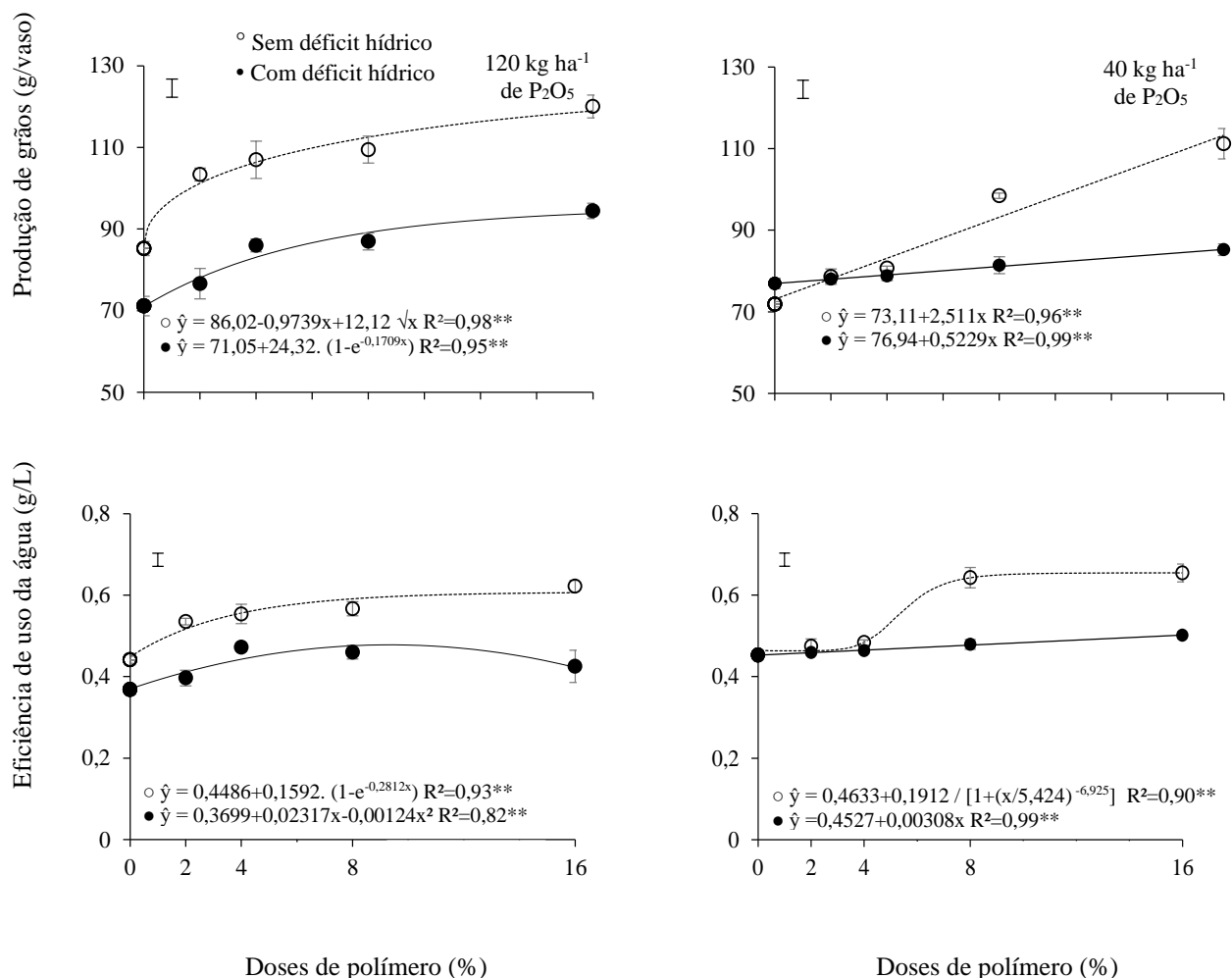
Com a aplicação da maior dose de P, o alcance de pelo menos 95% da máxima eficiência de uso da água na produção de grãos careceu de 5,9 e 4,9% de polímero para a condição sem e com indução de déficit hídrico no solo, respectivamente. Com a aplicação da menor dose de P a eficiência de uso da água foi linearmente incrementada nas plantas submetidas à deficiência hídrica. Naquelas cultivadas sem deficiência hídrica, a partir de 4% de polímero adicionado ao fertilizante fosfatado, houve aumento da eficiência de uso da água na produção de grãos (Figura 9).

