

Avaliação preliminar de um processo de compostagem visando solubilização e agregação de valor a agrominerais como fontes de fósforo e potássio



Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 33

Avaliação preliminar de um processo de compostagem visando solubilização e agregação de valor a agrominerais como fontes de fósforo e potássio

Álvaro Vilela de Resende
Clério Hickmann
Raquel Oliveira Batista
Ivanildo Evódio Marriel
Silvino Guimarães Moreira
Roney Mendes Gott
Otávio Prates da Conceição

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Milho e Sorgo

Rod. MG 424 Km 45
Caixa Postal 151
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: (31) 3027-1100
Fax: (31) 3027-1188
Home page: www.cnpms.embrapa.br
E-mail: sac@cnpms.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Antônio Carlos de Oliveira
Secretário-Executivo: Elena Charlotte Landau
Membros: Flávio Dessaune Tardin, Eliane Aparecida Gomes, Paulo Afonso Viana, João Herbert Moreira Viana, Guilherme Ferreira Viana e Rosângela Lacerda de Castro

Revisão de texto: Antonio Claudio da Silva Barros
Normalização bibliográfica: Rosângela Lacerda de Castro
Tratamento de ilustrações: Tânia Mara Assunção Barbosa
Editoração eletrônica: Tânia Mara Assunção Barbosa
Foto(s) da capa: Álvaro Vilela Resende

1ª edição

1ª impressão (2011): on line

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Milho e Sorgo**

Avaliação preliminar de um processo de compostagem visando solubilização e agregação de valor a agrominerais como fontes de fósforo e potássio / Álvaro Vilela de Resende ... [et al.]. -- Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 25 p. : il. -- (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1679-0154; 33).

1. Fertilizante. 2. Rocha. 3. Resíduo orgânico. I. Resende, Álvaro Vilela de. II. Série.

CDD 631.8 (21. ed.)

© Embrapa 2011

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução	7
Material e Métodos	8
Resultados e Discussão	14
Conclusões	23
Agradecimentos	23
Referências	23

Avaliação preliminar de um processo de compostagem visando solubilização e agregação de valor a agrominerais como fontes de fósforo e potássio

Álvaro Vilela de Resende¹

Clério Hickmann²

Raquel Oliveira Batista²

Ivanildo Evódio Marriel¹

Silvino Guimarães Moreira³

Roney Mendes Gott⁴

Otávio Prates da Conceição⁵

Resumo

O uso de determinados tipos de rochas como fontes de nutrientes para a agricultura vem sendo estudado como alternativa para a complementação ou a substituição parcial dos fertilizantes convencionais. Neste trabalho, buscou-se uma avaliação preliminar de um processo de compostagem e inoculação com microrganismos solubilizadores visando aumentar o potencial de uso de rochas fosfáticas e potássicas na adubação. Os produtos da compostagem foram estudados quanto à capacidade de liberação de fósforo (P) e potássio (K) em dois cultivos sucessivos de milho em um experimento de vasos sob casa de vegetação. Os produtos compostados contendo as rochas promoveram bom desenvolvimento e absorção de nutrientes pelas plantas. Contudo, os ganhos de solubilidade pela compostagem e inoculação de microrganismos selecionados não foram claramente evidenciados, sobretudo porque o efeito fertilizante das rochas foi sobrepujado pela fração orgânica dos compostos.

Palavras-chave: Agromineral, resíduo orgânico, esterco, fertilizantes regionais, rochagem.

¹Eng.-Agr., DSc. Pesquisadores da Embrapa Milho e Sorgo, Cx. Postal 151. 35701-970 Sete Lagoas, MG, alvaro@cnpmc.embrapa.br

²MSc. Bolsista DTI-2/CNPq

³DSc. Professor, Universidade Federal de São João Del Rei - UFSJ/Sete Lagoas

⁴Eng.-Agr., Bolsista BAT-2/FAPEMIG

⁵Graduando em Agronomia da UFSJ, bolsista PIBIT-CNPq.

Preliminary evaluation of a composting process to increase the solubilization of rocks as sources of phosphorus and potassium for agriculture

Abstract

The use of certain types of rocks as sources of nutrients for agriculture has been studied as an alternative to partial replacement of conventional fertilizers. In this study, we sought a preliminary assessment of a composting process and inoculation with solubilizing microorganisms aiming to increase the potential use of rocks containing phosphorus (P) and potassium (K) for fertilization. The release of P and K by the products of the composting was studied with two successive crops of pearl millet in a pot experiment under greenhouse conditions. The products with rock powders promoted increased growth and nutrient uptake by plants. However, the rock solubilization by the composting process and inoculation with selected microorganisms was not clearly observed, mainly because the fertilizer effect of the rocks was overshadowed by the organic fraction.

