



Resposta da cultura do milho, em segunda safra, à adubação fosfatada em Latossolo Amarelo no cerrado

Dhones Ribeiro de Souza¹ , Cesar Crispim Vilar^{1,*} , Silvio Yoshiharu Ushiwata¹ ,
Rodrigo de Goes Esperon Reis¹ , Kamila Cardoso Ribeiro¹ 

¹Universidade do Estado de Mato Grosso, Nova Xavantina, MT, Brasil.

*Autor correspondente: cesarcvilar@gmail.com

Recebido: 27/01/2017; Aceito: 19/02/2018

Resumo: O objetivo deste trabalho foi estudar a reposta de milho segunda safra à adubação fosfatada em um Latossolo Amarelo no Cerrado. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso e os tratamentos foram doses de superfosfato simples, sendo 0, 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅, com cinco repetições. As variáveis avaliadas foram: índice *soil plant analysis development* (SPAD) nos estádios V6, VT e R1; altura de plantas nos estádios V6 e R4; diâmetro da base do colmo (DC) e altura de inserção da primeira espiga (IPE) no estádio R4; diâmetro de espigas (DE); número de fileiras de grãos por espiga (NFG); número de grãos por fileira (NGF); massa de mil grãos (M1.000); e produtividade de grãos. As variáveis índice SPAD em V6 e VT, altura de plantas em V6, DC, DE, NGF, M1.000 e produtividade de grãos apresentaram respostas significativas ($p < 0,05$) para as doses de P₂O₅, ajustando-se ao modelo quadrático na análise de regressão, exceto o diâmetro de espigas, que apresentou resposta linear. Além disso, não houve diferença significativa para as variáveis: altura de plantas em R4, índice SPAD em R1, NFG e IPE. O milho cultivado em segunda safra teve seu crescimento e sua produtividade afetados pela adubação fosfatada.

Palavras-chave: fósforo; produtividade; safrinha.

Second corn crop response to phosphate fertilization on a yellow Latosol in cerrado region

Abstract: The aim of this work was to evaluate the response of corn to phosphorus fertilization in a Latosol. The experimental design was randomized blocks. The treatments were doses of superphosphate, as follows: 0, 50, 100, 200 and 300 kg ha⁻¹ of P₂O₅ with five replications. The variables evaluated were: SPAD index in the V6 stage, VT and R1; plant height in V6 and R4 stages; diameter of the stem's base (DC) and height of insertion of the first ear (IPE) at the R4 stage; diameter cobs (DE); number of kernel rows per ear (NFG); number of kernels per row (NGF); thousand grain weight (M1.000); and yield. The variables SPAD index in V6 and VT, plant height in V6, DC, DE, NGF, M1.000 and grain yield showed significant responses ($p < 0.05$) for the P₂O₅ doses, adjusting to the quadratic model in the regression analysis, except for the diameter of spikes, linear response. This occurred because the soil fertility level was too low for phosphorus (4.2 mg dm⁻³). There was no significant difference for the variables: plant height in R4, SPAD index in R1, NFG and IPE. Corn yield was significantly affected by the phosphate fertilizer.

Keywords: grain yield; phosphorus; fertilizer.

1. INTRODUÇÃO

A cultura do milho (*Zea mays* L.) é amplamente difundida no Brasil, sendo utilizada direta ou indiretamente para a produção de alimentos (CONAB, 2014). Apesar de sua origem ainda ser bastante discutida no meio científico, dados mostram que a espécie teve origem no continente americano (PEIXOTO, 2002).

O grão de milho é o mais consumido no mundo, e a maior parte de sua produção está concentrada em apenas três países — Estados Unidos, China e Brasil —, que abrangem 66,5% da produção mundial. Os Estados Unidos são o maior produtor, com 353,72 milhões de toneladas, e o Brasil também se destaca, com 78,55 milhões de toneladas na safra 2013/2014 (CONAB, 2014).

O estado do Mato Grosso possui grande expressão no cenário agrícola brasileiro, a área cultivada com milho na safra 2014/2015 foi de 3,31 milhões de hectares, com produtividade média de 106 sacas ha^{-1} e alcançando produção final de 21,2 milhões de toneladas do grão (IMEA, 2015). O estado é campeão na produção de milho safrinha, contribuindo com 15,8 milhões de toneladas do grão na safra 2013/2014 (IBGE, 2014).

De acordo com Sangoi et al. (2010), a produtividade média do milho no Brasil é muito baixa, entre 3,5 e 4,0 $t\ ha^{-1}$, fato concernente a uma série de fatores, entre eles o manejo da adubação, principalmente no Cerrado, que apresenta solos de baixa fertilidade natural. As maiores exigências nutricionais do milho são o nitrogênio e o potássio, seguidos por fósforo, magnésio, cálcio e enxofre, sendo o fósforo de grande importância, visto que aproximadamente 90% do nutriente extraído do solo são exportados para os grãos (ROSCOE & MIRANDA, 2013).

Em Latossolos, solos comuns na região do Cerrado, o teor de fósforo prontamente disponível tende a ser baixo, por causa da alta capacidade de adsorção que esses solos possuem, especialmente associada aos teores de ferro e alumínio (VILAR et al., 2010). Por isso, faz-se necessário uma adubação fosfatada em doses maiores do que a exigida pela cultura, para que ela possa expressar ao máximo seu potencial produtivo (PRADO et al., 2001). Para Roscoe & Miranda (2013), a adubação fosfatada na cultura do milho safrinha em solos com teores muito baixos do nutriente pode ser um fator limitante da produção, visto que a nutrição das plantas com o elemento se torna dependente da adubação. Ainda, o solo compete com a planta pelo P, adsorvendo-o, principalmente nos solos de Cerrado (FARIAS et al., 2009). Por isso, é importante a adubação fosfatada para que haja produtividade satisfatória de grãos de milho (LANA et al., 2014).

A disponibilidade de fósforo para as plantas depende das características do solo, visto que naqueles mais ácidos a adsorção do elemento aumenta consideravelmente, sendo a calagem uma prática indispensável para aumentar a quantidade de fósforo prontamente disponível às plantas (SOUSA & LOBATO, 2004). De acordo com Muniz et al. (1985), em solos que possuem maior capacidade de adsorção de fósforo, os níveis adequados do nutriente no solo (nível crítico) tendem a ser menores.