**Figura 8.** Componentes de produção (vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de cem grãos) em função de doses polímero e de doses de P com ou sem déficit hídrico a partir de início de florescimento do feijoeiro.



Fonte: Autores.

**Figura 9.** Produção e eficiência do uso da água em função de doses polímero e de doses de P com ou sem déficit hídrico a partir de início de florescimento do feijoeiro.



Fonte: Autores.

#### 4. Discussão

Houve aumento da matéria seca em resposta às doses de polímeros e nas doses de P sem déficit hídrico (figura 2). Em outra pesquisa polímeros superabsorventes aumentaram de 18 a 28% da matéria seca da parte aérea do feijão e reduziram o efeito da salinidade do solo. Isso ocorreu porque o polímero absorve considerável massa de água que é disponibilizada por um período relativamente longo (Kant et al. 2008). O desempenho maior do crescimento das plantas sob déficit hídrico em solos que recebeu aplicação de polímero superabsorvente pode ser explicado pela capacidade do polímero absorver e liberar lentamente água e nutrientes nos períodos em que a disponibilidade hídrica é limitante (Kargar et al. 2017). O feijoeiro geralmente responde à adubação com P, mas quando é submetida ao déficit hídrico a resposta é baixa ou mesmo nula (Oliveira et al. 2011).

O conteúdo do nitrogênio aumentou 16 e 15% em respostas a doses de polímero sem déficit hídrico e com doses de P, respectivamente (figura 4). De forma similar, o conteúdo de nitrogênio foi incrementado em até 40% devido à adição de polímero superabsorvente por manter maior umidade do solo próximo às raízes de feijão (Kant et al. 2008). Plantas de feijão submetidas ao déficit hídrico apresentaram menor acúmulo de N devido à falta de umidade no solo, que influencia nos processos de fluxo de massa e difusão e na disponibilidade de nitratos no fluxo do xilema (Polania et al., 2016).

Os acúmulos de P foram aumentados em 15 e 18% em respostas a doses de polímero sem déficit hídrico e com maior dose de P, respectivamente (figura 4), Pesquisadores mencionaram que o acúmulo de P na planta tem relação na produtividade dependendo das condições ambientais, especialmente umidade do solo (Silva et al. 2010). Doses crescentes de P em solos promove aumento dos componentes relacionados ao crescimento do feijoeiro, além disso, favorece na formação nódulos radiculares, uma vez que o N não seja aplicado na sementeira (Silva et al. 2010, Santos et al. 2011).

A concentração de prolina foi maior quando aplicada a menor dose de P com e sem déficit hídrico (figura 5). Pesquisa similar menciona que o aumento da concentração de prolina nas plantas de trigo submetidas a déficit hídrico pode ser atribuído ao aumento das atividades das enzimas envolvidas na síntese deste aminoácido (Fumis, & Pedras, 2002). A diminuição do potencial hídrico da folha aumentou os níveis de prolina devida o mesmo ter função de ajustar em plantas com déficit hídrico (Maia et al., 2007). A concentração de prolina aumenta o potencial osmótico celular para manter um ambiente intracelular estável e protegido em plantas contra danos oxidativos sob tratamento osmótico. Para sua degradação é importada para as mitocôndrias, onde é convertida novamente em glutamato pela prolina desidrogenase e pirrolina-5-carboxilato desidrogenase (Kishor et al., 2005). Quando a planta sofre de estresses abióticos o acúmulo de prolina é diferente em diferentes órgãos da planta. Essa diferença resulta não apenas do aumento da síntese e diminuição da degradação, mas também do transporte que é mediado por um transportador de prolina (ProT) (Chen et al., 2016). Teores de prolina livre na parte aérea foram reduzidos 46% em genótipos de sorgo submetidos a estresse salino com doses de P e S (Ruppenthal, 2016).