Index terms: Agromineral, organic waste, manure, regional fertilizers, remineralization.

Introdução

Mais de 70% do fertilizante NPK consumido no Brasil nos últimos anos foi importado (SAAB; PAULA, 2008) e nas próximas décadas a agricultura brasileira continuará dependendo de importações maciças num mercado mundial de demanda crescente por esses insumos (LIMA; SAMPAIO, 2010). Nesse cenário, a busca por fontes alternativas aos fertilizantes convencionais tornou-se uma necessidade, reforçada pelo elevado custo que a adubação representa na produção das principais culturas agrícolas.

A oportunidade de inclusão de fontes locais de nutrientes nos programas de adubação das lavouras deve ser considerada como estratégia preferencial em regiões que dispõem de agrominerais (rochas portadoras de nutrientes) e resíduos orgânicos apropriados para uso em complementação ou substituição parcial dos fertilizantes convencionais. Uma vez confirmados a sua eficiência agrônômica e o raio de viabilidade econômica do seu processamento e transporte, as fontes locais poderão representar uma opção atrativa aos agricultores, sobretudo se resultarem em redução de gastos com a adubação.

Enormes quantidades de resíduos orgânicos, tais como dejetos animais e restos vegetais, são gerados constantemente em diversas atividades agropecuárias e agroindustriais. Quando são simplesmente descartados ou depositados junto às unidades produtoras, esses resíduos acabam se tornando potenciais contaminantes do ambiente, o que vem sendo coibido pela legislação de forma cada vez mais rigorosa. Desse modo, a sua aplicação ao solo como fontes de matéria orgânica e nutrientes para as lavouras constitui a alternativa de destinação mais nobre e coerente do ponto de vista técnico.

Nos últimos anos, vem se ampliando o conhecimento acerca de ocorrências minerais e de resíduos de mineração que, dada sua composição química, são potenciais fontes de nutrientes às plantas (LUZ et al., 2010; MARTINS et al., 2010). Em geral, trata-se de rochas que não são tradicionalmente exploradas para a produção de fertilizantes, em função dos teores mais baixos de nutrientes contidos ou pela sua baixa solubilidade. No entanto, a pesquisa tem demonstrado que vários desses materiais podem ser incluídos no grupo dos chamados agrominerais, fontes de nutrientes que poderão ter sua eficiência fertilizante otimizada mediante o desenvolvimento de novas rotas tecnológicas de processamento e de práticas de manejo agrônomo mais adequadas.

A adição de rochas moídas em processos de compostagem é uma alternativa para favorecer a sua solubilização, visto que há contato direto das partículas com um ambiente de intensa atividade microbiana. Além disso, ocorrem reações com substâncias orgânicas geradas durante a compostagem, tais como ácidos orgânicos, que podem atuar como agentes solubilizadores do componente mineral. Entretanto, as pesquisas visando definir processos de compostagem com inclusão de agrominerais são incipientes no Brasil. Da mesma forma, o emprego de biossolubilizadores microbianos específicos (OLIVEIRA et al., 2009), por meio da inoculação com estirpes de microrganismos selecionados para tal, é uma possibilidade que precisa ser validada.

No presente estudo buscou-se avaliar um processo de compostagem e inoculação com microrganismos solubilizadores, visando aumentar o potencial de uso de rochas portadoras de fósforo (P) e potássio (K) como fertilizantes.

Material e Métodos

O processo de compostagem com adição de agrominerais foi

efetuado em pilhas, num galpão coberto da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas – MG. As matérias-primas utilizadas na composição das pilhas foram: bagaço de cana-de-açúcar oriundo de usina de etanol e esterco bovino de curral na proporção de 1:1 (v/v), vinhaça (10 L m^{-3} de composto) e enxofre elementar (1 kg m^{-3}), combinados ou não com as rochas Fosforito (fonte de P) e Verdete (fonte de K) nas proporções de 50 ou 100 kg m^{-3} (tratamentos P50, P100, K50 e K100). A rocha Fosforito provém da região de Campos Belos (GO) e apresenta 20% de P_2O_5 total. O Verdete é uma rocha rica em glauconita, originária da região de Cedro do Abaeté (MG), e possui 9,8% de K_2O total.