Prado et al. (2001) trabalharam com adubação fosfatada na cultura do milho em região do Cerrado, em sulcos simples e duplo, em solo com teores baixos de fósforo e obtiveram resposta linear positiva da produção sob doses entre 0 e 135 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 . Os autores verificaram que a produção máxima seria determinada em uma dose de P maior, indicando que a dose máxima utilizada no trabalho foi baixa. Por outro lado, Barreto & Fernandes (2002) trabalharam com doses entre 0 e 180 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 e encontraram respostas quadráticas na produção de grãos, em sulco e a lanço, nas quais as máximas eficiências técnicas (METs) foram 155,21 e 134,62 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 , respectivamente.

Lana et al. (2014), analisando os componentes de produção e estado nutricional das plantas de milho sob fontes e doses de adubos fosfatados (de 0 a 120 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5), encontraram aumentos lineares nos teores foliares de fósforo para as doses de P_2O_5 , mas resposta não significativa para comprimento de espiga, número de fileiras de grãos por espiga (NFG), massa de mil grãos e produtividade. Os autores justificaram que tais resultados ocorreram pelo fato de o teor de P no solo ser maior do que o nível crítico.

Analisando os efeitos isolados e em conjunto do fósforo e do zinco na cultura do milho, Souza et al. (1998) verificaram respostas lineares para a produção de grãos em solo com 5 $mg\ dm^{-3}$ de P, utilizando doses entre 0 e 200 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 . As diferenças encontradas nos trabalhos realizados com adubação fosfatada acima citados podem ter ocorrido devido às diferentes condições experimentais, tais como cultivar do milho, local, clima, fonte de fertilizante e doses utilizadas.

Com isso, o objetivo do presente trabalho foi avaliar os componentes de produção e produtividade de grãos da cultura do milho em segunda safra sob adubação fosfatada em um Latossolo Amarelo na região do Cerrado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), campus de Nova Xavantina, com coordenadas geográficas de 14°41'46"S e 52°21'02" W e 297 m de altitude. O clima é classificado como Aw de acordo com a classificação de Köppen, com precipitação média anual entre 1.500 e 1.600 mm, com estações seca de abril a setembro e úmida de outubro a março e temperatura média anual de 24°C (SOUZA et al., 2013).

Em virtude da diminuição da taxa de precipitação no período que o milho safrinha é cultivado, foi utilizada irrigação complementar, implantando o sistema de aspersão convencional. Na Figura 1, têm-se os dados de precipitação e temperatura da cidade de Nova Xavantina ao decorrer das datas vigentes entre a semeadura e a colheita do milho.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Amarelo (EMBRAPA, 2013). Para o preparo dele, foi feita uma aração profunda, com arado de discos 26”, seguido de gradagem, utilizando grade de discos em tandem 18”. Após o preparo, coletou-se amostra de solo da área do experimento para a análise química e física na camada de 0 a 20 cm. O solo foi analisado conforme metodologia proposta pela Embrapa (2011) e os resultados são apresentados na Tabela 1.

A interpretação da análise de solo foi realizada conforme Sousa & Lobato (2004), em que o teor de P (4,2 mg dm⁻³) foi considerado muito baixo e a saturação por bases, o K⁺, o Ca²⁺ e o Mg²⁺ estavam adequados.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com cinco tratamentos (0, 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e cinco repetições. Cada parcela foi constituída por cinco linhas espaçadas a 0,45 m, com comprimento de 4 m (2,25 x 4,00 m). A área útil da parcela foi de 2,7 m², considerando-se as três linhas centrais e dispensando-se 1 m de cada extremidade.

Como fonte de P, foi utilizado o superfosfato simples (21% de P₂O₅). A adubação foi realizada no sulco de semeadura, 5 cm abaixo e ao lado das sementes. A adubação de plantio para K e N foi realizada com 100 kg de K₂O ha⁻¹ na forma de cloreto de potássio (58% de K₂O) e 40 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia convencional (45% de N). Ainda foram realizadas mais duas adubações nitrogenadas em cobertura com 40 kg ha⁻¹ de N nos estádios vegetativos V4 e V8, totalizando 120 kg de N ha⁻¹.

No dia 11 de março de 2015, o híbrido simples AS1575PRO, de ciclo semiprecoce (850 unidades de calor —U.C.), foi semeado manualmente, em sulco, à profundidade de aproximadamente 3 cm da superfície do solo e com uma densidade de 61.111 plantas ha⁻¹. Os tratos culturais foram feitos de forma que se evite a interferência de plantas daninhas, insetos pragas e doenças.

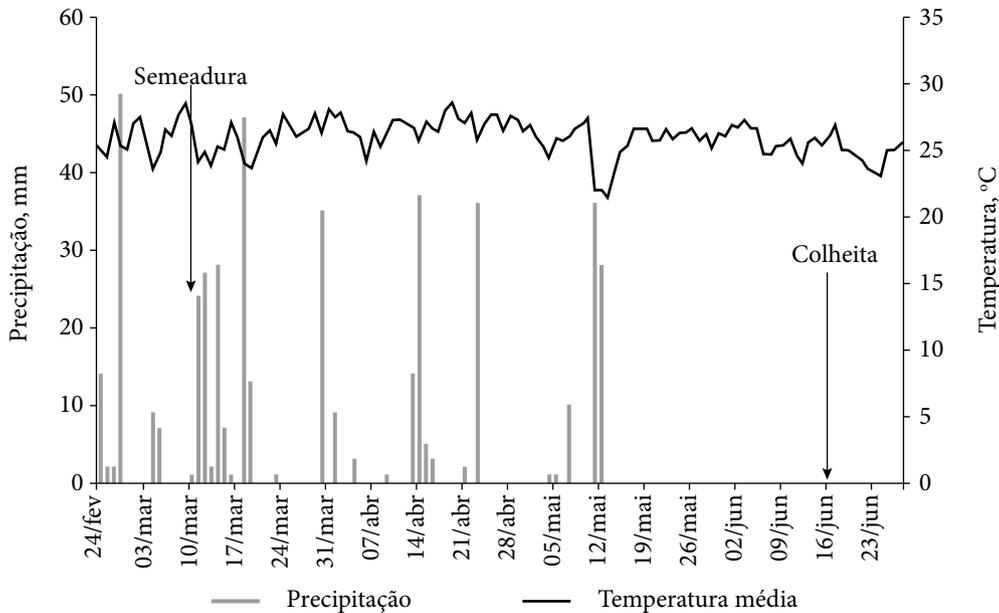


Figura 1. Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura média (°C) durante o período de 24 de fevereiro a 17 de junho de 2015, medidas na estação meteorológica de Nova Xavantina (MT) (INMET, 2015).