Os nutrientes minerais minimizam os efeitos negativos das condições de estresse por meio do envolvimento em várias atividades metabólicas e desempenham papel na modulação dos componentes de várias vias de sinalização (Per et al., 2017). No entanto, poucos relatórios estão disponíveis sobre a relação de P com a concentração de prolina em plantas. Estudos confirmaram o papel do P na indução de tolerância ao estresse hídrico em diferentes espécies de plantas (Ajum & Lopez, 2011). Pesquisadores mencionam que possivelmente a suplementação de P induz ajuste osmótico, melhorando a tolerância à seca em relação às plantas com baixo teor de fósforo, esse ajuste osmótico induzido ajuda a manter a pressão do turgor, o volume de protoplastos e resulta em crescimento expansivo, como a expansão das folhas sob estresse hídrico (Salina et al., 2013).

Com a adição de polímero ao fertilizante fosfatado a taxa fotossintética das plantas foi menos afetado em comparação aos tratamentos sem polímero. Sem déficit hídrico com 16% de polímero e com maior dose de P as plantas não sofreram alterações na taxa assimilatória líquida (figura 6). De forma similar plantas de soja submetidas ao déficit diminuíram em 50% a taxa fotossintética. Após serem irrigadas novamente, a taxa fotossintética aumentou em 27% (Catuchi et al., 2012). O déficit hídrico leva a redução da transpiração, interrupção da translocação de água das raízes para as brotações, redução de pigmentos fotossintéticos e redução dos produtos fotossintéticos (Ahmadpour et al., 2016).

Os polímeros mantiveram o solo úmido e não afetaram a condutância estomáticas das plantas. Quando submetidas ao déficit hídrico, a condutância estomática foi reduzida em 92 e 88% para a menor e maior dose de P, respectivamente (figura 7). Resultado similar foi observado aos 12 e 18 dias na cultura de milho após da ocorrência ao de déficit hídrico. A condutância estomática aumentou 20,1% com aplicação de polímero superabsorvente por cima da testemunha sem polímero superabsorvente. Isso explica que, sob déficit hídrico no solo, o polímero superabsorvente pode diminuir a taxa de transpiração, mantendo uma fotossíntese e a condutância estomática mais alta e melhorando a eficiência instantânea no uso da água nas folhas (Yang et al., 2017). A redução da condutância estomática observada nas plantas submetidas ao déficit hídrico é uma estratégia para redução do consumo hídrico e manutenção do status hídrico foliar. Em variedades de feijão houve redução da condutância estomática por efeito do déficit hídrico evidenciando que o mesmo pode ser utilizado como indicador da deficiência de água na planta e solo (Oliveira et al., 2005).

Sem déficit hídrico a combinação da menor dose de P com 9% de polímero ou da maior dose de P com 5,4% de polímero resultaram em aumento de 21 e 0,6% no número de vagens, respectivamente (figura 8). Resultado similar foi observado em plantas de feijão submetidas a déficit hídrico e com adição de polímeros superabsorvente que aumentaram 38% em número de vagem por planta (Lopez, 2016). Maior lamina de irrigação aplicada no feijoeiro resultaram em incremento no número de vagem por planta de 36% (Silva et al 2017). Na floração e formação de vagens é importante que não falte água para evitar possíveis abortos e garante maior número de vagens por planta. Comumente o número de vagens por planta é componente de rendimento mais sensível ao estado hídrico do feijoeiro comum (Guimarães et al. 2011).

Grãos por vagem é uma característica de alta herdabilidade genética e é pouco influenciado pelas mudanças ambientais (Lopes et al. 2017). As variações ambientais geralmente influencia mais o número de vagens formadas do que pelo número de grãos por vagem. Em ocasiões em que ocorre o déficit hídrico o número de grãos por vagens pode ser reduzido para 3,5 a 4,5 grãos por vagem (Stone e Moreira, 2001), similar ao encontrado neste trabalho de pesquisa.

Houve discreto aumento do peso de cem grãos em resposta a doses de polímero sem déficit hídrico e com maior dose de P. Na maior dose de P, o peso de cem grãos foi de 30,32 gramas (figura 8). Pesquisadores observaram em cultivares de feijão aumento do peso de cem grãos devido a características genéticas das cultivares e não da aplicação de P (Oliveira et al. 2014). Variedades de feijão dos grupos comerciais carioca e preto apresentaram peso de cem grãos de 27,16 a 38,77 gramas (Salgado et al., 2011), próximos ao obtido para a variedade ANFC do grupo carioca.

Houve incremento na produção de grãos em função de doses de P e de polímero. As doses de P apresentaram efeito mais expressivo sem ocorrência do déficit hídrico e as doses de P com efeito mais importante quando as plantas foram submetidas ao déficit hídrico (figura 9). De forma similar observou-se uma redução de 25 a 50% da produtividade de milho e amendoim devido ao déficit hídrico. Nessas culturas a adição de polímero superabsorvente incrementou a produtividade em condições normais de umidade no solo e também de déficit hídrico (Kenawy et al. 2018). Em soja o uso de polímero também foi opção para reduzir o dano causado pelo déficit hídrico sobre a produção (Lopez, 2016). Polímeros que retém água no solo é uma alternativa, atuando como reguladores da disponibilidade de água para as culturas, promovendo o aumento da produtividade local e reduzindo os custos de produção (Mendonça et al. 2013).

Com a maior doses de P e a combinação de 6 e 5% de polímero a EUA foi de 0,607 e 0,478g/L sem e com déficit hídrico, respectivamente. Com a menor doses de P e a combinação de 7 e 16% de polímero a EUA foi de 0,654 e 0,501 g/L sem e com déficit hídrico, respectivamente (figura 9). Pesquisadores mencionaram que para cultura do feijoeiro foi estabelecida o valor da eficiência de uso da água na ordem de 0,3 a 0,6 g L<sup>-1</sup> quando utilizado de 300 a 500 mm no ciclo da cultura (Doorenbos & Kassam 1979). Resultados de pesquisa mostram aumento de 25,3% da EUA em condições de déficit hídrico na cultura de milho (Yang et al., 2017). O uso eficiente de água pode ser melhorado com a aplicação de polímeros superabsorventes devido na capacidade de reter água e liberá-lo lentamente. Doses de 4% de polímero superabsorvente bastaram para aumentar a eficiência do uso de água da grama *Agrostis stolonifera* (Agaba et al. 2011).

## 5. Conclusão

A adição de 8% de polímero combinadas com a maior dose de P ou de 16% combinada com a menor dose de P resultou em maior crescimento, produção e eficiência de uso da água. O benefício do polímero superabsorvente ocorreu tanto para condição sem como na condição de déficit de água no solo.

Pesquisas futuras devem investigar maiores doses de polímero adicionadas ao adubo fosfatado como estratégia para aumento da eficiência do uso da água e redução das doses de fósforo necessárias para otimizar a produtividade.

## Agradecimentos

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais pelo apoio financeiro à pesquisa.

## Referências

- Agaba, H., Orikiriza, L. J., Obua, J., Kabasa, J. D., Worbes, M., & Hüttermann, A. (2011). Hydrogel amendment to sandy soil reduces irrigation frequency and improves the biomass of *Agrostis stolonifera*. *Agricultural Sciences*, 2(04), 544.
- Ahmadpour, R., Hosseinzadeh, S. R., & Armand, N. (2016). (2016). Evaluation of methanol role in reducing the negative effects of water deficit stress in lentil (*Lens culinaris* Medik.).
- Anjum, N. A., & Lopez-Lauri, F. (2011). Plant nutrition and abiotic stress tolerance III. *Ikenobe: Global Science Books*.
- Aquino, L. A., Berger, P. G., Oliveira, R. A., Neves, J. C., Lima, T. C., & Batista, C. H. (2011). Parcelamento do fertilizante fosfatado no algodoeiro em sistema de cultivo irrigado e de sequeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(5), 463-470.
- Ashraf, M. F. M. R., & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and experimental botany*, 59(2), 206-216.
- Baté s, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and soil*, 39(1), 205-207.
- Catuchi, T. A., Guidorizzi, F. V. C., Guidorizzi, K. A., Barbosa, A. D. M., & Souza, G. M. (2012). Respostas fisiológicas de cultivares de soja à adubação potássica sob diferentes regimes hídricos. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 47(4), 519-527.
- Chen, H., Mao, X., Liao, Z., & He, Z. (2017). A Comparative Study of the Cellular Microscopic Characteristics and Mechanisms of Maize Seedling Damage from Superabsorbent Polymers. *Pedosphere*, 27(2), 274-282.
- Chen, J., Wu, J., Lu, Y., Cao, Y., Zeng, H., Zhang, Z., & Wang, S. (2016). Clonagem molecular e caracterização de um gene que codifica a proteína transportadora de prolina no feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *The Crop Journal*, 4 (5), 384-390
- Claessen, M. E. C. (1997). Manual de métodos de análise de solo. *Embrapa Solos-Documents (INFOTECA-E)*.
- Costa, D. D. D. A. (2019). Fracionamento do fósforo no solo em função dos sistemas de manejo.
- Ennahli, S., & Earl, H. J. (2005). Limitações fisiológicas à assimilação de carbono fotossintético no algodão sob estresse hídrico. *Crop Science*, 45 (6), 2374-2382.
- Fiozeze, S. L., Pivetta, L. G., Fano, A., Machado, F. R., & Guimarães, V. F. (2011). Comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação. *Revista Ceres*, 58(3), 342-349.
- Food And Agriculture Organization Of The United Nations (FAO). *Tecnologías para el uso sostenible del agua. Tegucigalpa, Honduras*, 2013.
- Fumis, T. D. F., & Pedras, J. F. (2002). Variação nos níveis de prolina, diamina e poliaminas em cultivares de trigo submetidas a déficits hídricos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37(4), 449-453.
- Geerts, S., & Raes, D. (2009). Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural water management*, 96(9), 1275-1284.
- Gonçalves, J. G., Alisson Fernando Chiorato, A. F., Da Silva, D. A., Fátima Esteves, J. A., Bosetti, F., Carbonell, S. A. Análise da capacidade combinatória em feijoeiro comum submetido ao déficit hídrico. Artigo, *Bragantia*, 74(2), 149-155, 2015.
- Guimarães, C. M., Stone, L. F., Del Peloso, M. J., & Oliveira, J. P. D. (2011). Genótipos de feijoeiro comum sob deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(7), 649-656.
- Kant, C., Aydin, A., & Turan, M. (2008). Ameliorative effect of hydro gel substrate on growth, inorganic ions, proline, and nitrate contents of bean under salinity stress. *Journal of plant nutrition*, 31(8), 1420-1439.
- Kargar, M., Suresh, R., Legrand, M., Jutras, P., Clark, O. G., & Prasher, S. O. (2017). Reduction in water stress for tree saplings using hydrogels in soil. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 5(01), 27
- Kenawy, E.-R., Saad-Allah, K., & Hosny, A. (2018). Mitigation of drought stress on three summer crop species using the superabsorbent composite Gelatin-g-p (AA-co-AM)/RH. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1-15.
- Kishor, P. K., Sangam, S., Amrutha, R. N., Laxmi, P. S., Naidu, K. R., Rao, K. S., & Sreenivasulu, N. (2005). Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. *Current science*, 424-438.
- Lacerda, C. F. D., Neves, A. L., Guimarães, F. V., da Silva, F. L., Prisco, J. T., & Gheyi, H. R. (2009). Eficiência de utilização de água e nutrientes em plantas de feijão-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. *Engenharia Agrícola*, 29(2), 221-230.

- Lawn, R. J., & Likoswe, A. A. (2008). Genotypic differences in leaf area maintenance contribute to differences in recovery from water stress in soybean. *Australian Journal of Agricultural Research*, 59(12), 1075-1085.
- Lizana, C., Wentworth, M., Martínez, J. P., Villegas, D., Meneses, R., Murchie, E. H., Pastenes, C., Lercari, B., Vernieri, P., Horton, P., Pinto, M. (2006). Adaptação diferencial de dos variedades de feijol común al estrés abiótico. Efectos de la sequía sobre el rendimiento y la fotosíntesis. 57 (3): 685-97.
- Locatelli, V. D. E., Medeiros, R. D. D., Smiderle, O. J., de Albuquerque, J. D. A., Araújo, W. F., & de Souza, K. T. (2014). Componentes de produção, produtividade e eficiência da irrigação do feijão-caupi no cerrado de Roraima. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(6), 574-580.
- Lopes, M. B. S. (2016). Hidrogéis como alternativa no aumento da capacidade de retenção de água no solo para cultura da soja e do feijão caupi.
- Lopes, M. B., Tavares, T. C., Veloso, D. A., Silva, N. C., Fidelis, R. R. (2017). Cowpea bean production under water stress using hydrogels. *Pesq. Agropec. Trop.*, 47(1), 87-92.
- Machado E. C., Schmidt P.T., Medina C. L., Ribeiro R.V. (2005). Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40(12), 1161- 1170.
- Manabe, P. M. S., Matos, C. D. C., Ferreira, E. A., da SILVA, A. A., Sedyama, T., Manabe, A., & Galon, L. (2014). Características fisiológicas de feijoeiro em competição com plantas daninhas. *Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.
- Mendonça, T. G., Urbano, V. R., Peres, J. G., & Souza, C. F. (2013). Hidrogel como alternativa no aumento da capacidade de armazenamento de água no solo. *Water Resources and Irrigation Management-WRIM*, 2(2), 87-92.
- Meurer, E. J., Rhenheimer, D., Bissani, C. A. (2004). Fenômeno De Sorção Em Solos. In: Meurer, J. E. (Ed.). Fundamentos de química do solo. 2. ed. Porto Alegre: *Gênese*, p. 131–179.
- Morais, W. A., Soares, F. A., Cunha, F. N., Vidal, V. M., Silva, N.F., Teixeira, M. B. (2016). Reposição hídrica e adubação com NPK no crescimento e produção do feijoeiro. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* 10(2), 496 – 506.
- Novais, R. F., Smyth, T. J. (1999). Fósforo em solo e planta em condições tropicais. UFV/DPS, 399 p.
- Oliveira, A. D. D., Fernandes, E. J., & Rodrigues, T. D. J. (2005). Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. *Engenharia Agrícola*, 25(1), 86-95.
- Oliveira, G. A., Araújo, W. F., Cruz, P. L. S., Silva, W. L. M. D., & Ferreira, G. B. (2011). Resposta do feijão-caupi as lâminas de irrigação e as doses de fósforo no cerrado de Roraima. *Revista Ciência Agronômica*, 42(4), 872-882.
- Oliveira, T. C., Silva, J., dos Santos, M. M., Cancellier, E. L., & Fidelis, R. R. (2014). Desempenho agrônomico de cultivares de feijão em função da adubação fosfatada no sul do estado do Tocantins. *Revista Caatinga*, 27(1), 50-59.
- Pedreira, A. C., Maia, P. S. P., de Oliveira Neto, C. F., da Silva Castro, D., de Freitas, J. M. N., da Silva Lobato, A. K., & da Costa, R. C. L. (2007). Conteúdo relativo de água, teor de prolina e carboidratos solúveis totais em folhas de duas cultivares de milho submetido ao estresse hídrico. *Revista Brasileira de Biociências*, 5(S2), 918-920.
- Peixoto, P. H. P., Cambraia, J., Sant'ana, R., Mosquim, P. R., Moreira, M. A. (1999). Aluminum effects on lipid peroxidation and on the activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. *Rev Bras Fisiol Veg.* 11, 137-143.