Algumas das combinações usadas no processo de compostagem incluíram, também, a inoculação com microrganismos com potencial solubilizador de fósforo e potássio, pertencentes à coleção de microrganismos multifuncionais da Embrapa Milho e Sorgo. Nesses tratamentos, os microrganismos foram adicionados a partir de 250 mL de inóculo em suspensão, com concentração acima de 10^8 esporos por mL, diluídos em água num volume de 10 litros e distribuído sobre a pilha de compostagem.

As pilhas foram formadas com volume aproximado de 1 m^3 (Figura 1). Foi feito monitoramento da temperatura (Figura 2) e da umidade, promovendo-se revolvimento e molhamento periódico das pilhas com água, como preconizado na prática de compostagem.

A temperatura nas pilhas de compostagem aumentou inicialmente, aproximando-se dos $60 \text{ }^\circ\text{C}$, como é desejável, porém, caiu rapidamente (Figura 2). Esse comportamento pôde ser associado à baixa relação C/N (menor que 12:1) obtida na análise das misturas utilizadas. Após 40 dias, foram coletadas amostras dos produtos compostados para avaliar o seu efeito como fontes de P e K num experimento em casa de vegetação (Tabela 1). Nessa ocasião, foi misturado mais bagaço de cana às pilhas de compostagem para se elevar a relação C/N, o que condicionou novo pico de elevação

da temperatura (Figura 2), com diminuição gradual até os 110 dias, quando deu-se por encerrado o processo. Amostras dos produtos finais foram submetidas a análises químicas com extratores específicos (SILVA, 1999), visando estimar seu valor fertilizante.

Fotos: Álvaro Vilela Resende



Figura 1. Vista geral das pilhas no início do processo de compostagem.

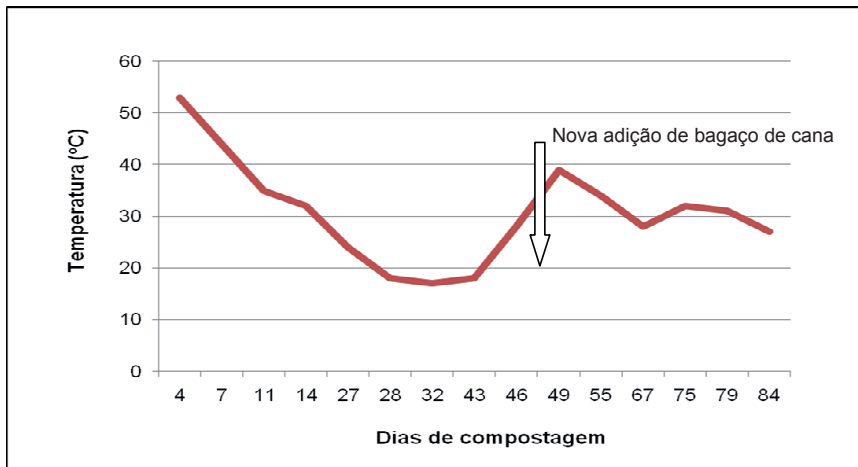


Figura 2. Temperatura média das pilhas ao longo do período de compostagem.

Tabela 1. Composição dos tratamentos testados no experimento em vasos com cultivos de milho.

Tratamentos ⁽¹⁾	Corretivo de acidez ⁽²⁾ (CaCO ₃ +MgO)	Fonte solúvel de N ⁽³⁾ (NH ₄ NO ₃)	Fonte solúvel de P ⁽⁴⁾ (NH ₄ H ₂ PO ₄)	Fonte solúvel de K ⁽⁵⁾ (KCl)	Micronutrientes + Enxofre ⁽⁶⁾
Controle	-	-	-	-	-
Completo	+	-	+	+	+
Completo – P	+	+	-	+	+
Completo – K	+	-	+	-	+
Composto puro	+	+	-	-	+
Composto P50	+	+	-	+	+
C o m p o s t o P50+inoculante	+	+	-	+	+
C o m p o s t o P100+inoculante	+	+	-	+	+
Composto K50	+	-	+	-	+
C o m p o s t o K50+inoculante	+	-	+	-	+
C o m p o s t o K100+inoculante	+	-	+	-	+