Tabela 1. Atributos químicos e físicos do solo da área experimental a uma profundidade de 0 a 20 cm. Nova Xavantina (MT), 2015.

pH	P ¹	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC
H ₂ O	CaCl ₂	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³				
6,8	5,9	4,2	57,0	3,4	0,7	0,0	1,3	4,2
V	MO	Areia		Silte		Argila		
%	g dm ⁻³			g kg ⁻¹				
76,6	11,7	792,0		38,0		170,0		

¹K⁺ e P: Mehlich-1; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺: KCl 1 mol L⁻¹; H+Al: acetato de cálcio; SB: soma de bases trocáveis; CTC (T): capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V: índice de saturação de bases; MO: matéria orgânica (oxidação com Na₂Cr₂O₇, 4 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 10 mol L⁻¹).

Foram realizadas avaliações nos estádios de desenvolvimento V6, VT, R1, R4 e R6 (colheita). Nos estádios V6, VT e R1, foi medido o índice *soil plant analysis development* (SPAD), utilizando equipamento cloroflóg cfl 1030 — Falker. Esse índice está relacionado com os teores de clorofila da planta. As medidas foram realizadas no terço médio da sexta folha (V6), nona folha (VT) e na folha abaixo e oposta à espiga (R1). A altura das plantas foi medida nos estádios V6 e R4, com auxílio de uma trena graduada, medindo a distância do colo da planta até a base da última folha completamente formada. No estádio R4, foi determinado o diâmetro da base do colmo (DC), com o auxílio de paquímetro digital. A altura de inserção das espigas (IPE) também foi avaliada no estádio R4. Todas as avaliações descritas acima foram realizadas dentro da área útil de cada parcela, utilizando cinco plantas escolhidas assistematicamente.

No estádio R6, foram avaliados os componentes de produção após a colheita do milho, realizada no dia 17 de junho 2015. As variáveis analisadas após a colheita de todas as plantas da área útil da parcela foram diâmetro de espigas (DE), medido por meio de paquímetro digital; número de grãos por fileira (NGF); NFG; massa de mil grãos (M1.000), obtida pela contagem de 500 grãos; produtividade (kg ha⁻¹); e umidade de colheita, calculada por meio da massa úmida e seca dos grãos colocados em estufa a 105°C por 24 horas. Para as avaliações de DE, NGF e NFG, escolheram-se assistematicamente 10 espigas por parcela. As variáveis M1.000 e produtividade foram corrigidas para uma umidade de 14% a partir da massa seca determinada em estufa a 105°C por 24 horas.

Para determinar os efeitos dos tratamentos, todas as variáveis foram submetidas à análise de variância, e as médias foram submetidas à análise de regressão utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011). Na regressão linear, foram testados todos os coeficientes dos modelos obtidos ao nível de 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância (Tabela 2) mostrou que houve diferença significativa ($p < 0,05$) sob as doses de P para as variáveis índice SPAD em V6 e VT, altura em V6, NGF, DC, DE, M1.000 e produtividade de grãos. As variáveis índice SPAD em R1, altura de plantas em R4, IPE e NFG não apresentaram respostas significativas ($p > 0,05$).

Conforme observado na Figura 2, o índice SPAD apresentou resposta quadrática para as doses de P₂O₅ nos estádios V6 e VT. O fósforo é componente de moléculas que armazenam energia, como o adenosina trifosfato (ATP), que, por sua vez, é necessário para a absorção, redução e assimilação do nitrogênio, componente da molécula de clorofila (MALAVOLTA et al., 1989). Não foram encontrados trabalhos semelhantes para essa variável na cultura do milho, mas resultados significativos foram determinados por outros autores para limoeiro-cravo (PRADO & VALE, 2008) e rabanete (NUNES et al., 2014).

No estádio V6, a planta inicia uma acelerada elongação do colmo, sendo a absorção de nutrientes e a fotossíntese, funções do P, essenciais para esse processo (MAGALHÃES & DURÃES, 2006). A máxima eficiência técnica (MET) para o índice SPAD foi de 180,45 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (60,92 unidades SPAD — US) e 203,35 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (57,73 US) para os estádios V6 e VT, respectivamente. A redução no índice SPAD para doses acima da MET pode ter ocorrido devido ao excesso de fósforo no solo e na planta, que pode ter interferido na absorção de Mo, Ca, S, Zn, apresentando inibição competitiva ou não competitiva (MARSCHNER, 2012).

No estádio R1, não houve diferença significativa para o índice SPAD sob as doses de P₂O₅ (Figura 1). O que pode ter ocorrido foi uma melhoria na eficiência da utilização do P por conta das modificações no uso e da aquisição do elemento no decorrer do desenvolvimento da cultura (VILAR & MOREIRA-VILAR, 2013), apesar de, nessa fase,

Tabela 2. Valores de quadrado médio e coeficientes de variação obtidos na análise de variância para as variáveis índice *soil plant analysis development* (V6, VT e R1), altura de plantas (V6 e R4), inserção da primeira espiga, número de grãos por fileira, número de fileira de grãos, diâmetro do colmo, diâmetro de espigas, massa de mil grãos (M1.000) e produtividade de grãos.

FV	GL	Índice SPAD			Altura		IPE	NGF	NFG	DC	DE	M1.000	Prod.
		V6	VT	R1	V6	R4							
Dose	4	52,18*	21,97*	5,10 ^{ns}	555,49*	0,047 ^{ns}	0,001 ^{ns}	51,84*	0,25 ^{ns}	29,35*	14,40*	732,14*	3552717,09*
Bloco	4	0,91 ^{ns}	8,80 ^{ns}	7,17 ^{ns}	164,36*	0,065 ^{ns}	0,032*	11,90 ^{ns}	0,49 ^{ns}	5,65*	10,61 ^{ns}	1161,27*	2998229,80*
Erro	16	6,24	5,67	8,17	38,71	0,024	0,007	11,39	0,24	1,86	3,90	204,76	882905,75
CV (%)		4,31	4,22	4,92	8,52	6,60	6,95	10,44	3,53	6,14	4,42	6,02	14,27

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; SPAD: *soil plant analysis development*; IPE: inserção da primeira espiga; NGF: número de grãos por fileira; NFG: número de fileira de grãos; DC: diâmetro do colmo; DE: diâmetro de espigas; M1.000: massa de mil grãos; Prod.: produtividade; CV: coeficiente de variação; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}não significativo a 5% de probabilidade.

as plantas com doses baixas de P_2O_5 já possivelmente terem diminuído seu potencial produtivo (MENGEL & KIRKBY, 1987). Além disso, diferente do potássio, que apresenta absorção com comportamento quadrático, o nitrogênio e o fósforo continuam sendo absorvidos linearmente até a maturidade fisiológica dos grãos (PINHO et al., 2009).

Gazola et al. (2013) avaliaram a adubação fosfatada com fosfato monoamônio (MAP) convencional e MAP revestido na cultura do milho e perceberam que, independentemente das doses (de 0 a 150 kg de P_2O_5 ha⁻¹), o índice SPAD não foi influenciado no estágio R1.

Apesar de não terem sido coletados dados sobre a época para atingir os estádios de desenvolvimento, observou-se um atraso no desenvolvimento das testemunhas tanto na fase vegetativa como na reprodutiva (um a dois dias para o florescimento das testemunhas). Almeida et al. (1988) obtiveram respostas significativas para as datas vigentes entre o plantio e a antese do milho utilizando doses de P_2O_5 .

A altura de plantas no estágio V6 foi afetada significativamente pelos tratamentos (Figura 3), havendo resposta quadrática dessa variável para as doses de P_2O_5 , com MET de 224,73 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , alcançando uma altura máxima de 0,82 m. Segundo Grant et al. (2001), o fósforo é extremamente importante para os estádios iniciais da cultura do milho, sendo a exploração do solo pelo sistema radicular maior com a presença desse elemento, em que este causa diminuição da velocidade da morte do córtex da raiz, favorecendo o crescimento vegetativo. Prado et al. (2001) avaliaram modos de aplicação e doses do fósforo na cultura do milho e ressaltam que, embora não tenham analisado quantitativamente a altura das plantas, perceberam que o desenvolvimento inicial do milho foi mais lento nas doses 0

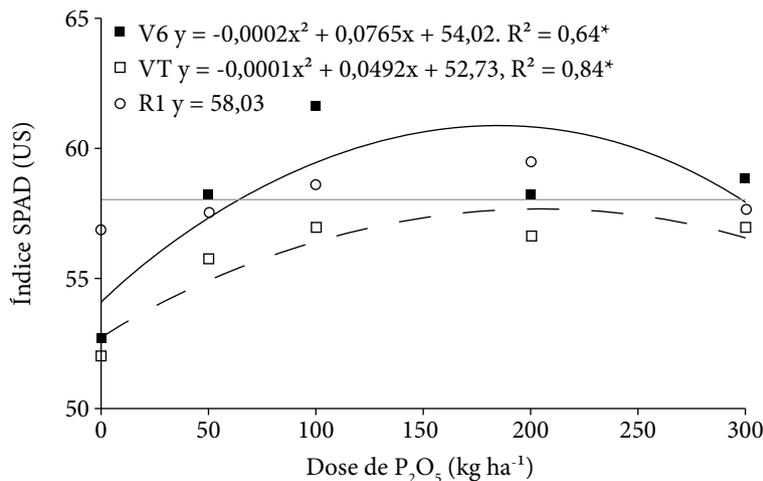


Figura 2. Regressão para o índice *soil plant analysis development* medido nos estádios V6, VT e R1 em plantas de milho cultivadas sob doses de P_2O_5 aplicadas na forma de superfosfato simples.

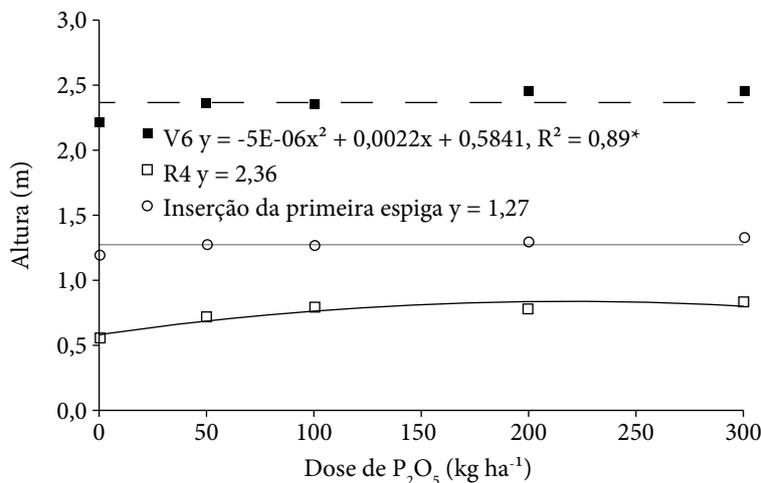


Figura 3. Regressão para a altura de plantas nos estádios V6 e R4, altura de inserção da primeira espiga no estágio R4 em plantas de milho cultivadas sob doses de P_2O_5 aplicadas na forma de superfosfato simples.

e 45 kg ha^{-1} de P_2O_5 do que nas doses maiores. Lucena et al. (2000) encontraram resposta quadrática para a altura de plantas, sendo a MET de $177,27 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 em solo com baixo teor do nutriente ($1,8 \text{ mg dm}^{-3}$), resposta semelhante ao presente trabalho.

No estágio R4, não houve diferença significativa para a altura de plantas ($p > 0,05$) (Figura 3). Isso pode ser consequência da acelerada elongação do colmo a partir do estágio V6 (MAGALHÃES & DURÃES, 2006), porque, mesmo em doses baixas de fósforo, a planta pode ter conseguido alongar o comprimento dos internódios. Todavia, o diâmetro do colmo foi afetado significativamente, sendo determinados menores diâmetros para doses menores (Figura 4).

Resultados semelhantes aos deste trabalho foram encontrados por Almeida et al. (1988), que avaliaram a altura de plantas de milho aos 15, 30, 45 e 60 dias após a emergência (DAE), utilizando doses de 0 a 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 , e observaram que houve diferença significativa apenas para as três primeiras avaliações. Aos 60 DAE, as plantas já haviam iniciado o processo de exteriorização das partes reprodutivas, estágio semelhante (R4) em que não foi encontrada diferença significativa no presente trabalho.

A altura de inserção da primeira espiga (IPE) também não foi influenciada significativamente pelas doses de fósforo ($p > 0,05$) (Figura 3) — esses dados corroboram os resultados obtidos por Gazola et al. (2013), que não obtiveram resposta significativa para doses de MAP convencional ou de liberação lenta.

O diâmetro da base do colmo sofreu influência significativa para as doses de P_2O_5 , ajustando-se ao modelo quadrático na análise de regressão, com a MET de $253,82 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 , alcançando $2,46 \text{ cm}$ (Figura 4).

As menores medidas de diâmetros do colmo podem afetar a produtividade e a facilidade de colheita, pois aumenta o risco de acamamento das plantas (MORAES & BRITO, 2008). Gonçalves et al. (2013) avaliaram o diâmetro do colmo sob doses de ureia associadas ao fósforo no sulco de plantio e obtiveram resposta quadrática, ressaltando que o colmo é uma importante reserva de fotoassimilados; sendo assim, podem-se correlacionar as maiores produtividades com os maiores diâmetros dos colmos, pois os compostos serão remobilizados para o enchimento de grãos.

Valderrama et al. (2011) não encontraram respostas significativas do diâmetro do colmo para doses de 0 a 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 , o que ocorreu por conta dos teores altos de P na área do experimento (31 mg dm^{-3}) e da baixa exigência do material genético utilizado. No presente trabalho, os resultados foram distintos, pois os teores de P estavam baixos ($4,2 \text{ mg dm}^{-3}$) e o híbrido simples utilizado era altamente responsivo.

Outra variável afetada pela adubação fosfatada foi o diâmetro de espigas, que apresentou resposta linear para as doses de P_2O_5 . O acúmulo de N, P e K pelo sabugo segue constante até o ponto de maturidade fisiológica, podendo se associar ao incremento de matéria seca, maior nesse ponto (PINHO et al., 2009).

O NFG não apresentou diferença significativa para as doses de P_2O_5 , atingindo a média de 13,76 fileiras de grãos (Figura 5). Entretanto, o NGF apresentou resposta quadrática, com a MET de $214,56 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 , alcançando o máximo de 35,33 grãos por fileira. A quantidade de fileiras de grãos e grãos em potencial (óvulos) por espiga é definida até os estágios V8 e V12, respectivamente (MAGALHÃES & DURÃES, 2006). Valderrama et al. (2011) obtiveram

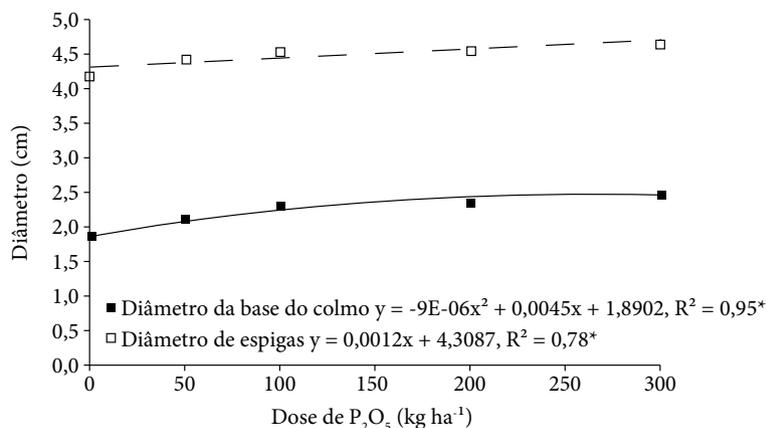


Figura 4. Regressão para os diâmetros da base do colmo no estágio R4 e o de espigas no R6 em plantas de milho cultivadas sob doses de P_2O_5 aplicadas na forma de superfosfato simples.

aumentos lineares para o NGF, utilizando doses crescentes de fósforo. Lucena et al. (2000) encontraram incrementos para o número de grãos por espiga, utilizando doses de 0 a 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅, Lana et al. (2014) não encontraram diferenças significativas das doses de fósforo para as variáveis NFG e NGF, o que pode ser consequência do teor adequado de P no solo (13,65 mg dm⁻³).

A M1.000 foi influenciada significativamente pelas doses de P₂O₅ (Figura 6), ajustando-se ao modelo quadrático na análise de regressão, sendo a MET de 219,08 kg de P₂O₅ ha⁻¹ e a M1.000 máxima de 249,22 g.

O fósforo possui grande importância agrícola para os grãos, visto que está presente nas formas de ácidos fítics, fosfatídeos, ácidos nucleicos e também na forma inorgânica (RABOY, 2009). Esses compostos contribuem para a qualidade fisiológica das sementes e também para o incremento de matéria seca. Para Zhou & Erdman (1995), o ácido fítico é a forma predominante para o armazenamento de fósforo em cereais. Além desse armazenamento, o ácido fítico é um agente quelante de vários cátions, como o potássio, cálcio, magnésio e outros (MARSCHNER, 2012). No milho, na maturidade fisiológica, quantidades de 75 a 80% do fósforo se encontram na forma de ácido fítico, sendo 90% presente no eixo embrionário e os outros 10% na aleurona (RABOY, 2009).

Os compostos produzidos na fase vegetativa, como hidratos de carbono, proteínas e outros, são remobilizados para o enchimento de grãos (MUNDSTOCK & THOMAS, 2005). O fósforo participa diretamente

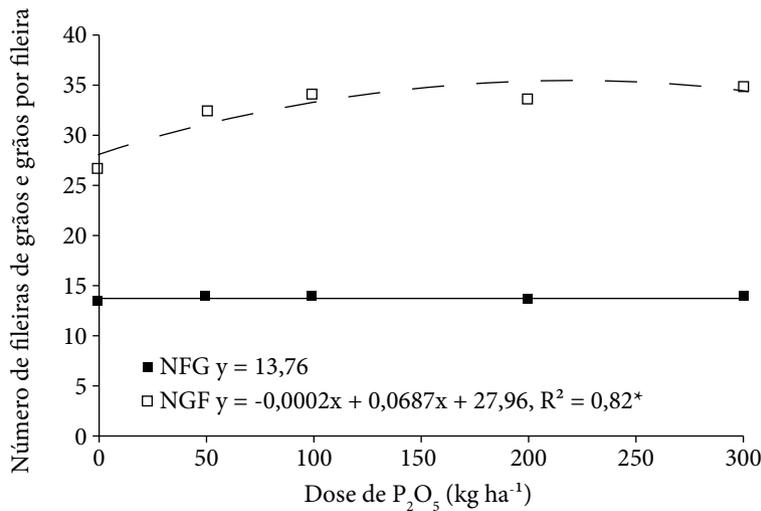


Figura 5. Regressão para os números de grãos por fileira e de fileira de grãos em plantas de milho cultivadas sob doses de P₂O₅ aplicadas na forma de superfosfato simples.

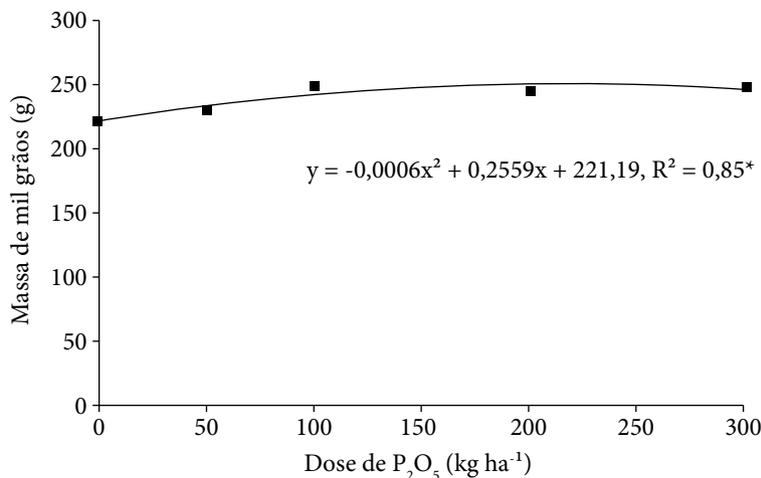


Figura 6. Regressão para a massa de mil grãos provenientes de plantas de milho cultivadas sob doses de P₂O₅ aplicadas na forma de superfosfato simples.

na síntese desses compostos e como fonte de energia para o carregamento e descarregamento do floema, importante para a remobilização. Com isso, a deficiência do nutriente pode resultar em menores massas de grãos. Roscoe & Miranda (2013) afirmam que cerca de 90% do fósforo absorvido pela planta é transportado para os grãos.

Lana et al. (2014) verificaram que não houve resposta significativa para a massa de mil grãos com a aplicação de fósforo, visto que o nutriente estava em teores adequados no solo. Valderrama et al. (2011) não observaram incrementos da massa de grãos com a aplicação de fósforo, sendo que as medidas foram diminuindo com aumento das doses, o que pode estar relacionado com dois fatores: a) o aumento concomitante do número de grãos por espigas, pela competição dos grãos por fotoassimilados; e b) pelo alto teor de P no solo (31 mg dm^{-3}). Já Almeida et al. (1988) observaram resposta significativa da massa de grãos para as doses de P_2O_5 .

Assim como muitas variáveis analisadas no experimento, a produtividade de grãos apresentou resposta quadrática para as doses de P_2O_5 (Figura 7), com a MET de $189,45 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 , alcançando produção máxima de $7.499,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de grãos. Esses resultados se devem principalmente ao teor muito baixo do elemento no solo ($4,2 \text{ mg dm}^{-3}$).

A produtividade máxima alcançada é muito superior à média nacional, que é de 3.500 a 4.000 kg ha^{-1} (SANGOI et al., 2010). Altas doses de fósforo afetaram negativamente a produtividade. Isso se deve ao excesso do elemento, o que limita a absorção de outros elementos essenciais, como o molibdênio, enxofre, zinco e cálcio, causando um desequilíbrio nutricional nas plantas (MARSCHNER, 2012). O mesmo pode ter ocorrido também para as variáveis índice SPAD, altura de plantas, NGF, DC e M1.000, que apresentaram resposta quadrática.

Barreto & Fernandes (2002) também encontraram resposta quadrática para a produção de grãos de milho submetido à adubação fosfatada em sulco simples, o solo também apresentava teores muito baixos de fósforo (1 mg dm^{-3}), entretanto os autores encontraram uma MET de $155,21 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 . Com teor de fósforo no solo considerado muito baixo ($1,8 \text{ mg dm}^{-3}$), Lucena et al. (2000) também encontraram resposta quadrática para a produção de grãos de milho utilizando doses de P_2O_5 , com MET de $197,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 , com uma produção de $2.258,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de grãos.

Em região do Cerrado, Prado et al. (2001) trabalharam com doses de 0 a 135 kg ha^{-1} de P_2O_5 na cultura do milho em solo com teores baixos do nutriente e obtiveram resposta linear para a produtividade de grãos. Por outro lado, com teores de $13,65 \text{ mg dm}^{-3}$ de fósforo no solo, Lana et al. (2014) não encontraram resposta significativa da produção de grãos de milho para as doses de P_2O_5 variando de 0 a 120 kg ha^{-1} . Valderrama et al. (2011) também não encontraram resposta significativa para a produção de grãos de milho utilizando doses de fósforo em um solo com teores de 31 mg dm^{-3} .

A produtividade de grãos correlacionou-se positivamente com a maior parte das variáveis analisadas neste trabalho (Tabela 3).

Os coeficientes de correlações de Pearson (r) foram significativos e positivos para as características: SPAD em V6, altura de plantas em V6 e R4, IPE, DC, NFG, NGF, DE e M1.000. Entretanto, a correlação não foi significativa

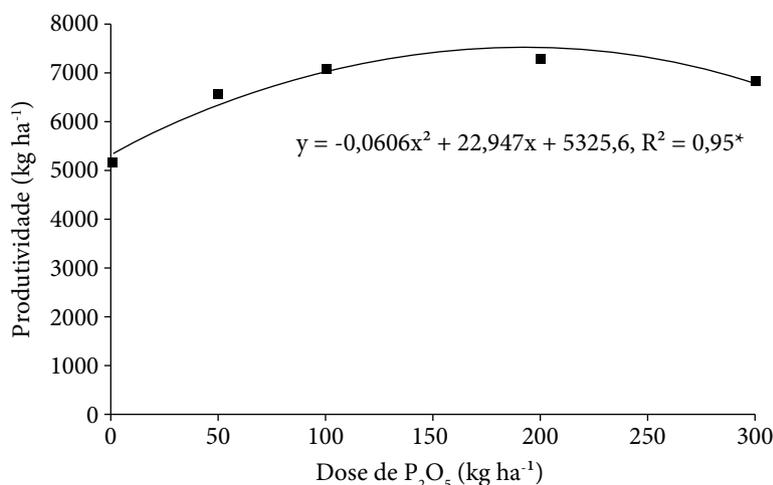


Figura 7. Regressão para a produtividade de grãos provenientes de plantas de milho cultivadas sob doses de P_2O_5 aplicadas na forma de superfosfato simples.

para o índice SPAD em VT e R1, embora fosse positiva. Hurtado et al. (2011) verificaram resultados semelhantes para nitrogênio na cultura do milho, em que a leitura SPAD foi significativa ($p < 0,01$), mas, na correlação com a produtividade, não obtiveram significância estatística. De acordo com os mesmos autores, isto pode ter ocorrido porque os dados obtidos pelo clorofilômetro não apresentam alta precisão.

A produção de grãos é a principal variável para o milho safrinha no Cerrado, sendo importante analisar o custo/benefício da adubação. A dose de P_2O_5 para a máxima produtividade de grãos foi alta, podendo aumentar o custo de produção a ponto de reduzir o retorno econômico. Por isso, é importante avaliar a máxima eficiência econômica (MEE), que varia com o preço do milho e do fertilizante fosfatado em questão, o que é possível com as curvas de resposta obtidas na presente pesquisa.

Considerando os preços de uma saca de 60 kg de milho (R\$ 22) e de uma tonelada de superfosfato simples (R\$ 850), a MEE foi de 98,39 kg ha^{-1} de P_2O_5 , e, para doses maiores do que esta, o custo com aplicação do fertilizante seria maior do que o retorno com a venda da produção de milho. Essa dose condiz com a utilizada pelos produtores da região de estudo, cerca de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 . A MEE foi calculada com base na derivada de primeiro grau do modelo quadrático da regressão para a variável produtividade; esse modelo pode ser utilizado futuramente, desde que se conheça o preço do fertilizante e do milho, conforme proposto na Equação 1:

$$MEE \text{ (kg } ha^{-1} \text{ de } P_2O_5) = \frac{P.F. / (P.M. - 22,95)}{-0,12112} \quad (1)$$

Em que:

MEE: a máxima eficiência econômica (Kg ha^{-1} de P_2O_5);

P.F.: o preço do fertilizante (R\$/kg de P_2O_5);

P.M.: o preço do milho (R\$/kg de milho).

4. CONCLUSÕES

A adubação fosfatada influencia positivamente na produção de milho safrinha, na qual houve respostas significativas ($p < 0,05$) das doses de P_2O_5 para os componentes de produção índice SPAD (V6 e VT), altura de plantas (V6), NFG, DC, DE, M1.000 e produtividade de grãos.

Os coeficientes de correlações de Pearson (r) para a produtividade foram significativos e positivos para as características: SPAD em V6, altura de plantas em V6 e R4, IPE, DC, NFG, NGF, DE e M1.000, exceto para os índices SPAD em VT e R1.

A MET da produtividade de grãos foi de 189,45 kg ha^{-1} de P_2O_5 e a MEE, de 98,39 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

Tabela 3. Valores do coeficiente de correlação de Pearson (r) entre as variáveis analisadas.

	PD	SPAD			AT		IPE	DC	NFG	NGF	DE	M1.000
		V6	VT	R1	V6	R4						
PD	1*	0,45*	0,38 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,72*	0,69*	0,69*	0,69*	0,56*	0,73*	0,77*	0,70*
SPAD (V6)		1*	0,48*	0,30 ^{ns}	0,61*	0,39 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,63*	0,20 ^{ns}	0,61*	0,48*	0,42*
SPAD (VT)			1*	0,64*	0,40*	0,30 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,53*	0,28 ^{ns}	0,61*	0,55*	0,44*
SPAD (R1)				1*	0,25 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,42*	0,41*	0,53*	0,25 ^{ns}
Altura (V6)					1*	0,71*	0,71*	0,87*	0,43*	0,73*	0,72*	0,51*
Altura (R4)						1*	0,88*	0,73*	0,45*	0,72*	0,89*	0,46*
IPE							1*	0,66*	0,30 ^{ns}	0,58*	0,75*	0,46*
DC								1*	0,39*	0,77*	0,79*	0,55*
NFG									1*	0,43*	0,55*	0,18 ^{ns}
NGF										1*	0,81*	0,48*
DE											1*	0,64*
M1.000												1*

*Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}Não significativo a 5% de probabilidade; ¹PD: produtividade de grãos; SPAD: teor relativo de clorofila nos estádios V6, VT e R1; AT: altura de plantas; IPE: altura de inserção da primeira espiga; DC: diâmetro do colmo; NFG: número de fileiras de grãos; NGF: número de grãos por fileiras; DE: diâmetro de espiga; M1.000: massa de mil grãos.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F.A.G.; FONTES, J.M.; ALMEIDA, F.C.G. Uso da cinza da casca de castanha do caju como fonte de fósforo para a cultura do milho (*Zea mays* L.). **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.19, n.1, p.73-78, 1988.
- BARRETO, A.C.; FERNANDES, M.F. Produtividade e absorção de fósforo por plantas de milho em função de doses e modos de aplicação de adubo fosfatado em solo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.1, p.151-156, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832002000100015>
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Perspectivas para a agropecuária**. Brasília: Conab, 2014. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_09_10_18_03_00_perspectivas_2014-15.pdf>. Acesso em: 16 out. 2015.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.
- _____. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.
- FARIAS, D.R.; OLIVEIRA, F.H.T.; SANTOS, D.; ARRUDA, F.A.; HOFFMANN, R.B.; NOVAIS, R.F. Fósforo em solos representativos do estado da Paraíba. I - isotermas de adsorção e medidas do fator capacidade de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.3, p.623-632, 2009. <dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000300015>.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>>.
- GAZOLA, R.N.; BUZZETTI, S.; DINALLI, R.P.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; CELESTRINO, T.S. Efeito residual da aplicação de fosfato monoamônio revestido por diferentes polímeros na cultura de milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v.60, n.6, p.876-884, 2013. <dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2013000600016>.
- GONÇALVES, R.N.; SOUSA, T.R.; ROMÃO, L.G.F.E.; PELÁ, A.; SILVA NETO, S.P.; CASSIANO, M.V.P. Avaliação da produtividade de milho safrinha sob diferentes doses de nitrogênio mais fósforo aplicados no plantio. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 12., 2013, Dourados. **Anais...** Brasília: Embrapa. 1 CD-ROM.
- GRANT, C.A.; FLATEN, D.N.; TOMASIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agrônômicas**, Piracicaba, n. 95, p.1-5, 2001.
- HURTADO, S.M.C.; RESENDE, A.V.; SILVA, C.A.; CORAZZA, E.J.; SHIRATSUCHI, L.S. Clorofilômetro no ajuste da adubação nitrogenada em cobertura para o milho de alta produtividade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.6, p.1011-1017, 2011. <dx.doi.org/10.1590/S0103-84782011005000074>.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção agrícola 2014**. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_%5Bmensal%5D/Comentarios/lspa_201403comentarios.pdf>. Acesso em: 4 ago. 2015.
- INSTITUTO MATO-GROSSENSE DE ECONOMIA E AGROPECUÁRIA (IMEA). **Milho**, n. 374, 2015. Disponível em: <http://www.imea.com.br/upload/publicacoes/arquivos/R403_2015_10_09_BSMilho.pdf>. Acesso em: 17 out. 2015.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Estações convencionais**: gráficos. 2015. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_conv_graf>. Acesso em: 15 nov. 2015.
- LANA, M.C.; RAMPIM, L.; VARGAS, G. Adubação fosfatada no milho com fertilizante organomineral em Latossolo Vermelho eutroférico. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v.7, n.1, p.26-36, 2014.
- LUCENA, L.F.C.; OLIVEIRA, F.A.; SILVA, I.F.; ANDRADE, A.P. Resposta do milho a diferentes dosagens de nitrogênio e fósforo aplicados ao solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.334-337, 2000. <dx.doi.org/10.1590/S1415-4366200000300005>.
- MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M. **Fisiologia da produção de milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2006. 10p. (Circular Técnica, 76).
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1989. 201p.
- MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. Nova York: Academic Press, 2012. 651p.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Postash Institute, 1987. 687p.

- MORAES, D.F.; BRITO, C.H. **Análise de possível correlação entre as características morfológicas do colmo do milho e o acamamento**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2008. 16p.
- MUNDSTOCK, C.M.; THOMAS, A.L. **Soja: fatores que afetam o crescimento e rendimento de grãos**. Porto Alegre: Evangraf, 2005. 31p.
- MUNIZ, A.S.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Níveis críticos de fósforo na parte aérea da soja como variável do fator capacidade de fósforo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.9, n.237-243, 1985.
- NUNES, J.A.S.; BONFIM-SILVA, E.M.; MOREIRA, J.C.F. Produção de rabanete submetido à adubação fosfatada. **Revista do Centro Universitário de Patos de Minas**, Patos de Minas, p. 33-43, 2014.
- PEIXOTO, C.M. O milho: O Rei dos cereais - Da sua descoberta há 8.000 anos até as plantas transgênicas. **Seed News**, 2002. Disponível em: <<http://www.seednews.inf.br/portugues/seed62/milho62.shtml>>. Acesso em: 30 jul. 2015.
- PINHO, R.G.V.; BORGES, I.D.; PEREIRA, J.L.A.R.; REIS, M.C. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.8, n.2, p.157-173, 2009. <dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v8n2p157-173>.
- PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; ROQUE, C.G. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo, em adubação de manutenção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.83-90, 2001. <dx.doi.org/10.1590/S0100-06832001000100009>.
- PRADO, R.M.; VALE, D.W. Nitrogênio, fósforo e potássio na leitura spad em porta-enxerto de limoeiro cravo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.38, n.4, p.227-232, 2008.
- RABOY, V. Approaches and challenges to engineering seed phytate and total phosphorus. **Plant Science**, Davis, v.177, p.281-296, 2009. <dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2009.06.012>.
- ROSCOE, R.; MIRANDA, R.A.S. **Manejo da Adubação do Milho Safrinha**. Maracaju: Fundação MS, 2013. 23p.
- SANGOI, L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; RAMBO, L. **Ecofisiologia da cultura do milho para altos rendimentos**. Lages: Graphel, 2010. 87p.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.
- SOUZA, A.P.; MOTA, L.L.; ZAMADEI, T.; MARTIN, C.C.; ALMEIDA, F.T.; PAULINO, P. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. **Nativa**, Sinop, v.1, n.1, p.34-43, 2013. <<http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v01n01a07>>.
- SOUZA, E.C.A.; COUTINHO, E.L.M.; NATALE, W.; BARBOSA, J.C. Respostas do milho à adubação com fósforo e zinco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.7, p.1031-1036, 1998.
- VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C.G.S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, n.2, p.254-263, 2011.
- VILAR, C.C.; COSTA, A.C.S.; HOEPERS, A.; SOUZA JUNIOR, I.G. Capacidade máxima de adsorção de fósforo relacionada a formas de ferro e alumínio em solos subtropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.1059-1068, 2010. <dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000400006>.
- VILAR, C.C.; MOREIRA-VILAR, F. Comportamento do fósforo em solo e planta. **Campo Digit@l**, Campo Mourão, v.8, n.2, p.37-44, 2013.
- ZHOU, J.R.; ERDMAN JR., J.W. Phytic acid in health and disease. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.35, p.495-508, 1995. <<https://doi.org/10.1080/10408399509527712>>.