- Per, T. S., Khan, N. A., Reddy, P. S., Masood, A., Hasanuzzaman, M., Khan, M. I. R., & Anjum, N. A. (2017). Approaches in modulating proline metabolism in plants for salt and drought stress tolerance: Phytohormones, mineral nutrients and transgenics. *Plant Physiology and Biochemistry*, 115, 126–140.
- Polania, J., Poschenrieder, C., Rao, I., & Beebe, S. (2016). Estimation of phenotypic variability in symbiotic nitrogen fixation ability of common bean under drought stress using <sup>15</sup>N natural abundance in grain. *European Journal of Agronomy*, 79, 66-73.
- Procópio, S.O, Santos, J.B, Pires, F.R, Silva, A.A, Mendonça, S.E. (2005). Absorção e utilização do fósforo pelas culturas da soja e do feijão e por plantas daninhas. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:911-921.
- Ribeiro, A. C. (1999). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais.
- Romero, A. P., Laguna, R. R., García, F. P., Rangel, M., Zaraté, R. R., Flores, M. H. Hidrogel como mitigador de estresse hídrico. (2016). *Revista Iberoamericana de Ciencias*. 3(5).
- Salgado, F. H. M., Fidelis, R. R., de Carvalho, G. L., dos Santos, G. R., Cancellier, E. L., & Silva, G. F. (2011). Comportamento de genótipos de feijão, no período da entressafra, no sul do estado de Tocantins. *Bioscience Journal*, 27(1).
- Salinas, R., Sánchez, E., Ruíz, J. M., Lao, M. T., & Romero, L. (2013). Phosphorus levels influence plasma membrane H<sup>+</sup>-ATPase activity and K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, and Mg<sup>2+</sup> assimilation in green bean. *Communications in soil science and plant analysis*, 44(1-4), 456-464.
- Santos, J. Z. L., Furtini Neto, A. E. Resende, Á. V. D., Carneiro, L. F., Curi, N., & Moretti, B. D. S. (2011). Resposta do feijoeiro à adubação fosfatada em solos de cerrado com diferentes históricos de uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(1), 193-202.
- Silva, A. J. D., Uchôa, S. C. P., Alves, J. M. A., Lima, A. C. S., Santos, C. S. V. D., Oliveira, J. M. F. D., & Melo, V. F. (2010). Resposta do feijão-caupi às doses e formas de aplicação de fósforo em Latossolo Amarelo do Estado de Roraima. *Acta Amazônica*, 40(1), 31-36.
- Silva, D. M. R., dos Santos, J. C. C., Costa, R. N., Rocha, A. O., da Silva Lima, A. N., Santos, S. A., & dos Santos Silva, L. K. (2017). Resposta do feijoeiro a lâminas de água aplicada em relação à evapotranspiração da cultura. *Agropecuária Técnica*, 38(2), 71-77.

Silva, E. F. L., de Araújo, A. S. F., dos Santos, V. B., Nunes, L. A. P. L., & Carneiro, R. F. V. (2010). Fixação biológica do N<sub>2</sub> em feijão-caupi sob diferentes doses e fontes de fósforo solúvel. *Bioscience Journal*, 26(3).

Silva, E. V., Resende, J. C., & Cintra, W. B. (2001). Resposta do feijoeiro a doses de fósforo em solo arenoso. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.31, n.6, p.973-977, 2001.

Stone, L. F., & Moreira, J. A. A. (2001). Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36(3), 473-481.

Tundisi, J. G. (2008). Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. *Estudos avançados*, 22, 7-16.

Yang, W., Li, P., Guo, S., Fan, B., Song, R., Zhang, J., & Yu, J. (2017). Compensating effect of fulvic acid and super-absorbent polymer on leaf gas exchange and water use efficiency of maize under moderate water deficit conditions. *Plant Growth Regulation*, 83(3), 351–360.