⁽¹⁾Compostos puro, P50, P100, K50 e K100, com ou sem inoculante: produtos do processo de compostagem com ou sem inoculação de microrganismos solubilizadores e adição das rochas Fosforito (P50 e P100) ou Verdete (K50 e K100) nas proporções de 50 ou 100 kg m⁻³, aplicados aos vasos em quantidade equivalente a 50 t ha⁻¹. ⁽²⁾Mistura CaCO₃+ MgO, na relação Ca:Mg de 3:1, para elevar a saturação por bases a 80%. ⁽³⁾NH₄NO₃: nitrogênio fornecido em doses equivalentes a 113 mg kg⁻¹ (para os tratamentos que não receberam P), mais 200 mg kg⁻¹ (para todos os tratamentos) dividido em duas adubações de cobertura, aos 10 e 28 dias no primeiro cultivo e aos 19 e 34 dias no segundo cultivo. ⁽⁴⁾NH₄H₂PO₄: fornecimento de 250 mg kg⁻¹ de P e 113 mg kg⁻¹ de N. ⁽⁵⁾KCl: fornecimento de 200 mg kg⁻¹ de K. ⁽⁶⁾Combinações de reagentes p.a. para fornecer S, B, Cu, Mn, Zn e Mo, nas quantidades de 30; 0,5; 2; 3; 4 e 0,25 mg kg⁻¹, respectivamente.

As amostras obtidas aos 40 dias de compostagem foram secas ao ar livre e constituíram as fontes de P ou K de alguns dos tratamentos do experimento de casa de vegetação (Tabela 1), estabelecido em vasos contendo 3,5 kg de um Latossolo Vermelho argiloso. O solo foi coletado em área de Cerrado nativo da Embrapa Milho e Sorgo e peneirado em malha de 4 mm de

abertura. Empregou-se material de solo da camada de 10 a 30 cm de profundidade, de modo a se evitar eventual interferência da presença de material orgânico e de resíduos de cinza da superfície. Como planta teste, utilizou-se o milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), gramínea muito responsiva à adubação. Foram feitos dois cultivos sequenciais.

De acordo com a composição de cada tratamento (Tabela 1), foram feitas adições específicas de corretivos da acidez do solo e de fontes solúveis de nutrientes na forma de reagentes p.a. (puro para análise), conforme sugestões de Novais et al. (1991) para ensaios em ambiente controlado. A calagem foi realizada com o objetivo de atingir uma saturação por bases (V) correspondente a 80%, utilizando-se uma mistura de carbonato de cálcio (CaCO_3) e óxido de magnésio (MgO) na proporção Ca:Mg de 3:1. A adubação básica foi preparada com reagentes dissolvidos em água destilada, utilizando fontes de N, P, K, S e micronutrientes (Tabela 1). O calcário e as soluções para adubação básica foram misturados manualmente ao solo de cada vaso.

Nos tratamentos pertinentes, as quantidades aplicadas dos produtos da compostagem equivaleram a 50 t ha^{-1} ($10 \text{ t ha}^{-1} \times 5$, fator sugerido para experimentos em vasos), correspondendo à adição de $87,5 \text{ g vaso}^{-1}$. Para fins comparativos, foram incluídos tratamentos controle (solo natural), completo (calagem e fornecimento de todos os nutrientes via sais p.a.) e completo menos P ou K. O experimento foi disposto em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições.

Numa primeira etapa foi realizada a incubação do solo com corretivos de acidez e adubação (tratamentos) por 25 dias, quando foram coletadas amostras de solo dos vasos para caracterização da fertilidade antes do cultivo de plantas. Em seguida, foi semeado o milheto (híbrido BRS 1501). Aos oito dias após a semeadura (DAS) efetuou-se o desbaste, deixando-se 15 plantas por vaso. Foram

realizadas duas adubações de cobertura com nitrato de amônio (Tabela 1). O controle de umidade do solo, desde a sua incubação, foi realizado com aplicações periódicas de água destilada para mantê-la em 80% da capacidade de campo. Aos 49 DAS, na fase de pré-florescimento (Figura 3), cortou-se a parte aérea do milho. A massa seca da parte aérea foi obtida após a secagem em estufa com circulação forçada de ar, sob temperatura de 65 °C, até atingir massa constante. Os mesmos procedimentos foram observados num segundo cultivo de milho para avaliação do efeito residual dos tratamentos, com a diferença de que foram deixadas 11 plantas por vaso após o desbaste e o corte da parte aérea foi realizado aos 47 DAS.

Fotos: Álvaro Vilela Resende



Figura 3. Vista geral do experimento no primeiro cultivo de milho, na fase de pré-florescimento. As plantas em destaque mostram sintomas de clorose nas bordas das folhas mais velhas e perda do turgor, típicos da deficiência tardia de potássio no tratamento “Completo – K”.

