

Atividade enzimática do solo em cultivo de milho adubado com fertilizantes organominerais enriquecidos com microrganismos e granulados sob diferentes temperaturas de secagem

Jean Marcel Rodrigues Pinho⁽¹⁾; Flavia Cristina dos Santos⁽²⁾; Bianca Braz Mattos⁽³⁾; Eliane Aparecida Gomes⁽⁴⁾; Ivanildo Evódio Marriel⁽⁵⁾; Christiane Abreu de Oliveira⁽⁶⁾.

⁽¹⁾ Analista; Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo; Sete Lagoas, Minas Gerais; jean.pinho@embrapa.br; ⁽²⁾, ⁽⁴⁾, ⁽⁶⁾ Pesquisadora; Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo; ⁽³⁾ Analista; Centro Nacional de Pesquisa de Solos; ⁽⁵⁾ Pesquisador; Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo.

RESUMO: Buscando-se maior produtividade agrícola e práticas de manejo culturais fundamentadas na sustentabilidade, alternativas de fertilizantes organominerais para substituir e ou reduzir o uso de fertilizantes fosfatados de natureza mineral (química) tem sido indicadas. No entanto, pouco se conhece sobre o efeito na qualidade biológica do solo, de adubos provenientes de fontes químicas e orgânicas. Este trabalho avaliou o efeito da adubação na cultura de milho com fertilizantes organominerais associados a microrganismos solubilizadores de fosfatos (MSP) sobre a atividade enzimática no solo, em relação a ciclagem de fósforo (P) e nitrogênio (N). O experimento foi conduzido em casa de vegetação em solo de cerrado nativo e solo de cerrado corrigido para fertilidade, com três cultivos sucessivos. Foram testadas 19 formulações de fertilizantes à base de cama de frango, fosfato de rocha e microrganismos. Os fertilizantes foram granulados e secos em 30°C e 80°C. Em geral os resultados indicaram que as estirpes de MSP presentes nos fertilizantes promoveram alterações na mineralização de P, com aumento da atividade de fosfatases ácida e alcalina, como também na ciclagem de N pelas enzimas urease e arginase. Em geral o aumento da temperatura de secagem dos granulados não alterou a biologia do solo na ciclagem de P e N pelas enzimas. Com exceção da fosfatase alcalina, o tipo de solo exerceu efeito sobre os outros indicadores enzimáticos, com maiores valores de atividade sendo encontrados no solo nativo.

Termos de indexação: ciclagem N e P, qualidade biológica do solo, fósforo.

INTRODUÇÃO

Os solos da região do cerrado, por causa do alto grau de intemperismo, caracterizam-se pelo baixo teor de fósforo (P) total e muito baixo teor de P disponível para as plantas, como consequência da precipitação deste íon na forma de complexos insolúveis como fosfato de cálcio, óxidos de ferro e

alumínio (Goedert et al., 1986). Este é o principal motivo da baixa eficiência dos fertilizantes químicos fosfatados com elevada solubilidade, ao serem adicionados ao solo. Para contornar este problema são aplicadas quantidades elevadas de fertilizantes, prática que onera os custos de produção e oferece risco de impactos negativos sobre o ambiente, tornando um entrave na criação de sistemas agrícolas sustentáveis.

A produção de fertilizantes orgânicos a base de resíduos orgânicos provenientes da atividade agropecuária, suplementados com rocha natural fosfatada e com microrganismos solubilizadores de fosfato (MSP) surge como alternativa promissora, do ponto de vista econômico e de sustentabilidade, para substituir parcial ou totalmente os insumos químicos fosfatados. Fontes de fosfato natural são mais baratas além de liberarem mais lentamente P disponível para as plantas em relação aos fertilizantes químicos fosfatados, gerando um efeito residual no solo deste elemento. A associação com MSP podem aumentar as taxas de P disponível para o crescimento das plantas, por meio da ação de enzimas fosfatases, seja pela solubilização de P inorgânico ou mineralização de P orgânico (Berton, 1997). Portanto, tem-se nestes casos um somatório da eficiência dos componentes do fertilizante a fim de suprir de maneira adequada as exigências nutricionais de uma cultura, possibilitando aumento da produtividade agrônômica, redução dos custos de produção e do impacto ambiental da atividade agropecuária, bem como destinação limpa para os resíduos orgânicos e rejeitos agrícolas gerados.

Neste trabalho foi avaliado o efeito da adubação com diferentes formulações de fertilizantes organominerais na qualidade biológica do solo cultivado com milho, avaliando-se a atividade das enzimas envolvidas na ciclagem de P e N. Foi investigada a influência das temperaturas de secagem dos granulados, dos solos utilizados no cultivo do milho e dos microrganismos (MSP) associados aos fertilizantes.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Embrapa Milho e Sorgo, com milho variedade CMS01. Os microrganismos (MSP) utilizados são pertencentes à coleção de microrganismos da Embrapa Milho e Sorgo. Os fertilizantes granulados foram produzidos na Embrapa Solos.

