

## ATIVIDADE DA REDUTASE DO NITRATO E DESENVOLVIMENTO DE MILHO IRRIGADO ADUBADO COM FOSFATO MONOAMÔNICO POLIMERIZADO

VANESSA JUNIA MACHADO<sup>1</sup>, CARLOS HENRIQUE EITERER DE SOUZA<sup>1</sup>,  
VINÍCIUS JOSÉ RIBEIRO<sup>2</sup> e CRISTIANO GONÇALVES CAIXETA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Unipam, Patos de Minas, MG, Brasil, vjunia01@globo.com, carloshenrique@unipam.edu.br

<sup>2</sup>Engenheiro Agrônomo, Patos de Minas, MG, Brasil, viniciusjoseribeiro@hotmail.com, cristiano.ag2009@hotmail.com

*Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.12, n.3, p. 203-213, 2013*

**RESUMO** - Na região do Cerrado, elevadas médias de produtividade em lavouras de milho têm sido alcançadas devido à tecnologia empregada em maquinários, insumos e sementes. A eficiência do uso de P nas lavouras de milho é de fundamental importância, pois este nutriente é um dos fatores limitantes à sua produção. Para minimizar as perdas e aumentar a produtividade, podem-se usar fontes de P de liberação gradual. O presente trabalho visa a avaliar o crescimento e a atividade da enzima redutase do nitrato de plantas de milho cultivado em sistema de plantio convencional irrigado por aspersão, em resposta ao uso de MAP polimerizado. O experimento foi instalado na Fazenda Experimental da Epamig, no município de Patos de Minas, MG. Os tratamentos foram: controle (sem aplicação de P) e doses de 50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; MAP com e sem revestimento polimerizado. O uso de MAP polimerizado permitiu um fornecimento equilibrado de P ao longo do tempo. O crescimento da planta não foi influenciado pela fonte de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicada. A atividade da enzima da redutase do nitrato é maior quanto mais próxima da aplicação de N em cobertura.

**Palavras-chave:** análise de crescimento; MAP de liberação lenta; *Zea mays*.

## ACTIVITY OF NITRATE REDUCTASE AND DEVELOPMENT OF MAIZE IRRIGATED AND FERTILIZED WITH MONOAMMONIUM PHOSPHATE POLYMERIZED

**ABSTRACT** - Maize is one of the most important crops in Brazil's grain production. In the Cerrado region has achieved high productivity, because of the technology used in machinery, inputs and seeds. The efficiency in the use of phosphorus in corn fields is very important since this nutrient is one of the limiting factors of maize production. Sources that gradually release P can be used to minimize losses and increase productivity.. This study aimed to evaluate the growth and activity of nitrate reductase of maize plants grown in conventional tillage system with sprinkler irrigation in response to the use of MAP slow release, in Patos de Minas region of Alto Paranaíba, Minas Gerais. The experiment was conducted at the Experimental Farm Epamig. The treatments were: control (no P application) and doses of 50, 100, 150 and 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, with and without coating cured. The use of polymerized MAP allowed a balanced supply of P over time. The plant growth was not affected by the source of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> used. The activity of nitrate reductase enzyme is greater the closer the application of N topdressing.

**Key words:** growth analysis; MAP slow-release; *Zea mays*.

O milho (*Zea mays* L.) é uma das mais importantes culturas do Brasil na produção de grãos, podendo ser utilizado tanto na alimentação humana, como na alimentação animal devido às suas características nutricionais. Na região do Cerrado, têm-se alcançado elevadas médias de produtividade, apesar de o solo apresentar, na maioria das vezes, em sua solução, baixos teores de fósforo e cátions e elevados teores de  $Al^{3+}$  e acidez. Assim, a alta produtividade se deve principalmente à tecnologia empregada em maquinários, insumos e sementes.

O fósforo (P) é um importante macronutriente para as plantas, sendo, depois do nitrogênio (N), o elemento mais limitante ao seu desenvolvimento. O acúmulo de P pelas plantas raramente ultrapassa valores de 0,5% e tal fato só ocorre no caso em que as sementes são a parte importante na colheita (Raij, 1991). É um elemento indispensável para o completo ciclo das plantas, influenciando de modo particular o crescimento de raízes (Marschner, 1995). Decorre daí que a extensão do sistema radicular ser de fundamental importância na absorção do elemento. Além disso, as exigências das plantas quanto ao P são maiores no período inicial de seu desenvolvimento (Novais et al. 1982, Romer & Schilling, 1986).

A eficiência do uso de P nas lavouras de milho é de fundamental importância por tratar-se de uma das culturas mais plantadas no país e que tem, neste macronutriente essencial, um dos fatores limitantes à sua produção (Coelho et al., 2009). A produtividade do milho depende, entre outros fatores, do adequado suprimento de nutrientes, sendo o fornecimento de P via adubação uma prática essencial nos solos brasileiros. Nas plantas, o P é necessário para fotossíntese,

respiração, transferência de genes e em processos que envolvem transferência de energia (Stauffer & Sulewski, 2003). Aumentos no fornecimento de P a plantas de milho aumentaram o conteúdo total de N e a sua eficiência de utilização deste nutriente (Araújo & Machado, 2006).

Dentre as opções de fontes de fósforo no mercado, os fosfatos totalmente acidulados são os usualmente comercializados, entre eles os grupos dos superfosfatos simples e triplos e dos fosfatos monoamônicos e diamônicos (Prochnow et al., 2004).

Para minimizar as perdas e aumentar a produtividade de forma rentável e sustentável utilizando fontes de P, foram desenvolvidas fórmulas com liberação gradativa de nutrientes que permitem reduzir as perdas que normalmente ocorrem com a utilização de ureia e MAP, possibilitando a redução da dose de fertilizantes sem influenciar a produtividade das lavouras (Nyborg et al., 1995).

Para melhor entender o efeito da aplicação de produtos com efeito fisiológico em grandes culturas, é importante conhecer a taxa de crescimento da planta em diferentes órgãos. Além disso, é possível estimar a proporção de alocação de fitomassa em plantas tratadas com moléculas de ação fisiológica, que apresentam ação direta no metabolismo da planta (Fagan, 2007).

A utilização de modelos de crescimento tem auxiliado no estudo das relações entre clima e planta (Boote et al., 1994). Nos últimos anos, têm sido utilizados modelos para descrever o acúmulo de fitomassa seca em plantas anuais e perenes e sua interação com a produtividade final (Turco et al., 1998; Overman & Scholtz, 2003). O uso de modelos de crescimento possibilita a estimativa simplificada de processos fisiológicos que ocorrem na planta.

A enzima que faz redutase do nitrato tem grande importância na regulação do metabolismo do N, uma vez que o nitrato absorvido pela planta deve ser reduzido a  $\text{NH}_4^+$  antes de ser incorporado em compostos orgânicos (Purcino et al., 1994).

Desta forma, o presente trabalho visou a avaliar a atividade da enzima redutase do nitrato e o crescimento de plantas de milho cultivado em sistema de plantio convencional irrigado por aspersão, em resposta ao uso de fosfato monoamônico polimerizado, em Patos de Minas, região do Alto Paranaíba, em Minas Gerais.

### Material e Métodos

O experimento foi instalado na Fazenda Experimental da Epamig localizada na fazenda Sertãozinho, no município de Patos de Minas, MG, em Latossolo Vermelho Eutroférico textura argilosa (Santos et al., 2006), em lavoura comercial de milho (*Zea mays* L.) sob sistema de plantio convencional.

Antes da instalação do ensaio, foram coletadas amostras do solo para análise da caracterização química e física do solo, determinando os teores de:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$  trocáveis; acidez potencial por acetato de cálcio; matéria orgânica

total (MOS) por titulometria; P assimilável por Mehlich<sup>-1</sup>, P remanescente e pH em água; e teores de areia, silte e argila (Tabela 1), seguindo metodologia de Claessen (1997).

Foram nove tratamentos em esquema fatorial  $4 \times 2 + 1$ , sendo quatro doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (50, 100, 150 e 200  $\text{kg ha}^{-1}$ ); dois tipos de revestimentos polimerizados (com e sem) e um tratamento controle (sem aplicação de P), em 4 blocos, em um total de 36 parcelas.

As parcelas experimentais foram constituídas por uma área de 21  $\text{m}^2$ , sendo 7 m de comprimento por 3 m de largura. A semeadura do híbrido 7049 Hx BioGene® foi realizada manualmente no mês de março de 2010, com espaçamento de 0,5 m entre linhas e densidade de 5 plantas  $\text{m}^{-1}$ . Após a emergência, foi efetuado o desbaste, deixando 4 plantas  $\text{m}^{-1}$ , totalizando uma população final de aproximadamente 75.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ .

A adubação nitrogenada foi de 120  $\text{kg ha}^{-1}$ , em complementação ao fornecimento de N via adubação fosfatada (MAP) utilizando ureia. Como dose de potássio, foram fornecidos 150  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , utilizando como fonte o KCl, sendo fornecida metade da dose no plantio.

A lavoura foi conduzida comercialmente até a colheita, efetuando todo o manejo para

**TABELA 1.** Resultado da análise química da área de Latossolo Vermelho Eutroférico textura argilosa, utilizada no cultivo de milho irrigado por aspersão em função da aplicação de doses crescentes de  $\text{P}_2\text{O}_5$  utilizando MAP com e sem polimerização. Patos de Minas, Unipam, 2010.<sup>1</sup>

pH	M.O.	P-Mel	P Rem	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^+$	$\text{Mg}^+$	H+Al	SB	T	Argila
	Água	dag $\text{kg}^{-1}$			mg $\text{dm}^{-3}$		cmol <sub>c</sub> $\text{dm}^{-3}$		g $\text{kg}^{-1}$	
5.97	3.85	36.27	7.82	142.86	1.74	0.15	5.50	2.25	7.75	280

<sup>1</sup>Extratores: pH em água, K e P assimilável por Mehlich<sup>-1</sup>, P remanescente, teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  trocáveis extraídos por KCl; acidez potencial por acetato de cálcio; matéria orgânica total (MOS) por titulometria, segundo metodologia Claessen (1997).

controle da incidência de pragas e doenças, bem como a aplicação de defensivos químicos de acordo com as recomendações técnicas.

As avaliações referentes à análise de crescimento foram iniciadas após as plantas de milho atingirem o estágio vegetativo com 4 folhas completamente expandidas e realizadas até 28 dias após a primeira coleta, em intervalos de 7 dias.

Para a determinação de fitomassa seca de folha, raiz e caule, foram coletadas duas plantas por parcela, nas duas linhas centrais, totalizando oito plantas por tratamento. Cada órgão da planta foi acondicionado, separadamente, em sacos de papel e a secagem das diferentes partes da planta foi realizada utilizando-se o método padrão de secagem em estufa, com circulação de ar forçada e com temperatura de 65 °C até peso constante.

A área foliar (AF) foi determinada pelo método de discos, que consistiu na retirada de 20 discos em folhas aleatórias, a cada 14 dias após a quarta folha completamente expandida, com auxílio de um vazador. Os discos individualizados foram colocados em sacos de papel, identificados e levados à estufa de secagem de ventilação forçada de ar a 65 °C até peso constante para determinação de fitomassa seca. Através de uma regra de três, foi determinada a área foliar:  $AD \times FSF \times ND / FSD$ , em que: AD é a área do disco (cm<sup>2</sup>); FSF - fitomassa seca de folhas (g); ND - número de disco; e FSD - fitomassa seca de discos (g) (Fagan, 2007). Foram determinadas também a razão de área foliar [RAF = (área foliar/fitomassa total)]; e área foliar específica [AFE = (área foliar/fitomassa das folhas)] (Benincasa, 2003). O IAF foi determinado à medida que o estágio de desenvolvimento da cultura avançou.

Após as plantas atingirem quatro folhas completamente expandidas, teve início a análise de

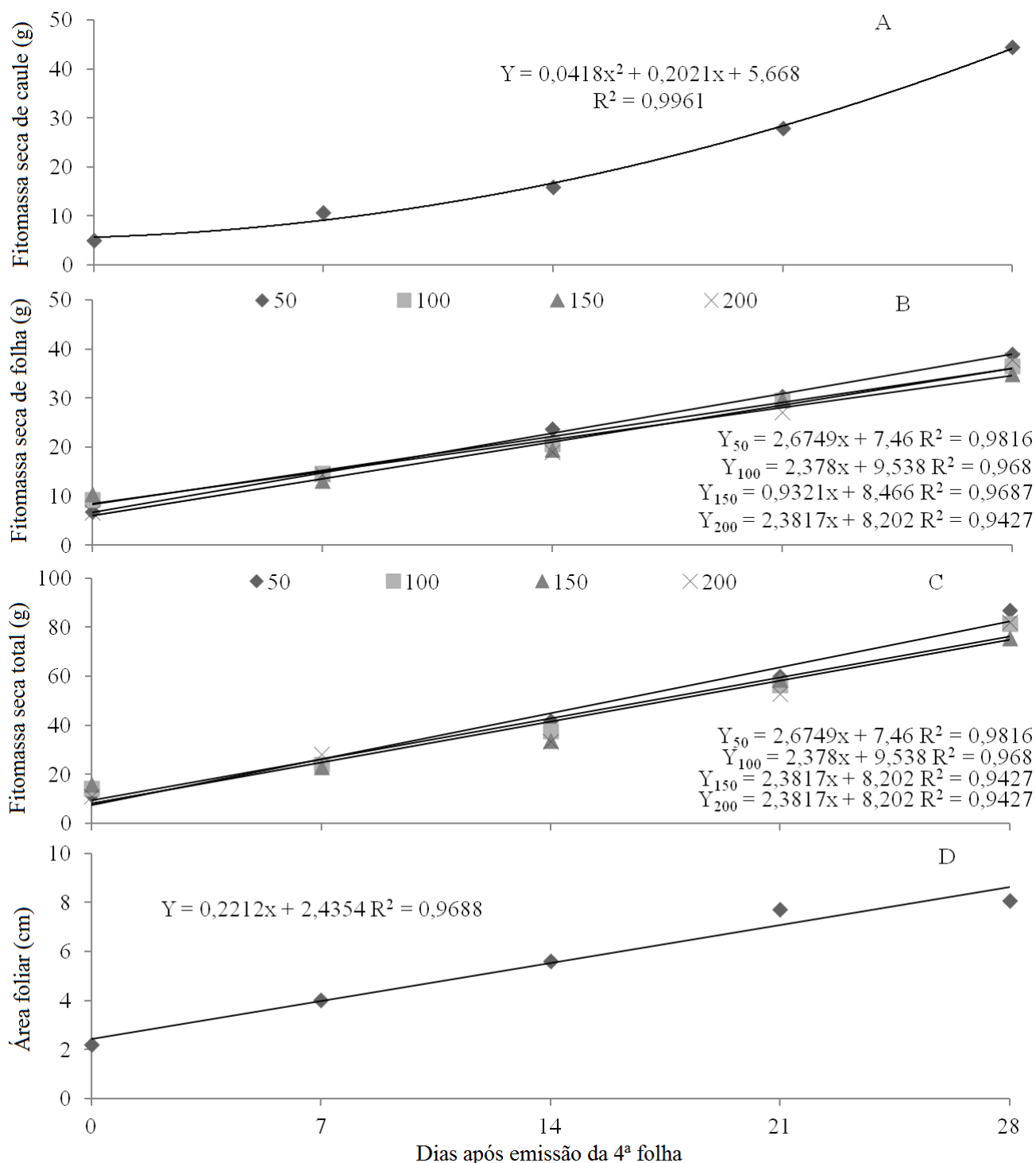
atividade da enzima redutase do nitrato, coletando a primeira folha completamente desenvolvida a partir do ápice da planta, de quatro plantas localizadas nas duas fileiras centrais, excluindo 0,5 m das extremidades. Foram realizadas quatro coletas, com intervalos de sete dias entre elas, no período da manhã. As folhas foram acondicionadas em sacos de plástico, umedecidas e levadas ao laboratório para análise no mesmo período. A metodologia utilizada para determinação da atividade da enzima redutase do nitrato foi proposta por Cataldo (1975).

Os dados foram submetidos à análise de variância, ajustando modelos de regressão das variáveis avaliadas em relação aos tratamentos, utilizando o software Sisvar (Ferreira, 2000).

## Resultados e Discussão

A fitomassa seca do caule, folha e total, e a área foliar não sofreram influência da fonte ou da dose do fertilizante aplicado, sendo influenciados apenas pelo tempo (Figura 1). Tal fato é decorrente, provavelmente, do histórico da área, cultivada constantemente e que apresenta alta fertilidade natural (Tabela 1). O desenvolvimento das plantas se manteve uniforme em todas as medições realizadas aos 7, 14, 21 e 28 dias após a emissão da quarta folha, indicando que a disponibilidade de P no solo foi suficiente para o seu desenvolvimento inicial, independente da fonte utilizada (Figura 1).

O crescimento das plantas é definido como o aumento irreversível de volume, sendo seu maior componente de crescimento a divisão e a expansão celular. O crescimento vegetal pode ser medido, entre outras formas, pela medição do peso seco da planta (Taiz & Zieger, 2006).



**FIGURA 1.** Fitomassa de caule (A), folha (B) e total (C), e área foliar (D) de plantas de milho aos 7, 14, 21 e 28 dias após a emissão da quarta folha, cultivado em função da aplicação de 50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para as fontes MAP convencional e MAP Polimerizado.

De acordo com Taiz & Zieger (2006), o crescimento vegetal ocorre devido à divisão celular, em particular duas células dos meristemas, as quais duplicam em volume durante seu ciclo celular, razão pela qual um aumento do número de células, como o causado pela atividade dos meristemas apicais, contribui para o crescimento vegetal.

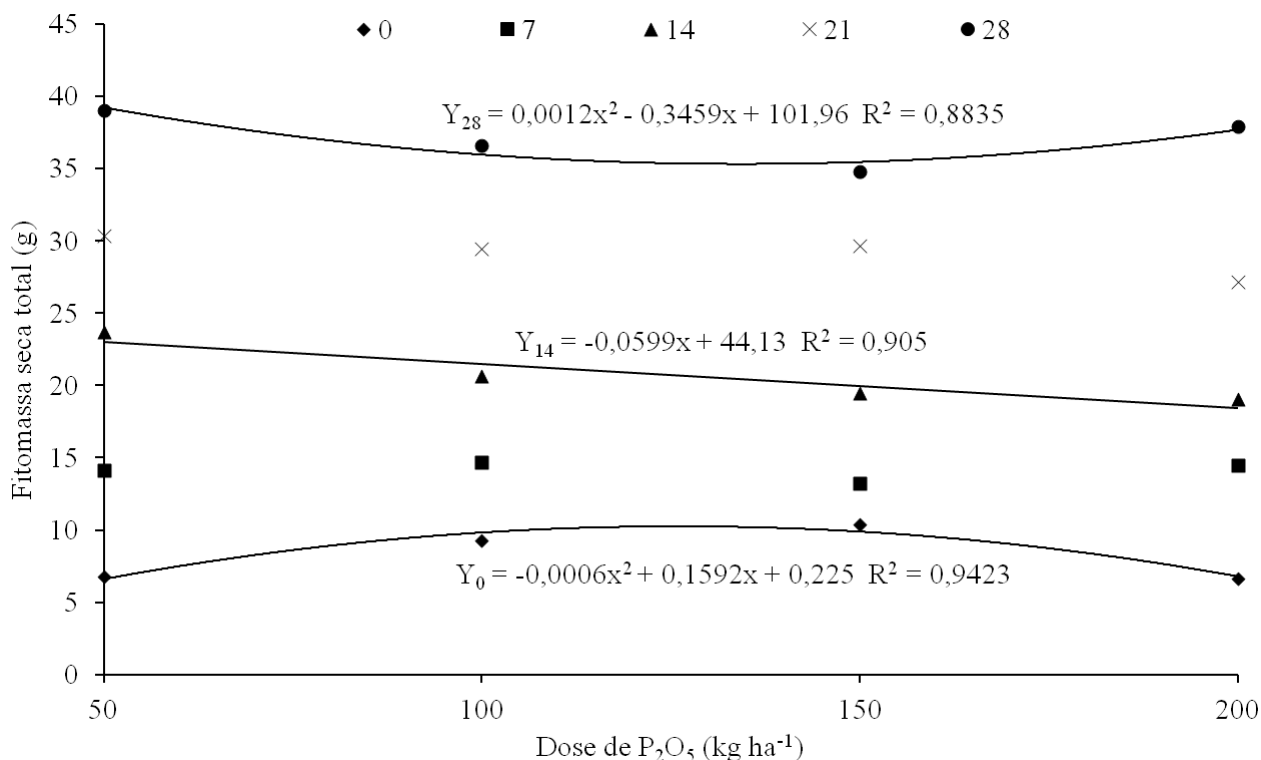
As doses de  $P_2O_5$  aplicadas para ambas as fontes não diferiram estatisticamente quanto ao crescimento da planta, sendo este influenciado apenas pelo tempo, demonstrando que a planta, independente da fonte fosfatada aplicada, obteve a mesma taxa de crescimento no período analisado (Figura 2).

O teor de P no solo da área em que foi conduzida a lavoura apresentava-se adequado, de acordo com a análise de solo realizada (Tabela 1). Este

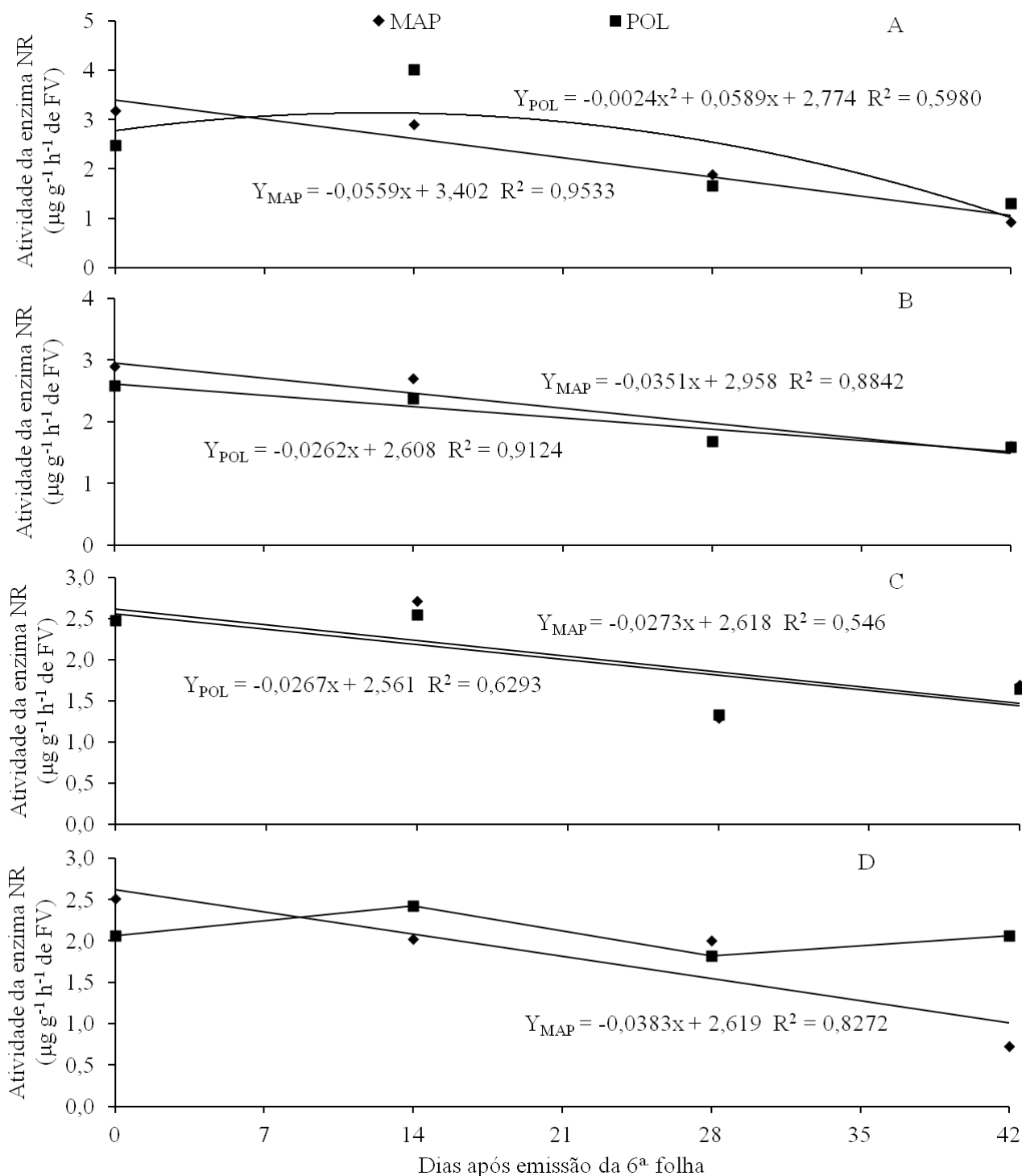
fato pode ter interferido na eficiência e na dose do fertilizante aplicado, já que a lavoura respondeu satisfatoriamente, mesmo nas áreas onde foi aplicada a menor dose do fertilizante fosfatado.

Bastos et al. (2010) relataram que, em ensaio avaliando a capacidade máxima de absorção de P, não observaram diferença nas massas secas de parte aérea de plantas de milho quando variadas as doses de P aplicado, sendo estas diferentes apenas da parcela sem aplicação do nutriente.

A disponibilidade de N interfere diretamente na atividade da enzima, em que quanto maior o tempo da aplicação do nutriente, menor a atividade dela (Figura 3). A dose aplicada e o tipo de fertilizante não diferiram entre si no resultado da análise, sendo observada apenas a interação do fertilizante no tempo.



**FIGURA 2.** Fitomassa seca total de plantas de milho aos 7, 14, 21 e 28 dias após a emissão da quarta folha, em função da dose de  $P_2O_5$  aplicada.



**FIGURA 3.** Modelos ajustados para atividade da enzima redutase do nitrato ( $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$  de FV) em plantas de milho na emissão da 6ª folha e aos 14, 28 e 42 dias após, em função de doses de 50(A), 100(B), 150(C) e 200(D)  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  utilizando fosfato monoamônico convencional (MAP) e polimerizado (POL).



Pelo menos três efeitos do suprimento limitado de P são identificados na assimilação de N: a diminuição na absorção de nitrato; a translocação do  $\text{NO}_3^-$  absorvido para a parte aérea; e a acumulação de aminoácidos tanto nas folhas como nas raízes, resultante ou da inibição da síntese ou da degradação de proteínas (Araújo & Machado, 2006). De acordo com estes mesmos autores, a absorção de nitrato é um processo ativo, dependente de energia metabólica para o transporte contra um gradiente de potencial eletroquímico, necessitando de substâncias redutoras e de ATP. A limitação no fornecimento de P pode resultar numa menor absorção de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ , sendo que em milho há uma menor absorção de  $\text{NO}_3^-$ . Diferentes são os fatores que interferem na atividade da enzima, como a concentração exógena de nitrato, o pH, a temperatura de incubação e o ritmo diurno de atividade da RN, já observado em várias plantas (Lee & Titus, 1992). Desta forma, o fornecimento gradual e constante de uma fonte nitrogenada pode favorecer a atividade desta enzima, o que pode ser proporcionado pelo fertilizante MAP de liberação lenta.

A limitação de P pode induzir a limitação da síntese de proteína na parte aérea, aumentando a proporção de N não assimilado na parte aérea. A omissão de P na solução nutritiva acarreta redução na atividade da GS/GOGAT em folhas e raízes de milho, indicando que o estresse de P teria efeito indireto na assimilação de N ao inibir a redução do nitrato e limitar a disponibilidade de amônio para a síntese de aminoácidos. Como a redutase do nitrato é induzida pelo substrato, a diminuição na absorção de N causada pela deficiência de P reduziria a atividade desta enzima, causando acúmulo de  $\text{NO}_3^-$  (Araújo & Machado, 2006).

Martins et al. (2009), ao comparar a atividade da enzima redutase do nitrato em variantes

pigmentares de *Hypnea musciformis* cultivadas em meio com apenas nitrato e com nitrato e fosfato, observaram aumento significativo na atividade enzimática com a presença de fosfato no meio.

Foi observada maior atividade relativa da enzima nos tratamentos onde foi utilizado o fertilizante de liberação lenta, principalmente aos 42 dias após a emissão da 6ª folha (Figuras 3D e 4D). Resultados que podem indicar que o não fornecimento de P e N ao longo do tempo limitou a atividade desta enzima (Figura 4).

De acordo com Araújo & Machado (2006), a deficiência de P reduziu os teores de N total e de  $\text{NO}_3^-$  nos colmos e nas raízes em híbridos de milho, sem que tenha ocorrido acúmulo de  $\text{NO}_3^-$  na planta, indicando que o estresse de P diminuiu a absorção de N mais do que a assimilação de  $\text{NO}_3^-$ .

Contudo, aumento na atividade da redutase do nitrato não necessariamente indica aumento de produtividade (Fakorede & Mock, 1978, Purcino et al., 1994). A análise da atividade desta enzima realizada em loco condiz com o ambiente e a atividade metabólica no momento analisado, sendo a produtividade influenciada por diferentes fatores, inclusive aqueles posteriores à época da análise.

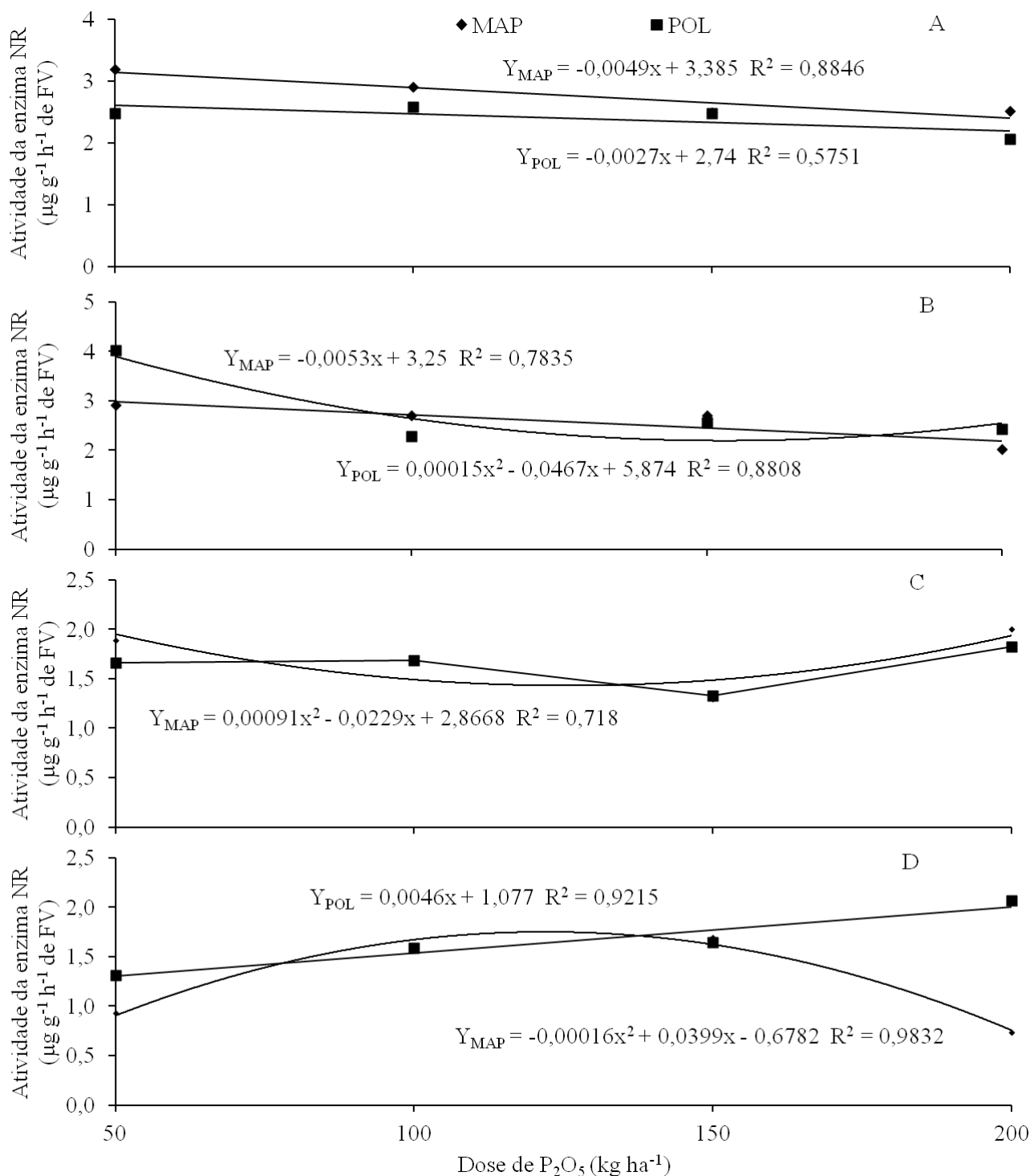
## Conclusões

O crescimento da planta não foi influenciado pela fonte de  $\text{P}_2\text{O}_5$  aplicada, somente pela dose aplicada.

A atividade da enzima redutase do nitrato é maior quanto mais próxima da aplicação de N em cobertura.

O uso de MAP polimerizado permite um fornecimento equilibrado de P ao longo do tempo.





**FIGURA 4.** Modelos ajustados para atividade da enzima redutase do nitrato (µg g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> de FV) em plantas de milho na emissão da 6a folha (A) e aos 14(B), 28(C) e 42(D) dias após, em função de doses de 50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> utilizando fosfato monoamônico convencional (MAP) e polimerizado (POL).

## Referências

- ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 59-78, 2006.
- BASTOS, A. L.; COSTA, J. V. P.; SILVA, I. F.; RAPOSO, R. W.; OLIVEIRA, F. A.; ALBUQUERQUE, A. W. Resposta do milho a doses de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 5, p. 485-491, 2010.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas, noções básicas**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.
- BOOTE, K. J.; PICKERING, N. B.; BAKER, J. T.; ALLAN JR, L. H. Modeling leaf and canopy photosynthesis of rice in response to carbon dioxide and temperature. **International Rice Research Notes**, Manila, v.19, n. 3, p. 47-48, 1994.
- CATALDO, D. A.; HAROON, M.; SCHRADEV, L. E.; YOUNGS, V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Athens, v. 6, p. 71-80, 1975.
- CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; PITTA, G. V. E.; ALVES, V. M. C.; HERNANI, L. C. Fertilidade de solos: nutrição e adubação do milho. In: CRUZ, J. C. (Ed.). **Cultivo do milho**. 5. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de produção, 1).
- FAGAN, E. B. **A cultura da soja: modelo de crescimento e aplicação de estrobilurina**. 2007. 84 f. Dissertação (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.
- LEE, H. J.; TITUS, J. S. Factors affecting the in vivo nitrate reductase assay for MM. 106 apple trees. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Athens, v. 23, p. 981-991, 1992.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.
- MARTINS A. P.; CHOW, F.; YOKOYA, N. Ensaio in vitro da enzima nitrato redutase e efeito da disponibilidade de nitrato e fósforo em variantes pigmentares de *Hypnea musciformis* (Wulfen) J. V. Lamour. (Gigartinales, Rhodophyta). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 635-645, 2009.
- NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; COUTO, C. Níveis críticos de fósforo no solo para o eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 6, n. 1, p. 29-37, 1982.
- NYBORG, M.; SOLBERG, E. D.; MALHI, S.

- S.; IZAURRALDE, R. C. Fertilizer N, crop residue, and tillage alter soil C and N content in a decade. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B. A. (Ed.). **Soil management and greenhouse effect**. Boca Raton, FL.: CRC, 1995. p. 93-100. (Advances in Soil Science).
- OVERMAN, A. R.; SCHOLTZ, R. V. Model analysis for growth response of soybean. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 34, n. 17, p. 2619-2632, 2003.
- PROCHNOW, L. I.; ALCARDE J. C.; CHIEN, S. H. Eficiência agrônômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA. 1., 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 606-609.
- PURCINO, A. A. C.; MAGNAVACA, R.; MACHADO, A. T.; MARRIEL, I. E. Atividade da redutase do nitrato em genótipos antigos e modernos de milho, cultivados sob dois níveis de nitrogênio. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 6, n. 1, p. 41-46, 1994.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343 p.
- ROMER, W.; SCHILLING, G. Phosphorus requirements of the wheat plant in various stages of its life cycle. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 91, p. 221-229, 1986.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2006. 306 p.
- STAUFFER, M. D.; SULEWSKI, G. Fósforo: nutriente essencial para a vida. **Informações Agrônômicas**, Piracicaba, n. 102, p. 1-2, 2003.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2006. 719 p.
- TURCO, J. E. P.; PINOTTI JÚNIOR, M.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D. Adequação de um modelo de crescimento da cultura de soja para terrenos com diferentes exposições e declividade. **Engenharia Agrícola**, Sorocaba, v. 17, n. 4, p. 25-34, 1998.