Após o segundo cultivo, novas amostras de solo foram coletadas nos vasos para a determinação da fertilidade residual. As

amostras iniciais e finais foram analisadas conforme metodologias de rotina descritas em Silva (1999). A disponibilidade de P e K foi determinada após extração com a solução Mehlich 1. Análises químicas das plantas de milho foram realizadas para determinação dos teores de nutrientes (SILVA, 1999) na parte aérea, após a moagem do material em moinho tipo Willey. Posteriormente, calculou-se a absorção (acúmulo) de nutrientes pelo milho em cada tratamento.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas utilizando-se o teste Scott-Knott a 5% de probabilidade, por meio do programa SISVAR (FERREIRA, 2000).

Resultados e Discussão

Os dados de composição química dos produtos obtidos na compostagem permitem verificar que a adição da rocha Fosforito proporcionou incrementos nos teores de fósforo total e solúvel em ácido cítrico, mas não modificou o teor solúvel em água, comparativamente ao composto orgânico puro (Tabela 2). Já a adição da rocha Verdete não promoveu alteração nos teores totais ou solúveis de potássio, mas tendeu a elevar os valores de pH dos compostos (Tabela 3). Para ambas as rochas, não foi possível detectar diferenças nos teores de P ou K nos compostos em decorrência da utilização de inoculante contendo microrganismos solubilizadores.

Estudos anteriores conduzidos em condições controladas já haviam demonstrado que estirpes de microrganismos da coleção da Embrapa Milho e Sorgo são capazes de solubilizar fosfato de cálcio (OLIVEIRA et al., 2009). É importante destacar que no presente estudo, desde o início da incubação, a relação C/N das misturas (<12:1) ficou abaixo da desejável. Mas houve atividade microbiana decompositora, denotada pelas variações de temperatura nas pilhas

durante o processo (Figura 2) e pelo aspecto escuro e homogêneo ao final de 110 dias, característico de produtos compostados. Na continuidade, as pesquisas deverão otimizar a proporção dos diferentes materiais orgânicos, bem como a quantidade de rocha adicionada, a forma de inoculação com microrganismos solubilizadores e o tempo de compostagem. Esses ajustes poderão condicionar novos padrões de atividade microbiana e de ação solubilizadora dos componentes minerais, melhorando o valor agrônômico dos produtos pelo incremento dos teores solúveis de P e K.

A aplicação dos compostos contendo a rocha Fosforito no latossolo utilizado para o cultivo de milho provocou expressivos incrementos na disponibilidade de P determinada com o extrator Mehlich 1 (Tabela 4). Sabidamente, esse extrator leva a superestimativas do P liberado pela aplicação de fosfatos naturais (NOVAIS; SMITH, 1999; SOUSA; LOBATO, 2004). Todavia, é interessante notar que na amostragem realizada após os dois cultivos de milho a disponibilidade de P Mehlich tendeu a diminuir nos tratamentos completo e com composto puro, e a aumentar nos tratamentos com Fosforito e inoculante microbiano. Esse fato sugere que pode ter havido alguma ação dos microrganismos solubilizadores e que os compostos produzidos com o Fosforito podem constituir uma fonte de P com liberação de longo prazo, cujo efeito residual favorece o tamponamento do sistema em relação a esse nutriente.

Esse efeito residual também é confirmado pelos dados de resposta do milho em produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) no segundo cultivo em comparação com o primeiro (Tabela 4). No primeiro ciclo de milho, os tratamentos com rocha e inoculante foram estatisticamente iguais ao tratamento completo, enquanto no segundo ciclo este proporcionou menor crescimento.

Tabela 2. Valores de pH e teores dos nutrientes N, P e K nos produtos obtidos da compostagem com a rocha Fosforito ao final de 110 dias.

Tratamentos ⁽¹⁾	pH CaCl ₂	N total (%)	P ₂ O ₅ total (%)	P ₂ O ₅ solúvel água (%)	P ₂ O ₅ ácido citríco (%)	K ₂ O total (%)
Composto puro	5,7	1,4	1,4	0,2	1,9	1,2
Composto P50	5,8	1,1	4,9	0,1	3,2	1,0
Composto P50+inoculante	5,7	1,2	3,5	0,1	3,2	0,9
Composto P100+inoculante	5,8	1,0	6,5	0,1	3,7	0,8

⁽¹⁾Compostos puro, P50 e P100, com ou sem inoculante: produtos do processo de compostagem com ou sem inoculação de microrganismos solubilizadores e adição da rocha Fosforito nas proporções de 50 ou 100 kg m⁻³.

Tabela 3. Valores de pH e teores dos nutrientes N, P e K nos produtos obtidos da compostagem com a rocha Verdete ao final de 110 dias.