Plantio, tratamentos e amostragens

O plantio do milho ocorreu em vasos contendo 4,0 kg de Latossolo proveniente de cerrado nativo ou de áreas agrícolas com fertilidade construída (solo de cerrado corrigido), dispostos em delineamento inteiramente casualizados com 19 tratamentos e quatro repetições. Nos tratamentos foram utilizadas formulações de fertilizantes granulados, constituídos de cama de frango (42,5%), fosfato de rocha natural (Bayovar, 50%), acrescidos ou não com suspensão de microrganismos imobilizados em carvão mineral (1×10^8 UFC/g 2%). Estes granulados foram submetidos a duas temperaturas de secagem (30°C e 80°C). Como controle, foram utilizados dois tratamentos: sem fósforo e com adubação de superfosfato triplo (ST), conforme descrito na **tabela 1**. A dose de P aplicada foi de 350 kg ha^{-1} , na forma granulada. As amostras de solo foram coletadas manualmente, 45 dias após a semeadura do milho, que foi cultivado em três cultivos sucessivos para avaliação do efeito residual da adubação fosfatada.

Determinação da atividade enzimática

Amostras de solo foram coletadas ao final de cada cultivo do milho para determinação da atividade das enzimas fosfatases (ácida e alcalina), urease e arginase, de acordo com métodos colorimétricos estabelecidos por Alef et al. (1995), Kandeler & Gerber (1988) e Alef & Kleiner (1986) respectivamente.

Análise estatística

Os dados das atividades enzimáticas foram submetidos à análise de variância e, quando ocorreram diferenças significativas ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade utilizando-se o programa Sisvar 5.3 (Ferreira, 2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As enzimas do solo são mediadoras de reações bioquímicas relacionadas ao catabolismo orgânico (ciclagem de C) e à ciclagem de nutrientes, especialmente N, P e S (Araujo & Monteiro, 2007). Como indicador da qualidade biológica do solo, a atividade enzimática está relacionada com a atividade e biomassa microbiana (Dick, 1997), além

de ser sensível às mudanças no uso e manejo do solo (Peixoto, 2010).

Neste trabalho o milho foi cultivado em solos nativo e corrigido para fertilidade. O comportamento da atividade enzimática nestes solos foi analisado (**Figura 1**), considerando-se a média geral dos tratamentos de adubação. A média geral da atividade de fosfatase ácida foi maior no solo nativo em relação ao solo corrigido (4.661 e $3.996 \mu\text{g } p\text{-nitrofenol h}^{-1} \text{ g}^{-1}$ solo, respectivamente), sugerindo maior ciclagem do nutriente P neste solo. Estes valores de atividade também sugerem maior conteúdo orgânico no solo nativo, segundo critérios estabelecidos por Mendes et al., 2013, para indicadores biológicos do solo (adequado para valores $> 1150 \text{ mg } p\text{-nitrofenol Kg}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$). A matéria orgânica do solo está diretamente relacionada com a biomassa microbiana, outro indicador da qualidade biológica do solo (Araujo & Monteiro, 2007). Já para fosfatase alcalina não houve influência do solo na atividade enzimática (**Figura 1A**). Considerando as enzimas urease e arginase, a ciclagem do N também foi favorecida no solo nativo (**Figura 1B**). A atividade enzimática no solo também foi analisada frente às temperaturas utilizadas na secagem dos granulados. Os resultados sugerem que o aumento da temperatura de 30°C para 80°C não alterou a biologia dos solos para as enzimas envolvidas na ciclagem de P e N, na média geral dos tratamentos (**Figura 2**).

As enzimas do solo podem ter origem animal, vegetal, mas são predominantemente de origem microbiana. Bactérias, fungos e actinomicetos estão envolvidos nos processos de solubilização e mineralização de fósforo, desempenhando papel fundamental no ciclo biogeoquímico deste elemento. Geralmente o número destes microrganismos não é alto o suficiente para competir com outros microrganismos no solo, e, por consequência o P não é suficiente para promover crescimento substancial das plantas (Mendes & Junior, 2003). Portanto, a inoculação de microrganismos MSP em fertilizantes a base de rochas naturais de P de lenta liberação, são alternativas promissoras para aumentar a produtividade do solo e as taxas de P disponível para as plantas. Em geral, os resultados deste trabalho indicam que as estirpes de bactérias adicionadas aos fertilizantes organominerais contribuíram para aumentar a atividade de ciclagem de P disponível no solo (**Tabela 2**). A atividade de fosfatase ácida aumentou no solo adubado com os fertilizantes organominerais, especialmente no primeiro cultivo. No caso da fosfatase alcalina, esse efeito foi observado ao longo dos três cultivos. A ciclagem de N pelas enzimas urease e arginase também aumentou com a inoculação dos microrganismos ao fertilizante, mas em menor extensão do cultivo, e particularmente pelas estirpes B2, B4 e B5 (**Tabela 3**). As estirpes de MSP foram

menos eficientes na indução da atividade de urease, exceto a estipe B2, que, no terceiro cultivo, apresentou maior atividade em relação às formulações sem inoculantes, a 30°C. Os resultados sugerem certa dependência da atividade enzimática microbiana em relação à temperatura de secagem dos granulados, para as atividades de fosfatase ácida, urease e arginase, que não foram maiores em relação às formulações sem microrganismos, na temperatura de 80°C.

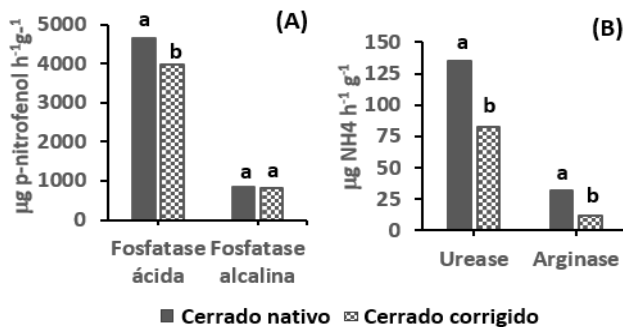


Figura 1 – Media total das atividades de fosfatases ácida e alcalina (A), urease e arginase (B) em função do tipo de solo, no período de três cultivos. Médias seguidas da mesma letra, para a mesma enzima, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

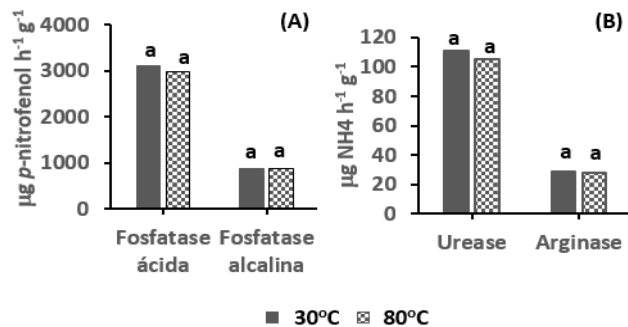


Figura 2 – Media total das atividades de fosfatases ácida e alcalina (A), urease e arginase (B) em função da temperatura de secagem dos fertilizantes granulados, no período de três cultivos. Médias seguidas da mesma letra, para a mesma enzima, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

CONCLUSÕES

Fertilizantes organominerais são capazes de aumentar a ciclagem de P e N no solo. Na tentativa de aumentar a eficiência ao longo dos cultivos, sugere-se a reinoculação dos microrganismos durante a rebrota.

AGRADECIMENTOS

À Embrapa Milho e Sorgo, ao CNPq e à Fapemig pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

GOEDERT, W. J.; SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. F. In: GOEDERT, W. J. (Ed.). **Solos dos cerrados tecnológicos e estratégias de manejo**. Planaltina: Embrapa-CPAC; São Paulo: Nobel, 1986. P. 129-163.

BERTON, R. S. Adubação orgânica. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. p. 30-35.

ALEF, K.; KLEINER, D. Arginine ammonification, a simple method to estimate microbial activity potential in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.18, p.233-235, 1986.

ALEF, K.; NANNIPIERI, P.; TRAZAR-CEPEDA, C. Phosphatase activity. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.). **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995, p.335-344.

KANDELER, E. & GERBER, H. Short term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. **Biol. Fertil. Soils**, v.6, p.68-72, 1988.

FERREIRA, D. F. SISVAR: sistema de análise de variância: versão 5.3. Lavras: UFLA, 2010.

ARAUJO, A. S. F.; Monteiro, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

Dick, R. P. Soil enzymes activities indicator of soil health. In: Pankhurst, C.; Doube, B. M.; Gupta, V. V. S. R. (Org) **Biological indicators of soil health**. New York: CAB, 1997. P. 121-155.

PEIXOTO, R. S.; CHAER, G. M.; FRANCO, N.; REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C.; ROSADO, A. S. A decade of land use contributes to changes in the chemistry, biochemistry and bacterial community structures of soils in the Cerrado. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 98, p. 403-413, 2010.

MENDES, I. C.; JUNIOR, F. B. R. **Microrganismos e disponibilidade de fósforo (P) nos solos: uma análise crítica**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 26p. (Documentos/ Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111: 85).

MENDES, I. C.; GOEDERT, W. J.; JUNIOR, F.B.R.; CHAER, G.M.; SOUZA, D. M. G.; LOPES, A. A. C. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 77, p. 461-472, 2013.

Tabela 1: Composição dos fertilizantes granulados utilizados no cultivo de milho CMS 01 em casa de vegetação.

Tratamentos ¹	
Cerrado nativo	Cerrado corrigido
CF+R+30°C (1)	CF+R+30°C (13)
CF+R+80°C (2)	CF+R+B3+30°C (14)
CF+R+B3+30°C (3)	CF+R+B2+30°C (15)
CF+R+B3+80°C (4)	CF+R+B5+30°C (16)
CF+R+B2+30°C (5)	CF+R+B7+30°C (17)
CF+R+B2+80°C (6)	Sem adubação (18)
CF+R+B5+30°C (7)	ST (19)
CF+R+B5+80°C (8)	
CF+R+B4+30°C (9)	
CF+R+B4+80°C (10)	
Sem adubação (11)	
ST (12)	

¹ CF-Cama de frango. R- Fosfato de rocha natural (Bayovar).

B2 – B5 - microrganismos inoculantes. 30°C, 80°C- temperatura de secagem dos granulados. ST- super fosfato triplo

Tabela 2 – Efeito dos inoculantes (microrganismos) na atividade de fosfatase¹ em diferentes temperaturas de secagem (°C) dos fertilizantes organominerais granulados.

Inoculantes	Fosfatase ácida									
	30°C					80°C				
	B0	B2	B3	B4	B5	B0	B2	B3	B4	B5
Primeiro cultivo	2628 ^a	3257^b	3079^b	3055^b	3396^b	3260 ^a	3286 ^a	3398 ^a	2353 ^b	3505 ^a
Segundo cultivo	2459 ^a	2593 ^a	2555 ^a	2620 ^a	2713 ^a	2244 ^a	2459 ^a	2355 ^a	2298 ^a	2605 ^a
Terceiro cultivo	3970 ^a	3247 ^b	3796 ^a	4225 ^a	3199 ^b	3175 ^a	3260 ^a	3809 ^a	3350 ^a	3565 ^a
Inoculantes	Fosfatase alcalina									
	30°C					80°C				
	B0	B2	B3	B4	B5	B0	B2	B3	B4	B5
Primeiro cultivo	559 ^a	691^b	902^c	709^b	941^c	721 ^a	788^b	780^b	780^b	722 ^a
Segundo cultivo	580 ^a	950^b	742 ^a	917^b	758 ^a	873 ^a	801 ^a	1324^b	914 ^a	867 ^a
Terceiro cultivo	919 ^a	1163^b	1139^b	1257^b	1005 ^a	997 ^a	873 ^a	856 ^a	1002 ^a	887 ^a

¹ Média das atividades das fosfatases ácida e alcalina expressas em μg de *p*-nitrofenol $\text{h}^{-1}\text{g}^{-1}$ solo. No mesmo cultivo e na mesma temperatura, médias de três repetições seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Tabela 3 – Efeito dos inoculantes (microrganismos) nas atividades de urease e arginase¹ em diferentes temperaturas de secagem (°C) dos fertilizantes organominerais granulados.

Inoculantes	Urease									
	30°C					80°C				
	B0	B2	B3	B4	B5	B0	B2	B3	B4	B5
Primeiro cultivo	145 ^a	160 ^a	124 ^a	178 ^a	197 ^a	161 ^a	144 ^a	140 ^a	137 ^a	149 ^a
Segundo cultivo	81 ^a	76 ^a	81 ^a	95 ^a	86 ^a	77 ^a	67 ^a	89 ^a	75 ^a	72 ^a
Terceiro cultivo	70 ^a	118^b	78 ^a	91 ^a	76 ^a	110 ^a	84 ^a	95 ^a	85 ^a	84 ^a
Inoculantes	Arginase									
	30°C					80°C				
	B0	B2	B3	B4	B5	B0	B2	B3	B4	B5
Primeiro cultivo	27 ^a	36^b	25^a	39^b	47^b	31 ^a	27 ^a	21 ^a	26 ^a	35 ^a
Segundo cultivo	20 ^a	18 ^a	19 ^a	25^b	29^b	20 ^a	19 ^a	16 ^b	21 ^a	26^c
Terceiro cultivo	22 ^a	39 ^a	30 ^a	32 ^a	29 ^a	35 ^a	36 ^a	41 ^a	33 ^a	34 ^a

¹ Média das atividades das fosfatases ácida e alcalina expressas em μg de *p*-nitrofenol $\text{h}^{-1}\text{g}^{-1}$ solo. No mesmo cultivo e na mesma temperatura, médias de três repetições seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).