Tratamentos ⁽¹⁾	pH CaCl ₂	N total (%)	P ₂ O ₅ total (%)	K ₂ O total (%)	K ₂ O solúvel água (%)	K ₂ O acetato amônio (%)
Composto puro	5,7	1,4	1,4	1,2	1,0	0,9
Composto K50	6,2	1,2	1,1	1,0	1,0	0,7
Composto K50+inoculante	6,2	1,0	0,9	1,0	0,9	0,6
Composto K100+inoculante	6,3	1,1	0,9	1,0	0,8	0,6

⁽¹⁾Compostos puro, K50 e K100, com ou sem inoculante: produtos do processo de compostagem com ou sem inoculação de microrganismos solubilizadores e adição da rocha Verdete nas proporções de 50 ou 100 kg m⁻³.

Tabela 4. Disponibilidade de P no solo antes e após dois cultivos de milho, produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), teor e acúmulo de P na parte aérea, em resposta à aplicação de produtos de compostagem contendo a rocha Fosforito como fonte de fósforo.

Tratamentos ⁽¹⁾	P solo antes mg dm ⁻³	P solo após mg dm ⁻³	MSPA 1 ^o cultivo g vaso ⁻¹	MSPA 2 ^o cultivo g vaso ⁻¹	MSPA soma g vaso ⁻¹	Teor P 1 ^o cultivo g kg ⁻¹	Teor P 2 ^o cultivo g kg ⁻¹	Acúmulo P 1 ^o cultivo mg vaso ⁻¹	Acúmulo P 2 ^o cultivo mg vaso ⁻¹	Acúmulo P soma mg vaso ⁻¹
Controle	2	1	1,3 c	0,2 c	1,4 c	1,4 b	1,0 c	2 c	0,1 b	2 c
Completo	32	22	48,4 b	13,7 b	62,1 b	2,1 a	2,3 a	100 a	32 a	132 a
Completo - P	1	1	2,1 c	0,6 c	2,7 c	0,9 c	0,8 c	2 c	0,5 b	2 c
Composto puro	11	4	51,6 a	14,7 b	66,3 a	1,8 a	2,1 b	93 a	30 a	123 a
Composto P50	156	156	52,4 a	18,1 a	70,5 a	1,4 b	1,9 b	72 b	34 a	106 b
C o m p o s t o P50+inoculante	130	139	49,1 b	18,4 a	67,4 a	1,3 b	2,0 b	62 b	37 a	99 b
C o m p o s t o P100+inoculante	250	298	47,7 b	19,0 a	66,7 a	1,5 b	1,9 b	72 b	35 a	107 b

⁽¹⁾Compostos puro, P50 e P100, com ou sem inoculante; produtos de compostagem com ou sem inoculação de microrganismos solubilizadores e adição da rocha Fosforito nas proporções de 50 ou 100 kg m⁻³.

No segundo cultivo, o tratamento com composto puro não foi capaz de sustentar o desenvolvimento do milho nos mesmos patamares do primeiro. Ainda assim, os benefícios da aplicação de material de base orgânica foram evidentes, proporcionando as maiores produções de MSPA na soma dos dois cultivos (Tabela 4), o que, de certo modo, acabou por sobrepujar os efeitos do Fosforito. Obviamente, os benefícios dessa fração orgânica não se restringem apenas ao suprimento de fósforo, mas de vários outros nutrientes, além de efeitos condicionadores do solo ligados ao aumento da capacidade de troca de cátions, retenção de umidade e estímulo à atividade microbiana (KIEHL, 1997).

A aplicação de uma fonte solúvel de P no tratamento completo levou aos maiores teores e acúmulo do nutriente na parte aérea do milho, sem, contudo, promover maior crescimento. Na soma dos dois cultivos, ao produzirem mais fitomassa que o tratamento completo, com menor acúmulo de P, os compostos contendo Fosforito condicionaram melhor eficiência de utilização do nutriente pelo milho. A melhoria da eficiência do Fosforito no crescimento do milho após o primeiro cultivo (Tabela 4) era esperada, uma vez que esse é um padrão de resposta típico dos fosfatos naturais, especialmente os reativos (SOUSA; LOBATO, 2004). Nesse sentido, as fontes que associam maior eficiência de uso e elevado efeito residual são ideais quando se pensa em manejo da fertilidade do solo em longo prazo.

As respostas à aplicação dos compostos contendo a rocha Verdete (Tabela 5) foram distintas em relação ao Fosforito. Os teores de potássio pelo extrator Mehlich 1 no solo antes do cultivo do milho foram largamente afetados pela fração orgânica, corroborando a ausência de variação nos resultados das análises de K feitas nos produtos da compostagem (Tabela 3).

Os compostos com Verdete também não afetaram o residual de K no solo após os cultivos (Tabela 5). Chama atenção a pequena

magnitude dos valores residuais, os quais são interpretados como baixos ou muito baixos (ALVAREZ V. et al., 1999). A rápida exaustão do solo comprova a pronta disponibilidade do nutriente da fração orgânica e a elevada capacidade de absorção pelo milheto.

No que diz respeito aos teores de K na parte aérea, não houve diferença significativa entre o tratamento completo e aqueles com composto orgânico, com ou sem Verdete. As quantidades acumuladas pelas plantas refletiram o fato de que somente a fração orgânica dos compostos foi suficiente para atender a demanda de K do milheto, inclusive superando a disponibilização verificada com a fonte solúvel (KCl) no tratamento completo. Não obstante, um tanto surpreendente foi a resposta em crescimento, pela qual, na soma dos dois cultivos, os tratamentos envolvendo os compostos com Verdete promoveram maior produção de matéria seca que os tratamentos completo ou com o composto puro (Tabela 5). Merece destaque também o incremento de matéria seca no segundo cultivo naqueles tratamentos com Verdete. Possivelmente, esse diferencial de produtividade relacionado à presença da rocha tenha se devido a outros fatores que não o suprimento de potássio.

A despeito das diferenças entre tratamentos para algumas das variáveis estudadas, tudo leva a crer que na realidade não houve liberação expressiva do nutriente presente no Verdete. Portanto, os procedimentos de compostagem e inoculação com solubilizadores parecem não ser efetivos na melhoria do valor fertilizante dessa rocha.

Tabela 5. Disponibilidade de K no solo antes e após dois cultivos de milho, produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), teor e acúmulo de K na parte aérea, em resposta à aplicação de produtos de compostagem contendo a rocha Verdeite como fonte de potássio.

Tratamentos ⁽¹⁾	K solo antes mg dm ⁻³	K solo após mg dm ⁻³	MSPA 1º cultivo g vaso ⁻¹	MSPA 2º cultivo g vaso ⁻¹	MSPA soma g vaso ⁻¹	Teor K 1º cultivo g kg ⁻¹	Teor K 2º cultivo g kg ⁻¹	Acúmulo K 1º cultivo mg vaso ⁻¹	Acúmulo K 2º cultivo mg vaso ⁻¹	Acúmulo K soma mg vaso ⁻¹
Controle	19	14	1,3 c	0,2 d	1,4 d	22,6 a	13,3 a	29 c	2 c	31 c
Completo	147	18	48,4 a	13,7 b	62,1 b	15,6 b	4,1 b	754 b	56 a	810 b
Completo - K	24	8	24,6 b	6,7 c	31,2 c	5,0 c	3,3 b	120 c	22 b	142 c
Composto puro	212	20	51,6 a	14,7 b	66,3 b	16,6 b	5,2 b	854 a	76 a	930 a
Composto K50	153	21	55,3 a	15,8 a	71,1 a	15,8 b	4,1 b	865 a	65 a	930 a
C o m p o s t o K50+inoculante	149	22	55,9 a	17,9 a	73,8 a	15,8 b	3,9 b	880 a	70 a	950 a
C o m p o s t o K100+inoculante	130	26	56,5 a	16,6 a	73,1 a	12,0 b	3,6 b	683 b	60 a	743 b

⁽¹⁾Compostos puro, K50 e K100, com ou sem inoculante: produtos do processo de compostagem com ou sem inoculação de microrganismos solubilizadores e adição da rocha Verdeite nas proporções de 50 ou 100 kg m⁻³.

Numa interpretação conjunta, nota-se que o fósforo é o nutriente mais limitante ao desenvolvimento das plantas de milho no latossolo estudado (Tabela 4), conforme expresso no tratamento com adubação completa – P, em que a produção da matéria seca foi muito afetada, não apresentando diferença estatística em relação ao tratamento controle (solo virgem de Cerrado). A limitação ao desenvolvimento das plantas foi bem menos severa com a ausência de potássio na adubação (Tabela 5), a qual só teve reflexo no aspecto visual do milho em fases mais avançadas do cultivo, demonstrando que mesmo os solos de Cerrado possuem alguma reserva do nutriente que permite o desenvolvimento inicial das culturas.

Sobretudo no caso do Fosforito, foram obtidos indicativos de que as rochas poderão ter sua eficiência fertilizante aumentada por processos de compostagem associando a inoculação com microrganismos solubilizadores. No entanto, a intensidade dessa biossolubilização não pôde ser devidamente quantificada. Serão necessários novos experimentos, buscando desde a otimização do processo de compostagem e inoculação de microrganismos até avaliações em campo, considerando um período de tempo maior para a expressão consistente dos efeitos agrônômicos dos tratamentos, a fim de permitir análises técnicas e econômicas conclusivas.

Ao propiciar um meio mais favorável à atividade microbiana, a presença de uma matriz orgânica nos compostos contendo rochas deve ter um papel preponderante na sua eficiência como fontes de nutrientes. O contato da rocha com microrganismos e substâncias derivadas do metabolismo microbiano atuando na matriz orgânica pode resultar na biossolubilização dos minerais, e na consequente liberação de nutrientes no solo. Contudo, no presente estudo, não ficaram explícitas tais premissas, denotando que as relações de causa e efeito são mais complexas. Os resultados obtidos

sustentam a ideia de que os mecanismos envolvidos ainda não são suficientemente claros para uma aplicação em maior escala (STAMFORD et al., 2004; LAPIDO-LOUREIRO et al., 2010).

Conclusões

Os compostos contendo as rochas Fosforito e Verdete promovem incrementos de crescimento do milho, com maior produção de matéria seca em comparação à adubação com fontes solúveis.

A adição da rocha Fosforito ao composto incrementa a capacidade de fornecimento de fósforo e o efeito residual da adubação.

A adubação com compostos contendo a rocha Verdete não influenciou o suprimento de potássio durante os dois cultivos de milho.

Ganhos de solubilidade das rochas pela compostagem e inoculação de microrganismos selecionados não foram claramente evidenciados, sobretudo porque o efeito fertilizante das rochas foi sobrepujado pela fração orgânica dos compostos.

Agradecimentos

À Finep, à Fapemig e ao CNPq, pelo apoio financeiro e concessão de bolsas, auxílios que viabilizaram o presente trabalho de pesquisa.

Referências

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Programa e resumos...**São Carlos: UFScar, 2000. p. 255-258.

KIEHL, J. C. Adubação orgânica de culturas forrageiras. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMAS DE PASTAGENS, 3., 1997, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FCAV: Unesp, 1997. p. 208-250.

LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; NASCIMENTO, M.; NEUMANN, R.; RIZZO, A. C. Tecnologias de aplicação de glaucomita como fonte de potássio na agricultura: o caso brasileiro e a experiência indiana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 1., 2009, Brasília, DF. **Anais...** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. p. 111-119.

LIMA, J. L. U.; SAMPAIO, T. Q. Atualidade e perspectivas das reservas de agrominerais no Brasil. **Boletim Informativo da SBCS**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 12-17, 2010.

LUZ, A. B.; LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; SAMPAIO, J. A.; CASTILHOS, Z. C.; BEZERRA, M. S. Rochas, minerais e rotas tecnológicas para a produção de fertilizantes alternativos. In: FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B. da; CASTILHOS, Z. C. (Ed.). **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2010. p. 61-88.

MARTINS, E. S.; RESENDE, A. V.; OLIVEIRA, C. G.; FURTINI NETO, A. E. Materiais silicáticos como fontes regionais de nutrientes e condicionadores de solo. In: FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B. da; CASTILHOS, Z. C. (Ed.). **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2010. p. 89-104.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J. de; GARRIDO, W. E.; ARAUJO, J. D. de; LOURENÇO, S. (Coord.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília, DF: EMBRAPA-SEA, 1991. p. 189-254. (EMBRAPA-SEA. Documentos, 3).

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, C. A.; ALVES, V. M. C.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SCOTTI, M. R. S. M.; CARNEIRO, N. M.; GUIMARÃES, C. T.; SCHAFFERT, R. E.; SÁ, N. M. A. Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the brazilian cerrado biome. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 25, p.1-6, 2009.

SAAB, A. A.; PAULA, R. A. O mercado de fertilizantes no Brasil: diagnóstico e propostas de políticas. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 17, n. 2, p. 5-24, 2008.

SILVA, F. C. da (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 1999. 370 p.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 157-200.

STAMFORD, N. P.; SANTOS, C. E. R. S; STAMFORD JÚNIOR, W. P.; DIAS, S. L. Biofertilizantes de rocha fosfatada com *Acidithiobacillus* como adubação alternativa de caupi em solo com baixo P disponível. **Revista Analytica**, n. 9, p. 48-53, fev./mar. 2004.



Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA