

ÉRICA DE OLIVEIRA SILVA

ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE UM NEOSSOLO REGOLÍTICO
CULTIVADO COM MILHO SOB INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE
BIOFERTLIZANTES FOSFATADOS

GARANHUNS
PERNAMBUCO - BRASIL
FEVEREIRO – 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE GARANHUNS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO AGRÍCOLA

ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE UM NEOSSOLO REGOLÍTICO
CULTIVADO COM MILHO SOB INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE
BIOFERTILIZANTES FOSFATADOS

ÉRICA DE OLIVEIRA SILVA

SOB ORIENTAÇÃO DO PROFESSOR
DR. GUSTAVO PEREIRA DUDA

Dissertação apresentada à
Universidade Federal Rural de
Pernambuco, como parte das exigências
do Programa de Pós Graduação em
Produção agrícola, para obtenção do
título de *Mestre*.

GARANHUNS
PERNAMBUCO - BRASIL
FEVEREIRO - 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE GARANHUNS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO AGRÍCOLA

ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE UM NEOSSOLO REGOLÍTICO
CULTIVADO COM MILHO SOB INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE
BIOFERTLIZANTES FOSFATADOS

ÉRICA DE OLIVEIRA SILVA

GARANHUNS
PERNAMBUCO - BRASIL
FEVEREIRO - 2013

Ficha Catalográfica
Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Setorial UFRPE/UAG

S586a Silva, Érica de Oliveira
 Atributos químicos e biológicos de um neossolo
 regolítico cultivado com milho sob influência da
 aplicação de biofertilizantes fosfatados/ Érica de Oliveira
 Silva. _Garanhuns, 2013.
 90 f.

 Orientador: Gustavo Pereira Duda
 Dissertação (Mestrado em Produção Agrícola) –
 Universidade Federal Rural de Pernambuco-Unidade
 Acadêmica de Garanhuns, 2013.
 Inclui bibliografias

CDD: 636.0852

1. Fosfato de Gafsa
 2. Fósforo
 3. Enzimas
 4. Ácidos orgânicos
- I. Duda, Gustavo Pereira
 - II. Título

Aos meus pais pelo amor incondicional dedicado, rocha onde firmo meus pés, certeza de um porto seguro, responsáveis pelo sucesso hoje alcançado.

Aos meus irmãos, Jeane, Edjane, Jerlan, pelo incentivo e força, mesmo quando distantes e sobrinhos Maria Eduarda, Lucas, Letícia, Gabriel e Matheus, pessoinhas pelas quais tenho força para continuar a longa estrada.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Deus que pela vida, saúde, razão e intelecto para que eu pudesse discernir pelo melhor a caminho a seguir e hoje concluir mais uma etapa..

A minha família, meus pais e meus irmãos, por todo amor e dedicação que sempre tiveram comigo, pelo apoio, paciência e incentivo, sempre muito compreensivos e colaboradores.

Aos meus amigos, pelo carinho e pela compreensão nos momentos em que a dedicação aos estudos foi exclusiva.

Ao Prof. Dr. Gustavo Pereira Duda, a este devo a confiança em minha capacidade como pesquisador além da paciência e tranquilidade para me transmitir os ensinamentos.

À UAG-UFRPE e a CAPES pela concessão da bolsa de pós-graduação, apoio na realização das análises e aporte financeiro. Ao programa de Pós Graduação em Produção Agrícola na Unidade Acadêmica de Garanhuns e CENLAG, pela disponibilidade no uso de equipamentos e utensílios para realização das análises.

Aos membros da banca, Dra. Karina Marie Kamimura, Dra. Júlia Kuklinsky Sobral e Dra. Priscila Vanúbia Queiroz de Medeiros pela valorosa contribuição com sugestões e críticas construtivas.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Produção Agrícola, Edilma Pereira, Érika Valente, Jeandson Viana, José Romualdo, Mácio Farias, Marcelo Metri, pelo conhecimento transmitido, pela atenção e conselhos.

Aos demais professores do Programa de Pós-graduação em Produção Agrícola, que por ventura eu tenha me esquecido de citar. Aos técnicos e demais profissionais da Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG-UFRPE), que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho.

Aos colegas do grupo de pesquisa, Aline, Uemeson, Karol, Rita pela paciência e colaboração na realização deste trabalho. A todos os meus amigos e companheiros: Camila, Cataliny, Sueli, João Paulo, Carolina, Jamilly, Wendson, Jessica, Júnior, Fábila, Erickson, Hélio.

A minha grande amiga Pollyanna, companheira da graduação que se tornou irmã de alma, pessoa com a qual divido alegrias e tristezas, essencial para conclusão de mais uma etapa na minha vida. À você o meu enorme obrigada!

E por fim, a todos aqueles que contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional de forma direta e/ou indireta.

BIOGRAFIA

ÉRICA DE OLIVEIRA SILVA, filha de João Pedro da Silva e Edi Anízia de Oliveira Silva, nascida em 24 de Maio de 1985, em Garanhuns-PE.

Em 2005, ingressou no curso de Agronomia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Garanhuns – UAG/UFRPE, graduando-se em 2010.

Em março de 2011 iniciou no curso de Mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Produção Agrícola na mesma Instituição, submetendo-se a defesa pública de dissertação em Fevereiro de 2013.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	12
1. INTRODUÇÃO GERAL	14
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	17

CAPÍTULO I

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE
MILHO SOB INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO COM BIOFERTILIZANTES
FOSFATADOS**

RESUMO	22
ABSTRACT	23
1. INTRODUÇÃO.....	24
2. MATERIAL E MÉTODOS	25
2.1. Produção de biofertilizantes	25
2.2. Aplicação do biofertilizante na cultura do milho	28
2.3. Análise química de solo	30
2.4. Análise química da planta	30
2.5. Análise estatística	31
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4. CONCLUSÃO	41
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42

CAPÍTULO II

**ATIVIDADE MICROBIANA EM NEOSSOLO REGOLÍTICO APÓS CULTIVO
DE MILHO ADUBADO COM BIOFERTILIZANTES FOSFATADOS**

RESUMO	48
ABSTRACT	49
1. INTRODUÇÃO.....	50
2. MATERIAL E MÉTODOS	51
2.1. Produção de biofertilizantes	51
2.2. Aplicação do biofertilizante na cultura do milho	54
2.3. Análises Bioquímicas	56
2.4. Análise estatística	57

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4. CONCLUSÃO	65
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

CAPÍTULO III

ÁCIDOS ORGÂNICOS NO SOLO E NA RIZOSFERA DE PLANTAS DE MILHO ADUBADAS COM BIOFERTILIZANTES FOSFATADOS

RESUMO	74
ABSTRACT	75
1. INTRODUÇÃO	76
2. MATERIAL E MÉTODOS	77
2.1. Produção de biofertilizantes	77
2.2. Aplicação do biofertilizante na cultura do milho	80
2.3. Determinação e quantificação de ácidos orgânicos.	82
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
4. CONCLUSÃO	87
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88

RESUMO GERAL

Em condições tropicais, a disponibilidade de fósforo (P) no solo para as plantas é um dos principais fatores limitantes da produção. Uma das alternativas para reduzir o custo com as adubações é o uso de fosfatos de rocha natural. A atividade dos microrganismos solubilizadores de fósforo é fundamental para uma utilização dos fertilizantes fosfatados de baixa solubilidade. Este trabalho teve como objetivo avaliar as alterações promovidas nos atributos químicos e biológicos de um Neossolo Regolítico, cultivado com milho, pela aplicação de fertilizante fosfatado hidrossolúvel, fosfato natural de Gafsa e biofertilizantes fosfatados. O experimento foi conduzido em duas etapas. Na primeira etapa foi realizada a produção de biofertilizantes e na segunda etapa os biofertilizantes que apresentaram melhor solubilização de fósforo foram utilizados no cultivo de milho em vasos, em casa de vegetação. Os biofertilizantes: Cama de aviário + Fosfato de Gafsa (CA+FG) e Esterco bovino + Fosfato de Gafsa (EB+FG), foram produzidos em potes plásticos com capacidade de 1000 mL durante um período de 60 dias. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 6×2 com quatro repetições, sendo seis fontes de fósforo: Fosfato de Gafsa (FG), Superfosfato simples (SS), Cama de aviário + Fosfato de Gafsa (CA+FG), Esterco bovino + Fosfato de Gafsa (EB+FG), Cama de aviário + Superfosfato simples (CA+SS), Esterco bovino + Superfosfato simples (EB+SS) e duas formas de aplicação: Incorporada (I) e em Superfície (S). Os parâmetros avaliados foram: massa seca de raiz e parte aérea, caracterização química de solo e planta, indicadores biológicos do solo, atividade enzimática de fosfatase e identificação e quantificação dos ácidos orgânicos presentes no solo e na rizosfera. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo as médias dos dados separadas pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade. O menor teor de P no solo foi determinado pela adição de FG ($8,42 \text{ mg kg}^{-1}$). A adubação com EB+FG e CA+FG de forma incorporada proporcionaram as maiores produções de matéria seca de parte aérea (MSPA), $10,55$ e $9,20 \text{ g planta}^{-1}$. O EB+FG apresentou os maiores valores de carbono da biomassa microbiana (C-CBM), carbono orgânico total (COT) e quociente microbiano (qMIC) e menores valores de respiração basal (C-O₂), quociente metabólico (qCO₂), carbono solúvel e água (CSA), indicando alta estabilidade da atividade microbiana. A maior atividade da fosfatase alcalina foi verificada pelo tratamento EB+SS, enquanto que a maior atividade da fosfatase ácida foi verificada pelo tratamento com EB+FG. As amostras de solos analisadas no cromatógrafo gasoso detectaram a presença do ácido acético, butírico e propiônico, sendo o acético mais expressivo. Nas amostras da rizosfera de plantas de milho foram identificados três ácidos de baixo peso molecular, acético, butírico e propiônico, porém em concentrações muito mais elevadas do que no solo.

Palavras-chave: Fosfato de Gafsa, fósforo, enzimas, ácidos orgânicos.

GENERAL ABSTRACT

In tropical conditions, the availability of phosphorus (P) in the soil for plants is one of the main limiting factors. One of the alternatives to reduce the cost of fertilization is the use of natural phosphate rock. The activity of phosphate solubilizing microorganisms is critical to use of phosphate fertilizers of low solubility. This work aimed to evaluate the changes introduced in the chemical and biological attributes of a Entisol cultivated with corn, by the application of water-soluble phosphate fertilizer, Gafsa rock phosphate and phosphatic biofertilizers. The experiment was conducted in two stages. The first step was performed to produce biofertilizers and biofertilizers in the second stage that showed better solubilization of phosphorus were used in growing corn in pots in the greenhouse. The biofertilizers: poultry manure + Gafsa Phosphate (CA + FG) and bovine manure + Gafsa Phosphate (EB + FG), were produced in plastic pots with a capacity of 1000 mL over a period of 60 days. The experimental design was completely randomized in a 6 x 2 factorial with four replications, six sources of phosphorus: Gafsa Phosphate (FG), simple superphosphate (SS), poultry manure + Gafsa Phosphate (CA + FG), bovine manure + Gafsa Phosphate (EB + FG), poultry manure + single superphosphate (CA + SS), bovine manure + simple superphosphate (EB + SS) and two application forms: Incorporated (I) and surface (S). The parameters evaluated were: dry mass of roots and shoots, chemical characterization of soil and plant, biological indicators of soil phosphatase enzyme activity and identification and quantification of organic acids in the soil and rhizosphere. The results were submitted to analysis of variance and the averages of the data separated by the Scott-Knott test, at 5% probability. The lower content of P in the soil was determined by the addition of FG (8.42 mg kg^{-1}). Fertilization with EB + FG and CA + FG so embedded produced the highest dry matter (MSPA), 10.55 and 9.20 g plant⁻¹. The EB + FG showed the highest values of microbial biomass carbon (C-MBC), total organic carbon (COT) and microbial quotient (qMIC) and lower values of basal respiration (C-O₂), metabolic quotient (qCO₂), water-soluble carbon (CSA), indicating high stability of the microbial activity. The highest activity of alkaline phosphatase was verified by treating EB + SS, while the highest acid phosphatase activity was verified by treatment with EB + FG. The samples analyzed in the gas chromatograph detected the presence of acetic acid, propionic acid and butyric, with acetic more significant. In samples from the rhizosphere of corn plants were identified three low molecular weight acids, acetic, propionic and butyric acids, but in much higher concentrations than in the soil.

Keywords: Gafsa phosphate, phosphorus, enzymes, organic acids.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O milho (*Zea mays*) é uma das principais culturas em termos de oferta. É um grão de alto valor nutritivo, energético, amplamente consumido por seres humanos, sendo que no Brasil seu grande mercado é a alimentação animal. Estima-se que a produção destinada ao consumo animal seja de aproximadamente 75% (BRASIL, 2010).

De acordo com a FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), o Brasil é o 3º maior produtor mundial de milho, chegando a produzir mais de 55 milhões de toneladas de grãos em 2011. A cultura apresenta do alto potencial produtivo, dados da International Fertilizer Industry Association (IFA), mostra que aproximadamente 15% do fertilizante global utilizado são destinados a cultura do milho. O Brasil ocupa o 4º lugar no consumo de fertilizantes, e 20% do total é utilizado ao cultivo de milho (FAO, 2010).

Apesar do grande destaque no cenário mundial, a produção de grãos por unidade de área é muito baixa. Em 2011 essa produtividade foi de aproximadamente 4,2 t ha⁻¹ (FAO, 2011). Entre alguns dos obstáculos para obtenção do máximo rendimento da cultura encontra-se a baixa fertilidade natural, comum de solos tropicais geralmente mais intemperizados, com baixa capacidade de troca de cátions, ricos em óxidos de ferro e alumínio e grande capacidade de fixar fósforo (P) (LOPES e GUILHERME, 2007; KORNDÖRFER e MELO, 2009).

Em condições tropicais, a disponibilidade de P no solo para as plantas é um dos principais fatores limitantes da produção (NOVAIS e SMYTH, 1999). A baixa disponibilidade principalmente no início do ciclo vegetativo, pode causar danos irreversíveis. Sua principal função é armazenar e transferir energia, atuando no metabolismo celular, na respiração e na fotossíntese, além de se tratar de um componente estrutural dos ácidos nucléicos de genes e cromossomos, assim como de muitas coenzimas, fosfoproteínas e fosfolipídios (EPSTEIN E BLOOM, 2006; MALAVOLTA, 2006).

Embora, o emprego de fertilizantes fosfatados nos cultivos seja alto e a haja incrementos na produtividade em função destes, apenas a prática da fertilização não é suficiente para promover grandes avanços na produtividade, além de elevar o custo de

produção e ser fonte potencial de contaminação como eutrofização e hipoxia dos recursos hídricos (GONÇALVES et al., 2008).

A maior parte dos adubos fosfatos utilizados na agricultura são fontes de alta solubilidade e disponibilizam o P mais rapidamente para as plantas. Porém, estes quando adicionados ao solo são rapidamente retidos na fase sólida, formando compostos menos solúveis (HARGER et al., 2007; KORNDÖRFER e MELO, 2009). Além de possuírem alto custo e por se tratar de um mineral finito e insubstituível, tem-se procurado o desenvolvimento de tecnologias que aperfeiçoem a eficiência do uso de fontes alternativas (VASSILEV e VASSILEVA, 2003; RESENDE et al., 2006).

Dentre as opções, o uso de fosfatos naturais como fonte de fósforo para adubação fosfatada tem sido uma das mais utilizadas, porém, a utilização eficiente dessa fonte só é possível com o uso de mecanismos que auxiliem na dissolução do fósforo (NUNES et al., 2011; NOVAIS et al., 2007; VASSILEV et al., 2007; REYES et al., 2007).

Uma das formas de aumentar a velocidade de solubilização do fosfato e disponibilizar o P mais rapidamente as plantas é a associação entre o fosfato natural e microrganismos solubilizadores de fosfato (PRADHAN e SUKLA, 2005). A prévia associação destes microrganismos aos fosfatos de rocha tem proporcionado resultados satisfatórios (HUSSAIN, et al., 2001). Porém, Gomes et al. (2010) e Branco et al. (2001), afirmam que apenas a presença da matéria orgânica disponibiliza o P insolúvel, em função da atividade microbiana. Os ácidos orgânicos exsudados pela rizosfera e oriundos da decomposição da matéria orgânica atuam na solubilização do P insolúvel devido à acidez gerada e complexação de cátions (Al, Fe e Ca) que precipitam o P (PÉREZ, et al., 2007; CHEN, et al., 2008; VYAS e GULATI, 2009; OLIVEIRA et al., 2009). Além disso, a alta afinidade dos ânions orgânicos pelos mesmos sítios de adsorção do fosfato propicia maior concentração de P na solução do solo (PAVINATO e ROSOLEM, 2008).

Além de melhorar a fertilidade do solo, crescimento das plantas e reduzir o potencial de erosão e desertificação, o uso de compostos orgânicos na agricultura é uma prática que vem ganhando importância especial por se tratar de uma das tecnologias de estratégias integradas de gestão de resíduos (GIGLIOTTI et al., 2005). Bustamante et al. (2010), afirmam que o processo de compostagem é essencial para proporcionar

estabilização adequada dos resíduos orgânicos e assim reduzir a entrada de compostos lábeis e limitar a perturbação da biomassa microbiana do solo.

Diversas pesquisas têm sido realizadas no sentido de averiguar qual o manejo mais adequado de utilização dos diversos resíduos orgânicos e sua associação com outros fertilizantes, buscando sempre a maior disponibilização de nutrientes para as plantas e manutenção da microbiota. Araújo (2011), verificou que aplicação de lodo de curtume associada à fosforita promoveu aumento da disponibilidade de P em Argissolo Vermelho Amarelo cultivado com milho. Silva et al. (2011), avaliando três fontes de P, dentre elas um biofertilizante fosfatado, observaram um efeito residual pelo uso desta fonte, recomendando como alternativa para adubação fosfatada, para as mesmas condições do experimento realizado. Vassilev et al. (2007), utilizando resíduos agroindustriais inoculados com fungos, como substrato para solubilização microbiana de fosfato de rocha, verificaram que a adição desses resíduos promoveram alta solubilização do fósforo. Andrade et al. (2009), comparando a atuação de biofertilizantes de rochas com P e K associados à matéria orgânica e a aplicação de fertilizantes minerais, em interação com fungos micorrízicos, verificou que a adubação realizada com biofertilizantes proporcionaram maior produção de biomassa seca de parte aérea de caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar as alterações promovidas nos atributos químicos e biológicos de um Neossolo Regolítico, cultivado com milho, pela aplicação de fertilizante fosfatado hidrossolúvel, fosfato natural reativo de Gafsa e biofertilizantes fosfatados.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, F. F. Disponibilização de fósforo, correção do solo, teores foliares e rendimento de milho após a incorporação de fosfatos e lodo de curtume natural e compostado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, p. 355-360, 2011.
- ANDRADE, M. M. M.; STAMFORD, N. P.; SOUSA, C. A.; SILVEIRA, A. C. G. A.; FREITAS, A. D. S.; SANTOS, C. E. R. S. Fertilização mineral e biofertilizante de rochas com Bradyrhizobium e fungos micorrízicos arbusculares em caupi. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, p. 289- 292, 2009,
- BRANCO, S. M.; MURGEL, P. H.; CAVINATTO, V. M. Compostagem: solubilização biológica de rocha fosfática na produção de fertilizante organomineral. **R. Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 6, n. 3 e 4, 2001.
- BRASIL. Câmara setoriais e temáticas aves e suínos. **Panorama do milho**. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2010. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Aves_e_suinos/1_reuniao/Panorama_do_Milho.pdf>. Acesso em 08 de fevereiro de 2013.
- BUSTAMANTE, M. A.; SAID-PULLICINO, D.; PAREDES C.; CECILIA, J. A.; R. MORAL. Influences of winery–distillery waste compost stability and soil type on soil carbon dynamics in amended soils. **Waste Management**, v. 30, p. 1966–1975, 2010.
- CHEN, C. R.; CONDRON, L. M.; XU, Z. H. Impacts of grassland afforestation with coniferous trees on soil phosphorus dynamics and associated microbial processes: a review. **Forest Ecology and Management**, v. 255, p. 396-409, 2008.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição Mineral de Plantas: princípios e perspectivas**. Tradução de Maria Edna Tenório Nunes. Londrina: Ed. Planta, 2006.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Food and Agricultural Commodities production**, Countries by commodity, 2011. Disponível em: < <http://faostat3.fao.org/home/index.html#DOWNLOAD>> Acesso em: 08 de fevereiro de 2013.

- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Consumption in nutrients**, 2010. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/home/index.html#DOWNLOAD>>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2013.
- GIGLIOTTI, G.; VALENTINI, F.; ERRIQUENS, F. G.; SAID-PULLICINO, D. Evaluating the efficiency of the composting process: a comparison of different parameters. **Geophysical Research Abstracts**, v. 7, p. 09606, 2005.
- GOMES, E. A.; SOUZA, F. A.; SYLVIA, M. S.; VASCONCELOS, M. J. V.; MARRIEL, I. E.; SILVA, U. C. **Prospecção de comunidades microbianas do solo ativas no aproveitamento agrícola de fontes de fósforo de baixa solubilidade**. Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 34 p.
- GONÇALVES, J. S.; SOUZA, S.A.M. & FERREIRA, C.R.R.P.T. Financiamento da produção agropecuária e uso de fertilizantes no Brasil, período 1950-2006. **Informações Econômicas**, São Paulo. 38, 2008.
- HARGER, N.; BRITO, O. R.; RALISCH, R.; ORTIZ, F. R.; WATANABE, T. S. Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 28, p. 39-44, 2007.
- HUSSAIN, A. A.; ABO GHALIA, H. H.; ABDALLAH, S. A. Rock phosphate solubilization by Aspergilli species grown on olive-cake waste and its application in plant growth improvement. **Egyptian Journal of Biology**, v. 3, p. 89-86, 2001.
- IFA - INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION. Assessment of fertilizer use by crop at the global level. Disponível em: <<http://www.fertilizer.org/HomePage/LIBRARY/Publication-database.html/Assessment-of-Fertilizer-Use-by-Crop-at-the-Global-Level-2006-07-2007-08.html2>>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2010.
- KORNDÖRFER, G. H.; MELO, S. P. Fontes de fósforo (fluida ou sólida) na produtividade agrícola e industrial da cana-de-açúcar. **R. Ciênc. agrotec.**, v. 33, p. 92-97, 2009.
- LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ V., V.H., BARROS, N.F., FONTES, R.L.F.,

- CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p.1-64.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- NOVAIS, R. F. de; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa-MG: UFV, DPS, 1999. 399p.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; BARROS, N. F. DE.; FONTE, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.
- NUNES, R. S.; SOUSA, D. M. G.; GOEDERT, W. J.; VIVALDI, L. J. Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. **R. Brasileira de Ciencia do Solo**, v.35, p.877-888, 2011.
- OLIVEIRA, C. A.; ALVES, V. M. C.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SCOTTI, M. R.; CARNEIRO, N. P.; SÁ, N. M. H. Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, p. 1782-1787, 2009.
- PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.911-920, 2008.
- PEREZ, E., SULBARAN, M.; BALL, M. M.; YARZABAL, L. A. Isolation and characterization of mineral phosphate-solubilizing bacteria naturally colonizing a limonitic crust in the south-eastern Venezuelan region. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, p. 2905-2914, 2007.
- PRADHAN, N.; SUKLA, L. B. Solubilization of inorganic phosphates by fungi isolated from agriculture soil. **African Journal of Biotechnology**, v. 5, p. 850-854, 2005.
- REYES, I.; VALERY, A.; VALDUZ, Z. Phosphate-solubilizing microorganisms isolated from rhizospheric and bulk soils of colonizer plants at an abandoned rock phosphate mine. **Developments in Plant and Soil Sciences**, v. 102, p 69-75, 2007.

- RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPORA, D. I.; SANTOS, J. Z. L. & CARNEIRO, L. F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 453-466, 2006.
- SILVA, M. O.; STAMFORD, N. P.; AMORIM, L. B.; ALMEIDA-JÚNIOR, A. B.; SILVA, M. O. Diferentes fontes de P no desenvolvimento do meloeiro e disponibilidade de fósforo no solo. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, p. 268-277, 2011.
- VYAS, P., & GULATI, A. Organic acid production in vitro and plant growth promotion in maize under controlled environment by phosphate-solubilizing fluorescent *Pseudomonas*. **BMC microbiology**, v. 9, p. 174. 2009.
- VASSILEV, N.; VASSILEVA, M. Biotechnological solubilization of rock phosphate on media containing agro-industrial wastes. **Appl. Microbiol. Biotechnol.**, v. 61, p. 435-440, 2003.
- VASSILEV, N.; MEDINA, A.; AZCON, R.; VASSILEVA. Microbial solubilization of rock phosphate on media containing agro-industrial wastes and effect of the resulting products on plant growth and P uptake. **Developments in Plant and Soil Sciences**, v. 102, p. 77-84, 2007.

CAPÍTULO I

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE MILHO SOB INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO COM BIOFERTILIZANTES FOSFATADOS

RESUMO

Uma das alternativas para reduzir o custo com as adubações é o uso de fosfatos de rocha natural. A atividade dos microrganismos solubilizadores de fósforo é fundamental para uma utilização dos fertilizantes fosfatados de baixa solubilidade. Portanto, o trabalho teve como objetivo avaliar o desenvolvimento da cultura do milho e os atributos químicos de um Neossolo Regolítico com o uso de superfosfato simples, fosfato de Gafsa e biofertilizante fosfatado. O experimento foi conduzido em duas etapas. Na primeira etapa foi realizada a produção de biofertilizantes e na segunda etapa os biofertilizantes que apresentaram melhor solubilização de fósforo foram utilizados no cultivo de milho em vasos, em casa de vegetação. Os biofertilizantes: Cama de aviário + Fosfato de Gafsa (CA+FG) e Esterco bovino + Fosfato de Gafsa (EB+FG), foram produzidos em potes plásticos com capacidade de 1000 mL durante um período de 60 dias. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 6 x 2 com quatro repetições, sendo seis fontes de fósforo: Fosfato de Gafsa (FG), Superfosfato simples (SS), Cama de aviário + Fosfato de Gafsa (CA+FG), Esterco bovino + Fosfato de Gafsa (EB+FG), Cama de aviário + Superfosfato simples (CA+SS), Esterco bovino + Superfosfato simples (EB+SS) e duas formas de aplicação: Incorporada (I) e em Superfície (S). Os parâmetros avaliados foram: massa seca de raiz e parte aérea, caracterização química de solo e planta. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo as médias dos dados separadas pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade. As formas de aplicação não influenciaram o teor de P no solo. As fontes CA+SS e EB+SS apresentaram os maiores teores de P no solo, 44,12 e 42,73 mg kg⁻¹, respectivamente. O menor teor de P no solo foi determinado pela adição de FG (8,42 mg kg⁻¹). A adubação com EB+FG e CA+FG de forma incorporada proporcionaram as maiores produções de MSPA, 10,55 e 9,20 g planta⁻¹.

Palavras-chave: Fosfato de Gafsa, fósforo, acúmulo de nutrientes.

ABSTRACT

One of the alternatives to reduce the cost of fertilization is the use of natural phosphate rock. The activity of phosphate solubilizing microorganisms is critical to use of phosphate fertilizers of low solubility. Therefore, the study aimed to evaluate the development of corn and chemical attributes of a Entisol with the use of superphosphate, phosphate and Gafsa phosphate biofertilizer. The experiment was conducted in two stages. The first step was performed in the production of bio-fertilizers and bio-fertilizers to the second stage showed better solubilization of phosphorus were used in growing corn in pots in the greenhouse. The biofertilizers: poultry manure + Gafsa Phosphate (CA + FG) and bovine manure + Gafsa phosphate (EB + FG), were produced in plastic pots with capacity of 1000 mL over a period of 60 days. The experimental design was completely randomized in a 6 x 2 factorial design with four replications and six sources of phosphorus: Gafsa Phosphate (FG), single superphosphate (SS), poultry manure + Gafsa Phosphate (CA + FG), bovine manure + Gafsa phosphate (EB + FG), poultry manure + single superphosphate (CA + SS), bovine manure + single superphosphate (EB + SS) and two application forms: Embedded (I) and surface (S). The parameters evaluated were: dry mass of roots and shoots, chemical characterization of soil and plant. The results were submitted to analysis of variance and the averages of the data separated by the Scott-Knott test, at 5% probability. Application forms did not affect the P content in the soil. Sources SS and EB + CA + SS showed the highest levels of soil P, 44.12 and 42.73 mg kg⁻¹, respectively. The lowest P content in the soil was determined by the addition of FG (8.42 mg kg⁻¹). Fertilization with EB + FG and CA + FG so incorporated provided the highest yields of MSPA, 10.55 and 9.20 g plant⁻¹.

Keywords: Gafsa Phosphate, phosphorus, nutrient accumulation.

1. INTRODUÇÃO

O milho é o 2º alimento mais produzido no mundo e 3º mais produzido no Brasil (FAO, 2010). É uma cultura de amplo consumo, principalmente na alimentação animal e de alto potencial produtivo. Apesar do crescente aumento no uso de fertilizantes visando buscar maiores produtividades, o Brasil tem apresentado baixos rendimentos por unidade de área.

Dentre as diversas técnicas utilizadas para obtenção do máximo rendimento da cultura, o fornecimento adequado dos nutrientes requeridos pela planta é essencial. Embora o P não seja o nutriente mais exigido pela cultura do milho, é essencial para o seu metabolismo, exercendo função na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese (MALAVOLTA, 2006). Atua como componente estrutural dos ácidos nucléicos de genes e cromossomos, assim como de muitas coenzimas, fosfoproteínas e fosfolipídios (EPSTEIN e BLOOM, 2006).

Contudo, para suprir o requerimento nutricional das plantas é necessária realização de adubações fosfatadas em grandes quantidades. Isso, devido a grande capacidade dos solos mais intemperizados fixarem fósforo, retendo grande parte do P na fase sólida, formando compostos menos solúveis (KORNDÖRFER e MELO, 2009; LOPES e GUILHERME, 2007). O fornecimento de P ao solo é realizado principalmente por fontes altamente solúveis, como fosfatos simples e triplos, fosfatos monoamônicos e diamônicos, que disponibilizam o P mais rapidamente para a planta.

Devido ao alto custo destas fontes de P e a maior probabilidade de ocorrer a fixação deste elemento, tem-se buscado como alternativa o uso de fosfatos de rocha natural, que possui um custo mais reduzido, porém, apresenta baixa reatividade, disponibilizando o P de forma lenta para a planta, não sendo satisfatória para plantas de ciclo curto, sendo indicado o uso de FNs de maior reatividade, como o Gafsa, ARAD e Norte Carolina (NOVAIS, et al., 2007). Uma das alternativas para facilitar a dissolução do fósforo e torná-lo prontamente disponível para as plantas seria o propiciar o aumento da atividade microbiana através da utilização de compostos orgânicos, ricos em matéria orgânica (GOMES et al., 2010). A atividade dos microrganismos solubilizadores de fósforo é fundamental para uma utilização dos fertilizantes fosfatados de baixa solubilidade (PRADHAN e SUKLA, 2005).

Diversas pesquisas têm sido realizadas no sentido de averiguar o manejo mais adequado para fornecimento dessas fontes menos solúveis as culturas, buscando proporcionar a maior solubilização dos fosfatos e promover resultados semelhantes ou superiores em rendimentos por unidade de área. Araújo et al. (2008b), avaliando os efeitos da associação do lodo de curtume “in natura” e compostado, com fosfato natural sobre componentes de produção de milho, alteração da fertilidade do solo, verificou que o lodo associado à fosforita, proporcionou aumento do teor de fósforo solúvel no solo e maior absorção desse elemento pelo milho, em dois cultivos. Araújo (2011), constatou que a liberação do fósforo da rocha fosfatada é aumentada pela presença do resíduo orgânico, no entanto ocorrendo de forma lenta e gradual. Silva et al. (2011), verificaram que o uso de biofertilizante fosfatado (rocha fosfatada + enxofre + *Acidithiobacillus*), foi o que mais disponibilizou P em dois solos estudados após três ciclos da mesma cultura, reforçando a produção de biofertilizante como alternativa para adubação fosfatada.

Nesse sentido o trabalho teve como objetivo avaliar o desenvolvimento da cultura do milho e os atributos químicos de um Neossolo Regolítico com o uso de superfosfato simples, fosfato de Gafsa e biofertilizante fosfatado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em duas etapas. Na primeira etapa foi realizado o preparo dos biofertilizantes e na segunda etapa os biofertilizantes que apresentaram melhor solubilização de fósforo foram utilizados no cultivo de milho em vasos, em casa de vegetação.

2.1. Produção de biofertilizantes

A produção dos biofertilizantes fosfatados foi realizada nas dependências da Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG/UFRPE). A proporção utilizada foi de 3 (resíduo):1(fosfato de Gafsa), como recomendada por Bangar et al. (1985), que

verificaram em experiências realizadas com compostos preparados a partir dessa proporção eficiência comparável à do superfosfato e muito superior à do composto não enriquecido. Além da proporção recomendada foram testados dois níveis abaixo e dois acima. Os resíduos orgânicos utilizados foram: esterco bovino e cama de aviário. Os volumes dos resíduos foram: 0; 200; 300; 400; 500 e 600 cm³. Em todos os resíduos foram adicionados 133,33 g de fosfato de Gafsa. A quantidade de água adicionada a cada tratamento foi correspondente à capacidade de campo de cada resíduo.

Os biofertilizantes: Cama de aviário + Fosfato de Gafsa (CA+FG) e Esterco bovino + Fosfato de Gafsa (EB+FG), foram produzidos em potes plásticos com capacidade de 1000 mL durante um período de 60 dias, tendo sua temperatura monitorada antes de cada revolvimento e sendo revolvidos semanalmente (figura1).



Figura 1. Processo de compostagem de resíduos orgânicos + fosfato de Gafsa.

Após o período de incubação os resíduos foram secos e moídos no moinho de bola. Em seguida, foi realizada a análise de fósforo solúvel em água apenas dos biofertilizantes fosfatados, segundo metodologia preconizada pela Embrapa (2009). A partir dos resultados (tabela 1), foram escolhidos os volumes de 500 e 600 cm³ de cada tipo de resíduo (EB+FG e CA+FG), que apresentaram maiores teores de fósforo para utilização na segunda etapa do experimento.

Tabela 1 – Teores de fósforo solúvel em água dos biofertilizantes fosfatados.

Compostos	Volume (cm ³)	P g kg ⁻¹
EB+FG	200	0,18
EB+FG	300	0,22
EB+FG	400	0,27
EB+FG	500	0,39
EB+FG	600	0,40
CA+FG	200	0,41
CA+FG	300	0,79
CA+FG	400	0,86
CA+FG	500	1,39
CA+FG	600	1,69

CA+FG = Cama de Aviário + Fosfato de Gafsa; EB+FG = Esterco Bovino + Fosfato de Gafsa.

Após a escolha dos volumes procedeu-se análise de fósforo inorgânico (Pi) de todos os resíduos orgânicos a serem utilizados na segunda fase do experimento, a fim de confirmar a análise fósforo solúvel em água. Para a extração de Pi utilizou-se 5 g de solo e 100 mL de bicarbonato de sódio a pH 8,5, após a agitação por 30 min em mesa agitadora o extrato foi deixado em repouso por igual período e filtrado em papel qualitativo. O Pi foi determinado através da clarificação do extrato com o carvão ativo purificado com HCl 6 mol. L⁻¹, NaOH 0,5 mol. L⁻¹ e água destilada, numa proporção de 1:1:10 L para 100 g de carvão e quantificado por colorimetria, segundo metodologia da EMBRAPA (2009). Para uma escolha mais precisa, os resultados apresentados na tabela 2 foram submetidos à análise de variância pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, com auxílio do programa computacional, Sistema para Análise de Variância – SISVAR (FERREIRA, 2000).

Tabela 2 - Teores de fósforo inorgânico encontrados nos resíduos utilizados no experimento

Fontes de P	Volume cm ³	P g kg ⁻¹
CA	0	7,00 a
CA+FG	500	2,68 b
CA+FG	600	2,87 b
EB	0	1,36 c
EB+FG	500	0,70 d
EB+FG	600	0,56 d
CV (%)		13,03

CA = Cama de Aviário; EB = Esterco Bovino; CA+FG = Cama de Aviário + Fosfato de Gafsa; EB+FG = Esterco Bovino + Fosfato de Gafsa. CV (%) = coeficiente de variação.

De acordo com os teores de Pi encontrados nos biofertilizantes fosfatados, optou-se pelo uso do biofertilizante com volume de 600 cm³ de resíduo orgânico + 133,33 g de FG.

2.2. Aplicação do biofertilizante na cultura do milho

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Garanhuns (UFRPE/UAG). O solo utilizado foi Neossolo Regolítico eutrófico típico (SANTOS et al., 2012), o mesmo foi coletado na camada de 0-20 cm no município de São João – PE, em área com vegetação natural. Inicialmente foi realizada a caracterização química do solo (tabela 3). Em seguida o solo foi seco ao ar, passado em peneira de 4,0 mm de malha e distribuído em vasos com capacidade de 4,0 dm³.

Tabela 3. Resultado da análise química do solo

pH (H ₂ O) (1:2,5)	P mg dm ⁻³	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	H+Al	Al ³⁺
		-----cmolc dm ⁻³ -----					
5,05	0,34	0,09	0,6	1,6	0,16	2,48	0,1

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 6 x 2 com quatro repetições, sendo seis fontes de fósforo: Fosfato de Gafsa (FG), Superfosfato simples (SS), Cama de aviário + Fosfato de Gafsa (CA+FG), Esterco

bovino + Fosfato de Gafsa (EB+FG), Cama de aviário + Superfosfato simples (CA+SS), Esterco bovino + Superfosfato simples (EB+SS) e duas formas de aplicação: Incorporada (I) e em Superfície (S).

O cálculo das dosagens dos fertilizantes minerais solúveis foi realizado com base nos resultados da análise química de solo, na disponibilidade dos nutrientes contidos nos fertilizantes utilizados e na recomendação de adubação para o Estado Pernambuco (CAVALCANTI et al. 2008), aplicando-se em kg ha^{-1} : 90 de N, 80 de P_2O_5 e 80 de K_2O . As fontes nitrogênio e potássio utilizadas foram uréia e cloreto de potássio, respectivamente. A adição dos tratamentos (biofertilizantes fosfatados, superfosfato simples e fosfato de Gafsa) foi realizada no momento da semeadura. A adubação potássica foi realizada de forma parcelada, adicionando 50% na semeadura e 50% 20 dias após a semeadura (DAS). A adubação nitrogenada foi realizada em cobertura e parcelada em duas vezes, aos 20 e 30 DAS.

A semeadura foi realizada no dia 04 de setembro de 2012. A cultivar utilizada foi o híbrido Biomatrix 3061, foram colocadas quatro sementes por vaso. Aos 15 DAS realizou-se o desbaste das plântulas menos vigorosas, deixando-se apenas uma planta por cova (figura 2). Aos 20 DAS procedeu-se a primeira adubação de cobertura. A segunda adubação de cobertura foi realizada aos 30 DAS.



Figura 2. Crescimento inicial de plantas de milho (15 DAS).

O suprimento de água foi realizado manualmente, sendo as plantas irrigadas duas vezes ao dia, com água destilada, respeitando a capacidade de campo do solo. As plantas foram coletadas aos 45 DAS, a parte aérea foi cortada rente ao solo, todo o solo do vaso foi colocado em uma bandeja, onde as raízes foram separadas e coletadas as amostras de solo para realização das análises químicas. As raízes foram lavadas, secas em papel toalha e acondicionadas em sacos de papel Kraft previamente identificados e secos em estufa de circulação de ar forçada à 65-70°C até peso constante, juntamente com a parte aérea.

2.3. Análise química de solo

A caracterização química do solo foi realizada de acordo com Embrapa (2009). As análises químicas analisadas foram: pH, fósforo (P), sódio (Na^+), potássio (K^+), alumínio (Al^{3+}) e acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$).

O pH foi determinado em água (1:2,5). O P, Na^+ e K^+ foram extraído Mehlich 1 (HCl 0,05 mol L^{-1} + H_2SO_4 0,0125 mol L^{-1}), sendo o P determinado por colorimetria (comprimento de onda 725 mm) e Na^+ e K^+ por fotometria de chama. O Al^{3+} foi extraído com solução de KCl 1 mol L^{-1} e a $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ com $\text{CH}_3\text{COO}_2\text{Ca}$ 0,5 mol L^{-1} , sendo determinados por titulometria com solução de NaOH 0,025 mol L^{-1} .

2.4. Análise química da planta

Após a secagem do material vegetal a parte aérea foi moída em moinho de café (modelo). Para realização das análises químicas o material passou pelo processo de digestão úmida com aquecimento por micro-ondas (marca CEM Mars-Xpress). Utilizou-se 200 mg do material vegetal e em seguida as amostras foram colocadas em tubos de teflon PFA (perfluoro alquóxi etileno). As amostras foram digeridas com a mistura de 5 mL de ácido nítrico (70%) e 3 mL de peróxido de hidrogênio (30%), seguindo uma programação de aquecimento proposta por Almeida (2007). Posteriormente a digestão, as amostras foram aferidas com água destilada em um balão volumétrico de 25 mL.

Em seguida determinaram-se os teores de fósforo (P), sódio (Na^+) e potássio (K^+). O fósforo foi determinado por colorimetria, no comprimento de onda de 725 nm, o sódio e potássio quantificados por fotometria de chama (Embrapa, 2009).

2.5. Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância, sendo as médias dos dados separadas pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade. As análises foram realizadas pelo programa computacional, Sistema para Análise de Variância – SISVAR (FERREIRA, 2000).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de P no solo após o cultivo encontram-se na figura 3. A análise de variância mostrou que os teores de P no solo não apresentaram interação significativa, mostrando diferença estatística apenas com relação às fontes aplicadas. Todas as fontes utilizadas proporcionaram incrementos no teor do P disponível no solo, em relação ao teor inicial (tabela 3). As fontes CA+SS e EB+SS apresentaram os maiores teores de P no solo, 44,12 e 42,73 mg kg^{-1} , respectivamente. No solo adubado com SS o teor de P disponível no solo foi de 35,15 mg kg^{-1} . As fontes de P com FG em sua composição: CA+FG (25,21 mg kg^{-1}) e EB+FG (17,89 mg kg^{-1}) apresentaram teores inferiores, verificando o menor teor na fonte com apenas FG (8,42 mg kg^{-1}).

Em trabalho avaliando três tipos de resíduos orgânicos (leguminosa, gramínea e esterco bovino) na solubilização de três fontes de fosfato natural (Gafsa, Araxá e Yorin), Souza et al. (2007), verificaram que o teor de P disponibilizado independem do tipo resíduo utilizado, observando a máxima liberação de P entre os 30 e 50 dias de incubação. Oliveira et al. (2008a), não verificaram diferença estatística na disponibilização de P no solo entre a aplicação de fosfato natural isolado ou em associação com esterco bovino. O que reforça a importância da compostagem para disponibilização de P.

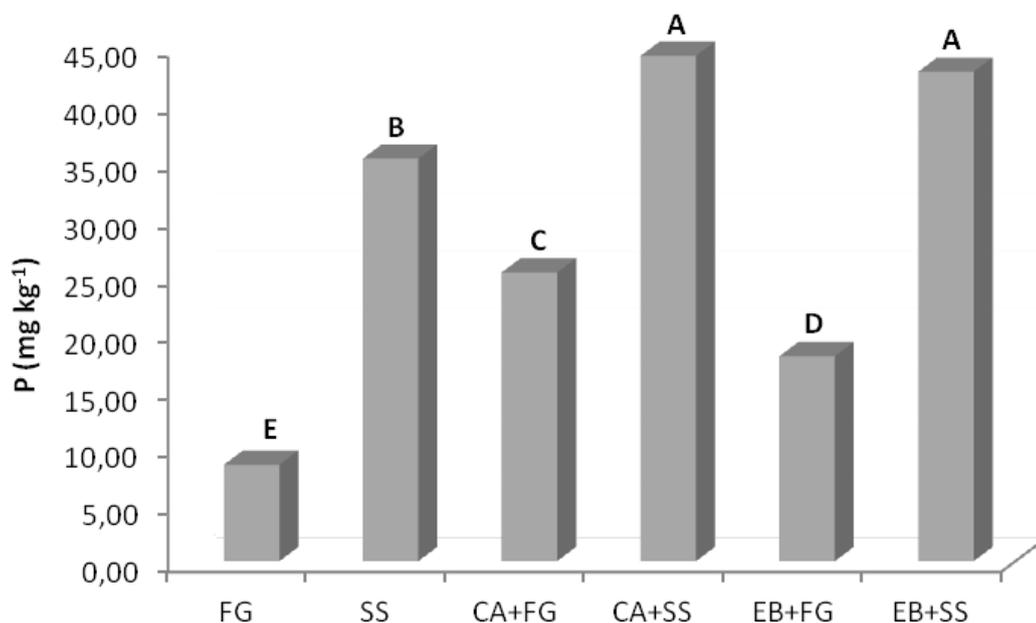


Figura 3. Teor de P (mg kg^{-1}) encontrado nas amostras de Neossolo Regolítico, adubado com diferentes fontes de P em cultivo de milho. FG = Fosfato de Gafsa; SS = Superfosfato Simples; CA+FG = Cama de Aviário + Fosfato de Gafsa; CA+SS = Cama de aviário + Superfosfato Simples; EB+FG = Esterco Bovino + Fosfato de Gafsa; EB+SS = Esterco bovino + Superfosfato Simples. Médias seguidas da mesma letra, não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5%.

Na tabela 4, encontram-se as médias dos teores de potássio (K), sódio (Na), acidez potencial (H+Al), alumínio (Al) e o valor de pH, verificados no solo aos 45 DAS em função da forma de aplicação e das fontes de P fornecidas. As fontes FG, SS, CA+SS e EB+SS proporcionaram maiores teores de K^+ em relação aos resíduos compostos por CA+FG e EB+FG, na aplicação incorporada. As fontes aplicadas em superfície não apresentaram diferença estatística significativa. Com relação às formas de aplicação, os compostos CA+FG e EB+FG na aplicação incorporada apresentaram teores de K inferiores a aplicação em superfície.

Araújo et al. (2008b), observaram que a aplicação de lodo associada a fosforita proporcionou teores de K inferiores a testemunha, exceto na maior dose de lodo utilizada. Vieira et al. (2011), verificaram que os teores de K disponíveis no solo aumentaram com as doses do lodo, tendo sido significativamente superiores aos do tratamento NPK. Oliveira et al. (2008b), avaliando as alterações químicas do solo promovidas pela aplicação combinações entre fontes de fósforo (superfosfato simples e fosfato natural) e esterco bovino, verificaram que a adição de esterco bovino

proporcionou aumento no teor de K no solo, no entanto, a combinação entre fosfato natural e esterco bovino apresentou valores inferiores.

Tabela 4. Teores de K, Na, H+Al, Al e valor de pH, verificados no solo após cultivo de milho sob influência da adubação com diferentes fontes de fósforo.

Fontes de P	K ⁺		Na ⁺		H+Al		Al ³⁺		pH (H ₂ O) (1:2,5)	
	I	S	I	S	I	S	I	S	I	S
FG	0,24 A a	0,29 A a	0,23 A a	0,23 A a	1,24 A a	1,53 B a	0,10 A a	0,10 B a	5,86 A a	5,49 B b
SS	0,19 A a	0,23 A a	0,20 A a	0,19 A a	1,90 A a	1,57 B a	0,05 B b	0,10 B a	6,07 A a	5,87 A a
CA+FG	0,13 B b	0,26 A a	0,24 A a	0,25 A a	1,77 A a	1,28 B a	0,05 B b	0,10 B a	5,66 A b	6,17 A a
CA+SS	0,19 A a	0,22 A a	0,21 A a	0,20 A a	1,61 A b	2,19 A a	0,10 A b	0,15 A a	5,64 A a	5,49 B a
EB+FG	0,16 B b	0,25 A a	0,22 A a	0,23 A a	1,52 A a	1,81 A a	0,10 A b	0,13 A a	5,79 A a	5,65 B a
EB+SS	0,21 A a	0,25 A a	0,19 A a	0,20 A a	1,85 A a	1,81 A a	0,10 A a	0,11 B a	5,84 A a	5,58 B a
CV (%)	15,72		21,94		21,04		10,21		3,66	

FG = Fosfato de Gafsa; SS = Superfosfato Simples; CA+FG = Cama de Aviário + Fosfato de Gafsa; CA+SS = Cama de aviário + Superfosfato Simples; EB+FG = Esterco Bovino + Fosfato de Gafsa; EB+SS = Esterco bovino + Superfosfato Simples. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5%; CV (%) = coeficiente de variação.

Os valores de acidez potencial mostraram que qualquer uma das fontes de P utilizadas proporcionaram redução da H+Al. As fontes aplicadas de forma incorporada não apresentou diferença estatística significativa. Em superfície as fontes que apresentaram maiores reduções nos valores de H+Al foram FG, SS e CA+FG. Entre as formas de aplicação apenas as fonte CA+SS mostrou significância, onde proporcionou maior redução quando aplicada de forma incorporada.

Os valores de Al no solo apresentaram pouca diferença em relação ao teor inicial. Na aplicação incorporada as fontes FG, CA+SS, EB+FG e EB+SS mantiveram o teor inicial de Al no solo. No fornecimento em superfície a CA+SS e EB+FG proporcionaram um pequeno aumento nos teores de Al em relação ao inicial. Entre as formas de aplicação a adubação com SS, CA+FG, CA+SS, EB+FG de forma incorporada apresentaram teores de Al inferiores.

Todos os tratamentos proporcionaram aumento no valor de pH do solo. Os valores de pH mostraram interação significativa para as fontes aplicadas em superfície, onde as fontes SS e CA+FG apresentaram valores mais elevados em relação as outras fontes. Avaliando as formas de aplicação verifica-se que o valor de pH encontrado no solo adubado com CA+FG em superfície foi superior em relação a aplicação incorporada. Já

os valores encontrados no solo adubado com FG apresentou comportamento inverso. As demais fontes não apresentaram diferença estatística com relação às formas de aplicação.

A adição de matéria orgânica no solo pode proporcionar aumentos no pH do solo em virtude da atividade de microrganismos que promovem a descarboxilação de ânions orgânicos, além disso a geração de ácidos orgânicos provenientes da decomposição desses materiais podem complexar Al presente na solução do solo, formando compostos não tóxicos para as plantas (PAVINATO e ROSOLEM, 2008). Araújo et al. (2008a), avaliando a influência da aplicação de diversas fontes de matéria orgânica nos atributos químicos, verificaram aumento de pH e redução da acidez potencial em todas as fontes utilizadas. Silva et al. (2008), em estudo avaliando a aplicação de esterco líquido de bovinos, também encontraram aumento do pH e redução da H+Al no solo. No entanto, Costa et al. (2011), avaliando os atributos químicos do solo influenciado pelo sistema de plantio e fontes de adubação, verificaram que o pH não foi influenciado, mas houve redução na H+Al na aplicação de fonte orgânica e orgânica+mineral.

Para os teores de Na no solo a análise de variância não foi significativa pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

A produção de massa seca de raiz (MSR), obtida em função das fontes utilizadas e formas de aplicação pode ser observada na figura 4. O maior desenvolvimento de raiz na aplicação incorporada ocorreu no fornecimento dos resíduos que passaram pelo processo de compostagem, CA+FG (5,22 g planta⁻¹) e EB+FG (5,17 g planta⁻¹), seguidos pelos tratamentos EB+SS (4,04 g planta⁻¹), CA+SS (2,89 g planta⁻¹), FG (2,82 g planta⁻¹) e SS (1,56 g planta⁻¹). Em superfície as fontes que proporcionam melhores condições ao desenvolvimento das raízes foram os resíduos CA+SS (3,67 g planta⁻¹) e EB+SS (3,82 g planta⁻¹), seguidos CA+FG (1,70 g planta⁻¹), FG (0,67 g planta⁻¹), EB+FG (0,66 g planta⁻¹) e SS (0,43 g planta⁻¹). Em relação às formas de aplicação, apenas a CA+SS se sobressaiu em superfície, as demais fontes aplicadas de forma incorporada proporcionaram maior desenvolvimento de raízes.

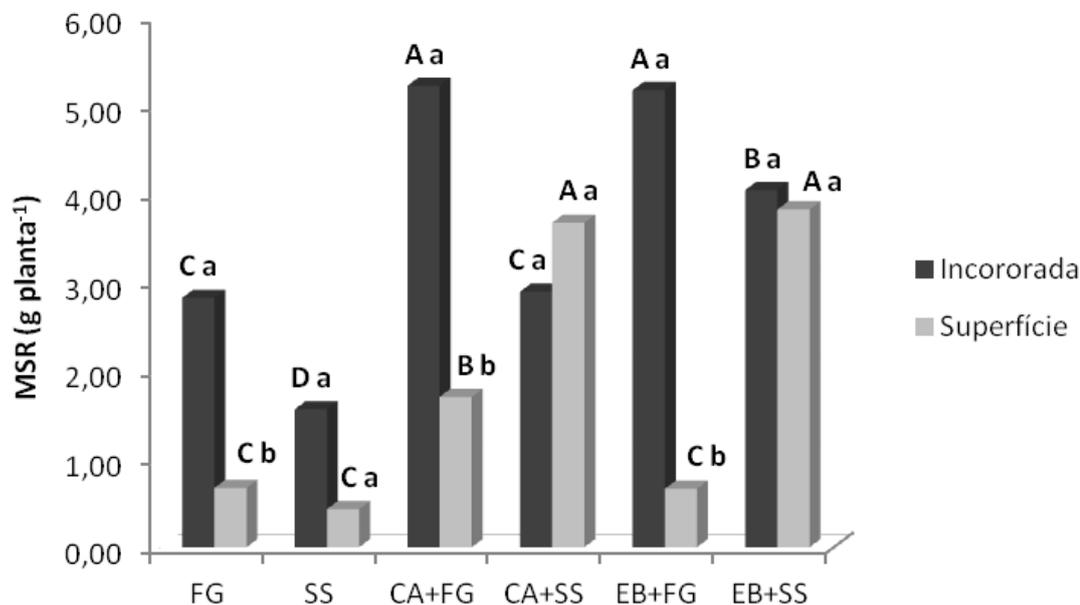


Figura 4. Produção de massa seca de raiz (MSR) das plantas de milho aos 45 DAS. FG = Fosfato de Gafsa; SS = Superfosfato Simples; CA+FG = Cama de Aviário + Fosfato de Gafsa; CA+SS = Cama de aviário + Superfosfato Simples; EB+FG = Esterco Bovino + Fosfato de Gafsa; EB+SS = Esterco bovino + Superfosfato Simples. Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre as fontes de fósforo e minúscula entre as formas de aplicação, não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5%.

Nas figuras 5 e 6 encontram-se as imagens das raízes de algumas plantas de milho.

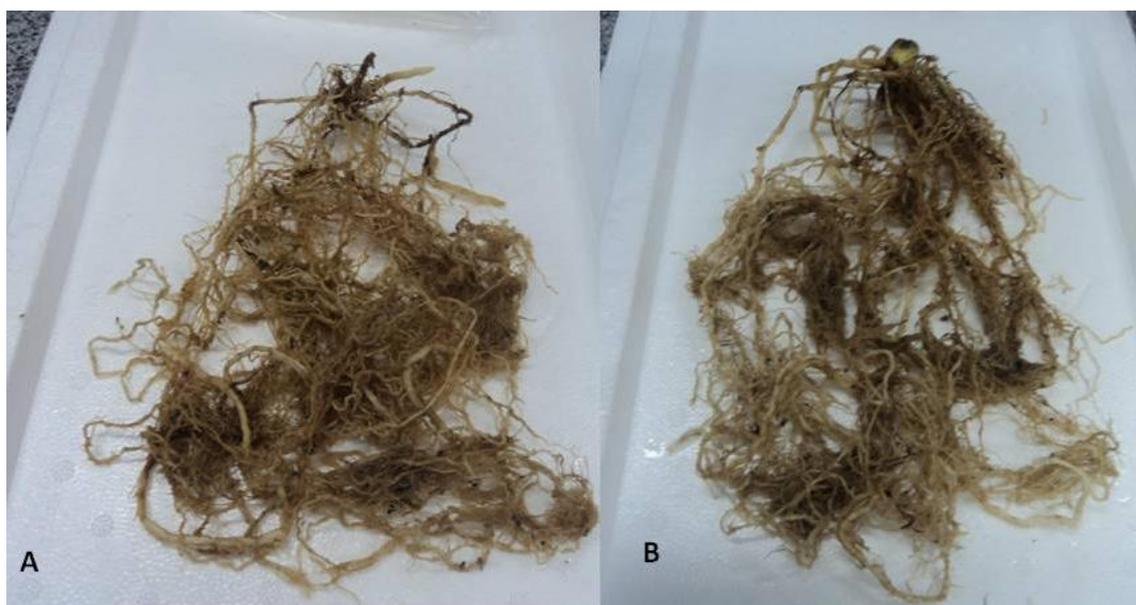


Figura 5. Raízes de plantas de milho aos 45DAS. A – produção de raiz proporcionada pela adição de SS de forma incorporada. B – produção de raiz proporcionada pela adição de EB+FG de forma incorporada.



Figura 6. Raízes de plantas de milho aos 45DAS. A – produção de raiz proporcionada pela adição de SS em superfície. B – produção de raiz proporcionada pela adição de EB+SS em superfície.

A MSPA apresentou o mesmo comportamento da MSR, revelando que a produção de MSPA foi proporcional ao desenvolvimento das raízes (figura 7). A adubação com EB+FG e CA+FG de forma incorporada proporcionaram as maiores produções de MSPA, 10,55 e 9,20 g planta⁻¹, respectivamente. A adição das fontes EB+SS, CA+SS, FG e SS de forma incorporada proporcionaram produções de massa seca inferiores, 6,44, 6,30, 5,56 e 4,71 g planta⁻¹, respectivamente e não diferiram estatisticamente entre si. Já na adubação em superfície as fontes que promoveram maiores produções de MSPA foram a CA+SS (8,10 g planta⁻¹) e EB+SS (7,66 g planta⁻¹). A produção de MSPA obtidas pela adição de FG (0,76 g planta⁻¹), SS (0,82 g planta⁻¹), CA+FG (2,00 g planta⁻¹) e EB+FG (0,70 g planta⁻¹), não apresentaram diferença estatística significativa.

O fornecimento das fontes fosfatadas em superfície apresentou baixíssimas produções de MSPA, exceto no uso das fontes EB+SS que foi superior, mas não apresentou diferença estatística significativa e a CA+SS que foi 28% superior a aplicação incorporada.

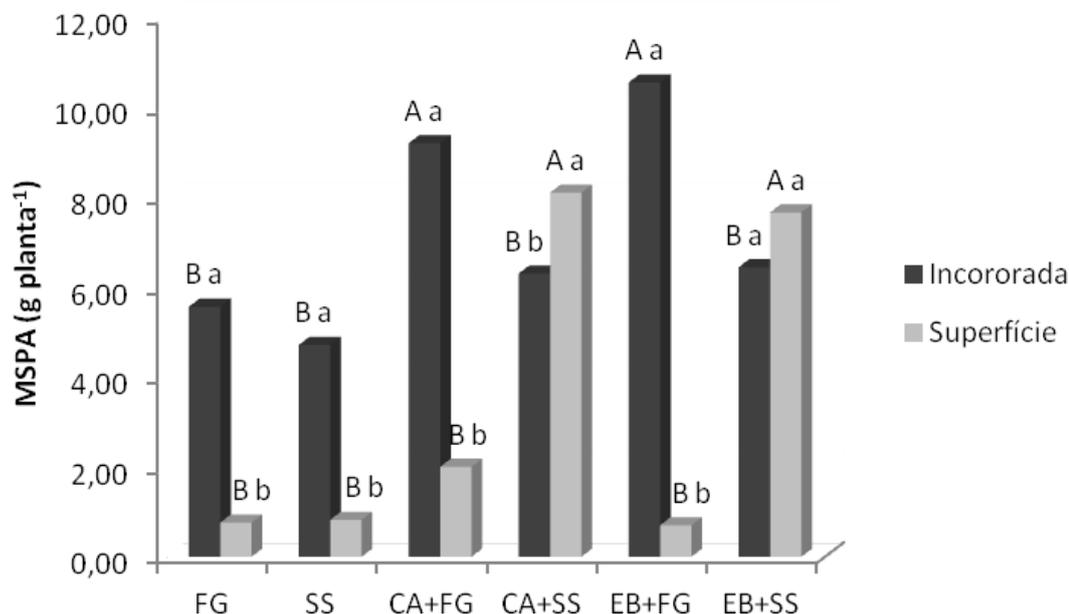


Figura 7. Produção de massa seca de parte aérea (MSPA) das plantas de milho aos 45 DAS. FG = Fosfato de Gafsa; SS = Superfosfato Simples; CA+FG = Cama de Aviário + Fosfato de Gafsa; CA+SS = Cama de aviário + Superfosfato Simples; EB+FG = Esterco Bovino + Fosfato de Gafsa; EB+SS = Esterco bovino + Superfosfato Simples. Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre as fontes de fósforo e minúscula entre as formas de aplicação, não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5%.

Zarabi et al. (2011), avaliando os efeitos da adubação química, orgânica e organomineral observou maiores rendimentos de grãos de milho, com aplicação fertilizante organomineral (bactérias solubilizadoras de fosfato e fungos micorrizas + 50% superfosfato triplo). Araújo e Santos Júnior (2009), verificaram que o biofertilizante (fosfato natural + enxofre + bactéria), proporcionou massa seca da parte aérea de plantas de milho semelhantes ao proporcionado pela adição do superfosfato simples. Kifuko et al. (2006), avaliando a compostagem de resíduos orgânicos junto ao fosfato natural e sua aplicação no milho durante três cultivos consecutivos, verificaram que o esterco de animais da fazenda + fosfato natural proporcionou maior produtividade de grãos de milho acumulada.

As menores produções de MSPA proporcionadas pela fonte FG pode ser atribuída além da sua baixa solubilidade a sua menor eficiência quando aplicado em superfície, como verificado por Corrêa et al. (2005), que avaliando a absorção de P e produção de massa seca verificaram maior eficiência com aplicação de fosfato de Gafsa de forma

incorporada. Araújo (2011), observou maiores rendimentos de milho sob aplicação incorporada de lodo natural e compostado associado à fosforita na dose correspondente a 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Tiritan et al. (2010), verificaram que a adubação organomineral apresentou eficiência equivalente ao superfosfato simples, em relação a produção de matéria seca de milho.

Nas figuras 9 e 10 é possível perceber visualmente as diferenças de produção de parte aérea proporcionadas pelas as diferentes fontes de fósforo fornecidas.

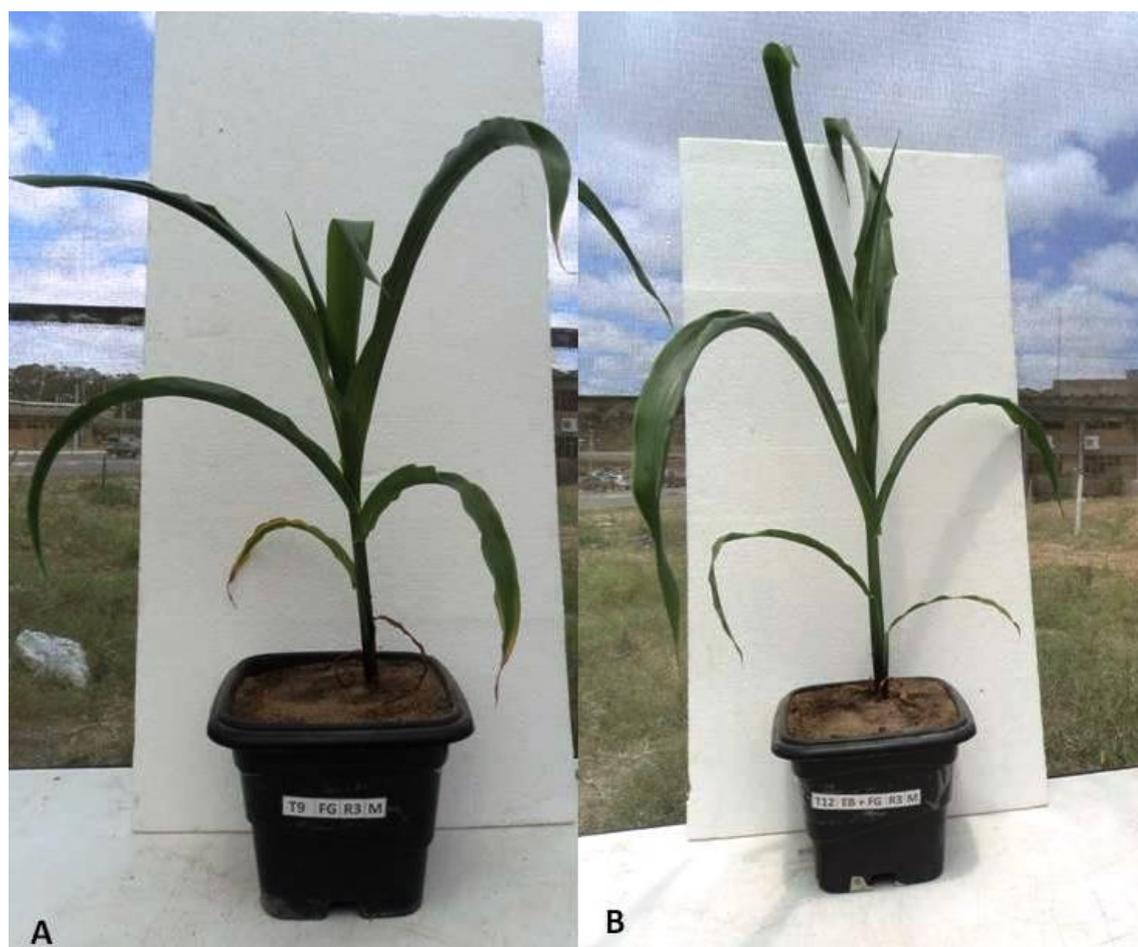


Figura 9. Plantas de milho aos 45DAS. A – parte aérea proporcionada pela adição de SS de forma incorporada. B - parte aérea proporcionada pela adição de EB+FG de forma incorporada.

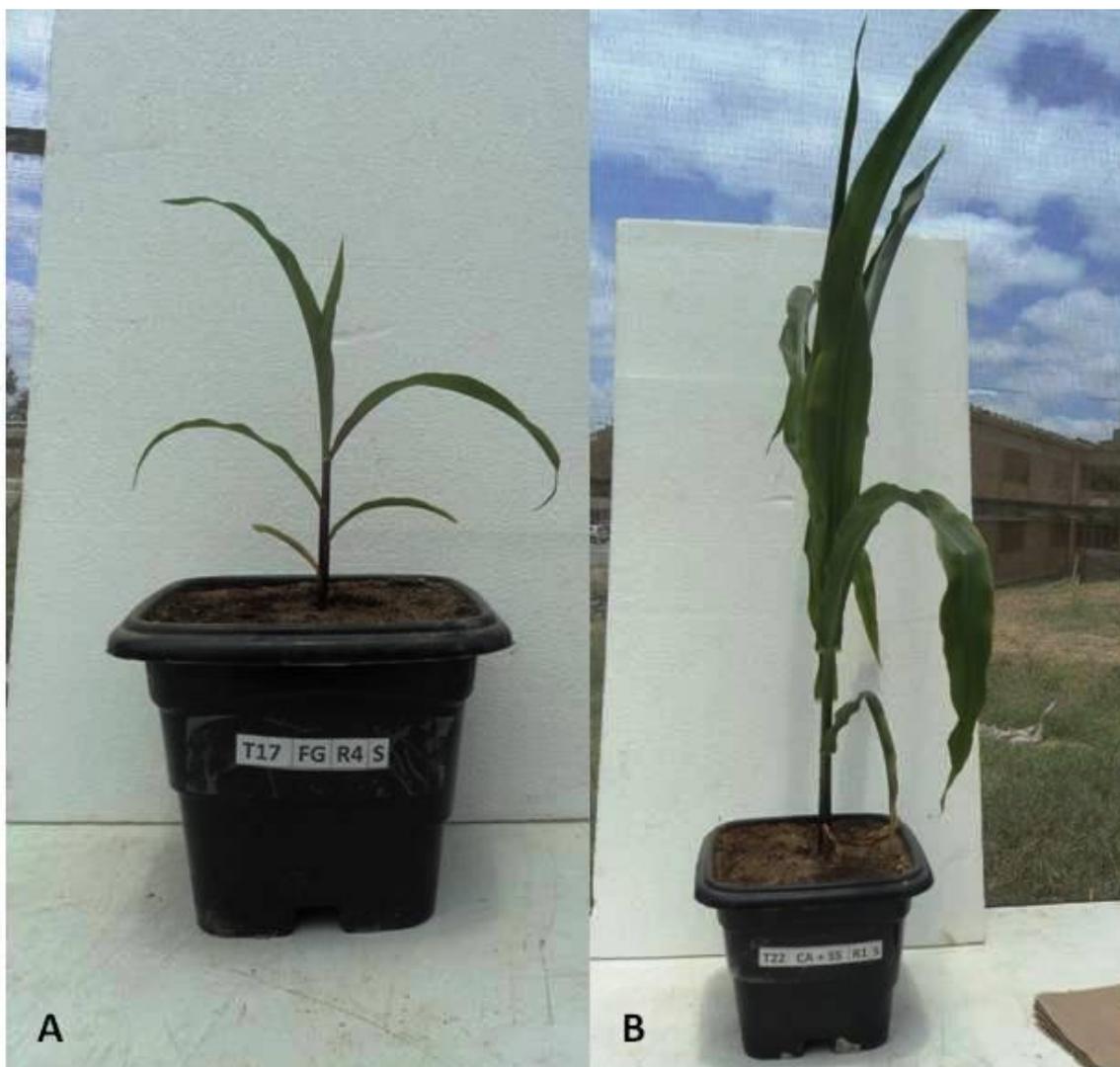


Figura 10. Plantas de milho aos 45DAS. A – parte aérea proporcionada pela adição de Fosfato de Gafsa em superfície. B - parte aérea proporcionada pela adição de Cama de Aviário + Superfosfato Simples em superfície.

O teor e o conteúdo de P e K, encontrados na parte aérea estão apresentados na tabela 5. Diferentemente do que ocorreu no solo, a concentração de P na planta foi influenciada pela interação fontes de P x formas de aplicação. Os maiores teores de P na planta correspondem às fontes CA+SS, EB+SS e SS, nas duas formas de aplicação. A partir desses resultados é possível inferir que a aplicação de fontes mais solúveis de P proporcionam melhor nutrição a planta. Esses resultados corroboram com os obtidos por Harger et al.(2007), que atribuem este efeito à maior velocidade de liberação do nutriente pelo fosfato solúvel, minimizando o efeito da competição solo/planta. Em relação as formas de aplicação apenas o SS proporcionou teor de P na planta

significativamente superior em superfície. As demais fontes proporcionaram teores superiores quando aplicados de forma incorporada ou foram indiferentes as formas de aplicação. Esses teores encontram-se acima dos níveis adequados recomendados por Malavolta (2006), que relata os níveis adequados para a cultura do milho na faixa entre 2,5 e 4,0 g kg⁻¹.

Em relação aos conteúdos de P acumulados na parte aérea da planta, observa-se na aplicação incorporada um maior acúmulo nas plantas que foram cultivadas com resíduos orgânicos (CA+FG, CA+SS, EB+FG e EB+SS). Já na aplicação em superfície o maior acúmulo verificou-se apenas pelo uso das fontes CA+SS e EB+SS, que não apresentaram diferença estatística significativa entre as formas de aplicação. Para as demais fontes a aplicação incorporada mostrou-se muito superior em relação a aplicação em superfície.

Tabela 5. Teores e conteúdos de P e K na parte aérea de plantas de milho aos 45 DAS, sob influência da adubação com diferentes fontes fosfatadas.

Fontes de P	Teores (g k ⁻¹)								Conteúdo (mg planta ⁻¹)							
	P				K				P				K			
	I		S		I		S		I		S		I		S	
FG	2,73	B a	2,03	B a	14,91	A a	14,91	B a	15,16	B a	1,55	B b	82,88	D a	11,37	B b
SS	5,08	A b	6,17	A a	14,91	A a	14,91	B a	23,33	B a	4,84	B b	69,32	D a	12,11	B b
CA+FG	3,89	B a	1,82	B b	15,83	A a	16,13	B a	35,96	A a	3,61	B b	144,88	B a	32,39	B b
CA+SS	5,45	A a	4,12	A b	16,13	A a	14,91	B a	33,79	A a	34,08	A a	100,72	C a	119,38	A a
EB+FG	3,55	B a	2,69	B a	15,82	A a	16,13	A a	37,92	A a	1,88	B b	173,33	A a	11,06	B b
EB+SS	4,96	A a	5,20	A a	15,82	A a	16,75	A a	31,94	A a	39,33	A a	105,52	C a	120,50	A a
CV (%)	18,11				5,96				27,33				18,85			

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5%; CV (%) = coeficiente de variação.

Os baixos teores residuais de P encontrados nos solos adubados com EB+FG e CA+FG, são justificados pela alta produção de MSPA e conseqüente acúmulo de P na planta, quando aplicado de forma incorporada. O que sugere que houve uma alta disponibilização de P no solo, já que inicialmente os teores desses biofertilizantes eram inferiores aos resíduos orgânicos (CA e EB). Branco et al. (2001), afirmam que a solubilização do fosfato é limitada, ocorrendo uma alta taxa no início do processo quando a matéria orgânica e rocha fosfática são fornecidas em abundância, decaindo à medida que a concentração do material solubilizado aumenta, até estacionar, retomando

o processo apenas quando o adubo for aplicado o solo. Tendo em vista os resultados obtidos neste trabalho, é possível inferir que os biofertilizantes ao serem adicionados ao solo reiniciaram o processo de solubilização do FG.

Os teores de K na planta apresentaram diferença significativa apenas entre as fontes aplicadas em superfície, onde as fontes contendo esterco bovino proporcionaram maior teor de K nas plantas. Já o conteúdo acumulado nas plantas apresentou interação significativa, com maior acúmulo proporcionado pelo EB+FG na aplicação incorporada e CA+SS em superfície. Os teores de K encontrados nesse estudo encontram-se abaixo dos valores de referência (17-30 g kg⁻¹) recomendados por Malavolta (2006).

Sangoi et al. (2009), afirmam que a aplicação de doses de KCl superiores a 80 kg ha⁻¹ de K₂O, no sulco de semeadura, feita nas profundidades de 5 cm (fertilizante) e 2,5 cm (semente) em relação ao nível do solo, pode reduzir a germinação e o crescimento inicial de plântulas de milho. Rodrigues et al. (2009), observaram incrementos no acúmulo de K na massa seca da parte aérea de milho com aumento das doses de composto orgânico. Simonete et al. (2003), verificaram altos teores e acúmulos de K em plantas de milho, no fornecimento de 200 kg ha⁻¹ de forma incorporada e alegam que é característica do K ser acumulado pelas plantas em quantidade acima do necessário (consumo de luxo), quando os níveis no solo são altos. Esses relatam ainda que a adição de K mineral associada ao lodo de esgoto promove incrementos no acúmulo de macronutrientes e a produção de matéria seca do milho.

4. CONCLUSÃO

1. A aplicação dos resíduos orgânicos em conjunto com o superfosfato simples proporcionaram maiores teores de P no solo após o cultivo.
2. O biofertilizante Esterco bovino + Fosfato de Gafsa (EB+FG) aplicado de forma incorporada ao solo proporcionou maior produção de massa seca de parte aérea das plantas de milho.
3. A Cama de aviário + superfosfato simples foi a fonte que proporcionou a maior produção de massa seca de parte aérea das plantas de milho, quando aplicado em superfície.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, E. L. Desenvolvimento de Feijão-de-Porco [*Canavalia ensiformis* (L.) D.C.] na presença de chumbo. Dissertação (Mestrado) Instituto Agrônomo - IAC (2007).
- ARAÚJO, L. C.; SANTOS, A. C. FERREIRA, E. M.; CUNHA, O. F. R. Fontes de matéria orgânica como alternativa na melhoria das características químicas do solo e produtividade do capim-mombaça. **R. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, v. 6, p. 65-72, 2008a.
- ARAÚJO, F. F.; TIRITAN, C. S.; PEREIRA, H. M.; JÚNIOR, O. C. Desenvolvimento do milho e fertilidade do solo após aplicação de lodo de curtume e fosforita. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.12, p.507–511, 2008b.
- ARAÚJO, F. F., & SANTOS JÚNIOR, J. D. Desenvolvimento e nutrição de milho em solo degradado biofertilizado com fosfato natural, enxofre e *Acidithiobacillus*. **Revista Caatinga**, v. 22, p. 98-103, 2009.
- ARAÚJO, F. F. Disponibilização de fósforo, correção do solo, teores foliares e rendimento de milho após a incorporação de fosfatos e lodo de curtume natural e compostado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, p. 355-360, 2011.
- BANGAR, K. C.; YADAV, K. S.; MISHRA, M. M. Transformation of rock phosphate during composting and the effect of humic acid. **Plant and soil**, v. 85, p. 259-266, 1985.
- BRANCO, S. M.; MURGEL, P. H.; CAVINATTO, V. M. Compostagem: solubilização biológica de rocha fosfática na produção de fertilizante organomineral. **R. Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 6, n. 3 e 4, 2001.
- CAVALCANTI, F. J. A. et al. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação.** 3ª Ed. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, 2008. 212 p.

- CORRÊA, R. M.; NASCIMENTO, C. W. A.; SOUZA, S. K. S.; FREIRE, F. J.; SILVA, G. B. Gafsa rock phosphate and triple superphosphate for dry matter production and p uptake by corn. **Sci. Agric.** v.62, n.2, p.159-164, 2005.
- COSTA, M. S. S. M.; PIVETTA, L. A.; STEINER, F.; COSTA, L. A. M.; CASTOLDI, G.; GOBBI, F. C. Atributos químicos do solo sob plantio direto afetado por sistemas de culturas e fontes de adubação. **R. Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, p. 579-587, 2011.
- EMBRAPA. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. Brasília DF: Embrapa. 2º Ed. 627p. 2009.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição Mineral de Plantas: princípios e perspectivas**. Tradução de Maria Edna Tenório Nunes. Londrina: Ed. Planta, 2006.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Food and Agricultural Commodities production**, Commodities by country, 2011. Disponível em: < http://faostat3.fao.org/home/index.html#VISUALIZE_TOP_20> Acesso em: 08 de fevereiro de 2013.
- FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows versão 4.0 In: REUNIÃO ANUAL BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.
- GOMES, E. A.; SOUZA, F. A.; SYLVIA, M. S.; VASCONCELOS, M. J. V.; MARRIEL, I. E.; SILVA, U. C. **Prospecção de comunidades microbianas do solo ativas no aproveitamento agrícola de fontes de fósforo de baixa solubilidade**. Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 34 p.
- HARGER, N.; BRITO, O. R.; RALISCH, R.; ORTIZ, F. R.; WATANABE, T. S. Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 28, p. 39-44, 2007.
- KIFUKO, M. N.; OTHIENO, C. O.; OKALEBO, J. R.; KIMENYE, L. N.; NDUNG U, K. W.; KIPKOECH, A. K. Effect of combining organic residues with Minjingu phosphate rock on sorption and availability of phosphorus and maize production in acid soils of western Kenya. **Experimental Agriculture**, v. 43, p. 51-66, 2006.

- KORNDÖRFER, G. H.; MELO, S. P. Fontes de fósforo (fluida ou sólida) na produtividade agrícola e industrial da cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 92-97, 2009.
- LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p.1-64.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; BARROS, N. F. DE.; FONTE, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.
- OLIVEIRA, H. D. V. D.; BEZERRA NETO, F.; AZEVEDO, C. M. D. S. B.; LIMA, C. B.; GURGEL, G. C. S. Alteração nas características físico-química de um solo cultivado com pimentão, efluente de piscicultura, fosfato natural e esterco bovino. **Revista Caatinga**, v. 21, 2008a.
- OLIVEIRA, H. D. V. D.; BEZERRA NETO, F.; AZEVEDO, C. M. D. S. B.; LIMA, C. B. Alterações nos Teores de Cálcio, Magnésio e Potássio de um Argissolo Vermelho-Amarelo Irrigado com Efluente de Piscicultura, em Ambiente Protegido. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 1, p.231-240, 2008b.
- PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.911-920, 2008.
- PRADHAN, N.; SUKLA, L. B. Solubilization of inorganic phosphates by fungi isolated from agriculture soil. **African Journal of Biotechnology**, v. 5, p. 850-854, 2005.
- RODRIGUES, P. N., ROLIM, M. M., NETO, E. B., PEDROSA, E. M., & OLIVEIRA, V. S. Crescimento e composição mineral do milho em função da compactação do solo e da aplicação de composto orgânico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, 94-99, 2009.

- SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; BIANCHET, P.; VARGAS, V.P. & PICOLI, G.J. Efeito de doses de cloreto de potássio sobre a germinação e o crescimento inicial do milho, em solos com texturas contrastantes. *R. Bras. Milho Sorgo*, v. 8, p.187-197, 2009.
- SANTOS, J. C. B.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; CORRÊA, M. M.; RIBEIRO, M. R.; ALMEIDA, M. C.; BORGES, L. E. P. Caracterização de Neossolos Regolíticos da Região Semiárida do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p.683-695, 2012.
- SILVA, J. C. P. M.; MOTTA, A. C. V.; PAULETTI, V.; FAVARETTO, N.; BARCELLOS, M.; OLIVEIRA, A. S.; VELOSO, C. M.; SILVA, L. F. C. Esterco líquido de bovinos leiteiros combinado com adubação mineral sobre atributos químicos de um Latossolo Bruno. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 32, p. 2563-2572, 2008.
- SILVA, M. O.; STAMFORD, N. P.; AMORIM, L. B.; JUNIOR, A. B. A.; SILVA, M. O. Diferentes fontes de P no desenvolvimento do meloeiro e disponibilidade de fósforo no solo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 268-277, 2011.
- SIMONETE, M. A.; KIEHL, J. C.; ANDRADE, C. A. & TEIXEIRA, C. F. A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p.1187-1195, 2003.
- SOUZA, C. E. S., OLIVEIRA SILVA, M., DUDA, G. P., & MENDES, A. M. S. Solubilização de fósforo de fertilizantes fosfatados após tratamento com diferentes resíduos orgânicos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, 120-126, 2007.
- TIRITAN, C. S.; SANTOS, D. H.; BORDINI, R. A.; FOLONI, J. S. S.; ONISHI, R. Y. Produção de matéria seca de milho em função da adubação fosfatada mineral e organomineral. **Colloquium Agrariae**, v. 6, p. 01-07, 2010.
- VIEIRA, G. D. A.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V. Atributos do solo e crescimento do milho decorrentes da adição de lodo anaeróbico da estação de tratamento de efluentes da parboilização do arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 535-542, 2011.
- ZARABI, M., ALAHDADI, I., AKBARI, G. A., & AKBARI, G. A. (2011). A study on the effects of different biofertilizer combinations on yield, its components and

growth indices of corn (*Zea mays* L) under drought stress condition. **African Journal of Agricultural Research** v. 6, p. 681-685, 2011.

CAPÍTULO II

ATIVIDADE MICROBIANA EM NEOSSOLO REGOLÍTICO APÓS CULTIVO DE MILHO ADUBADO COM BIOFERTLIZANTES FOSFATADOS

RESUMO

São diversos os benefícios promovidos nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo pela matéria orgânica. Em virtude da crescente produção de resíduos orgânicos com aumento da população, setores industriais e agropecuários o reaproveitamento desses resíduos têm sido uma ótima alternativa em substituição aos fertilizantes minerais, ou sua utilização em conjunto. O presente trabalho teve por objetivo avaliar os indicadores biológicos de um Neossolo regolítico cultivado com milho após a aplicação de superfosfato simples, fosfato de Gafsa e biofertilizante fosfatado. O experimento foi conduzido em duas etapas. Na primeira etapa foi realizada a produção de biofertilizantes e na segunda etapa os biofertilizantes que apresentaram melhor solubilização de fósforo foram utilizados no cultivo de milho em vasos, em casa de vegetação. Os biofertilizantes: Cama de aviário + Fosfato de Gafsa (CA+FG) e Esterco bovino + Fosfato de Gafsa (EB+FG), foram produzidos em potes plásticos com capacidade de 1000 mL durante um período de 60 dias. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 6 x 2 com quatro repetições, sendo seis fontes de fósforo: Fosfato de Gafsa (FG), Superfosfato simples (SS), Cama de aviário + Fosfato de Gafsa (CA+FG), Esterco bovino + Fosfato de Gafsa (EB+FG), Cama de aviário + Superfosfato simples (CA+SS), Esterco bovino + Superfosfato simples (EB+SS) e duas formas de aplicação: Incorporada (I) e em Superfície (S). Os parâmetros avaliados foram: carbono da biomassa microbiana (C-CBM), carbono solúvel em água (CSA), respiração basal (C-CO₂), carbono orgânico total (COT), quociente metabólico, quociente microbiano e atividade enzimática de fosfatase. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo as médias dos dados separadas pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade. O EB+FG apresentou os maiores valores de C-CBM, COT e qMIC e menores valores de C-O₂, qCO₂, CSA, indicando alta estabilidade da atividade microbiana. A maior atividade da fosfatase alcalina foi verificada pelo tratamento EB+SS, enquanto que a maior atividade da fosfatase ácida foi verificada pelo tratamento com EB+FG.

Palavras-chave: Fosfato de Gafsa, biomassa microbiana, fosfatase.

ABSTRACT

There are several benefits promoted in the physical, chemical and biological soil organic matter. Due to the increasing production of organic wastes with increasing population, industrial and agricultural sectors to recycle these wastes have been a great alternative to replace mineral fertilizers, or their use in conjunction. The present study aimed to evaluate biological indicators of a Typic Regolithic cultivated with maize after application of superphosphate, phosphate and Gafsa phosphate biofertilizer. The experiment was conducted in two stages. The first step was performed in the production of bio-fertilizers and bio-fertilizers to the second stage showed better solubilization of phosphorus were used in growing corn in pots in the greenhouse. The biofertilizers: poultry manure + Gafsa Phosphate (CA + FG) and bovine manure + Gafsa phosphate (EB + FG), were produced in plastic pots with capacity of 1000 mL over a period of 60 days. The experimental design was completely randomized in a 6 x 2 factorial design with four replications and six sources of phosphorus: Gafsa Phosphate (FG), single superphosphate (SS), poultry manure + Gafsa Phosphate (CA + FG), bovine manure + Gafsa phosphate (EB + FG), poultry manure + single superphosphate (CA + SS), bovine manure + single superphosphate (EB + SS) and two application forms: Embedded (I) and surface (S). The parameters evaluated were: microbial biomass carbon (C-CBM), water soluble carbon (CSA), basal respiration (C-CO₂), total organic carbon (COT), metabolic quotient (qCO₂), microbial quotient (qMIC) and phosphatase enzyme activity. The results were submitted to analysis of variance and the averages of the data separated by the Scott-Knott test, at 5% probability. The EB + FG showed the highest values of C-CBM, COT and qMIC and lower values of C-CO₂, qCO₂, CSA, indicating high stability of microbial activity. The highest activity of alkaline phosphatase was observed by EB+SS treatment, while the highest acid phosphatase activity was measured by treatment with EB+FG.

Keywords: Phosphate Gafsa, microbial biomass, phosphatase.

1. INTRODUÇÃO

Devido a grande capacidade de adsorção de fósforo (P) da maioria dos solos tropicais e baixa disponibilidade deste às plantas, o P este tem sido um dos nutrientes mais limitantes a cultura do milho, acarretando em adubações exagradas desse nutriente ao solo (MALAVOLTA, 2006; LOPES e GUILHERME, 2007). No entanto, devido ao seu alto custo, a adubação fosfatada tem elevado o custo de produção, inviabilizando assim o sistema produtivo.

O fosfato natural é uma fonte de fósforo de menor custo, no entanto apresenta baixa solubilidade, o que o torna pouco atraente, principalmente quando se trata de culturas anuais (NOVAIS, et al., 2007). Uma das formas para facilitar a dissolução do fosfato natural é através da intensificação da atividade microbiana, que pode ser promovida pela adição de matéria orgânica (GOMES et al.,2010). O estímulo da atividade microbiana pela adição de matéria orgânica ao solo promove aumento na decomposição da matéria orgânica, com consequente disponibilização de nutrientes, agregação de partículas, aumento da capacidade de retenção de água no solo, estímulo da atividade enzimática (BELO et al., 2010).

São diversos os benefícios promovidos nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo pela matéria orgânica. Em virtude da crescente produção de resíduos orgânicos com aumento da população, setores industriais e agropecuários o reaproveitamento desses resíduos têm sido uma ótima alternativa em substituição aos fertilizantes minerais, ou sua utilização em conjunto (CARNEIRO et al., 2009; DAMATO JÚNIOR et al., 2011).

Os materiais orgânicos de diferentes características e as diferentes formas de aplicação podem apresentar efeitos diferenciados sobre a microbiota do solo, influenciando fortemente a utilização do carbono microbiano contido neste material (MELO et al., 2008; BALOTA et al., 2011). Os compostos mais lábeis contidos na matéria orgânica servem como fonte de energia para a biomassa microbiana, esta por sua vez representa a parte mais viva e ativa da matéria orgânica e tem sido relatada por diversos pesquisadores como um bom indicativo de qualidade do solo (ANDERSON e DOMSCH, 1993; SPARLING, 1992; SAID-PULLICINO e GIGLIOTTI, 2007;

FERRARESI et al., 2012). Além da biomassa microbiana, a avaliação de outros indicadores como a taxa respiratória, o carbono orgânico total e atividade enzimática são essenciais para verificar as alterações promovidas pela adição de resíduos orgânicos (SOUZA et al., 2009; VIEIRA et al., 2011)

Tendo em vista que a capacidade produtiva do solo não depende somente da fertilidade e o crescente interesse no uso desses materiais, diversas pesquisas têm sido realizadas no sentido de avaliar as alterações causadas no solo, buscando verificar forma mais adequada de manejo, a fim de obter melhores condições para o desenvolvimento das culturas, manter a sustentabilidade do solo e reaproveitar os resíduos adequadamente, evitando impactos negativos ao meio ambiente (BEZERRA et al., 2008; MELO et al., 2008; BUENO et al., 2011).

Avaliando a atividade microbiana em solos, influenciada por resíduos de algodão e torta de mamona, Capuani et al. (2012), verificaram aumento na atividade microbiana com a utilização dos resíduos de torta de mamona e têxtil de algodão e consequente aumento na taxa de mineralização. Silva et al. (2010a), observaram que os diferentes sistemas de manejo do solo influenciaram a biomassa e atividade microbiana, apresentando condições mais favoráveis para a microbiota do solo no Cerrado nativo, provavelmente por apresentar conteúdo de matéria orgânica mais estável.

Nesse contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar os indicadores biológicos de um Neossolo regolítico cultivado com milho após a aplicação de superfosfato simples, fosfato de Gafsa e biofertilizante fosfatado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em duas etapas. Na primeira etapa foi realizada a produção de biofertilizantes e na segunda etapa os biofertilizantes que apresentaram melhor solubilização de fósforo foram utilizados no cultivo de milho em vasos, em casa de vegetação.

2.1. Produção de biofertilizantes

A produção dos biofertilizantes fosfatados foi realizada nas dependências da Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG/UFRPE). A proporção utilizada foi de 3 (resíduo):1(fosfato de Gafsa), como recomendada por Bangar et al. (1985), que verificaram em experiências realizadas com compostos preparados a partir dessa proporção eficiência comparável à do superfosfato e muito superior à do composto não enriquecido. Além da proporção recomendada foram testados dois níveis abaixo e dois acima. Os resíduos orgânicos utilizados foram: esterco bovino e cama de aviário. Os volumes dos resíduos foram: 0; 200; 300; 400; 500 e 600 cm³. Em todos os resíduos foram adicionados 133,33 g de fosfato de Gafsa. A quantidade de água adicionada a cada tratamento foi correspondente à capacidade de campo de cada resíduo.

Os biofertilizantes: Cama de aviário + Fosfato de Gafsa (CA+FG) e Esterco bovino + Fosfato de Gafsa (EB+FG), foram produzidos em potes plásticos com capacidade de 1000 mL durante um período de 60 dias, tendo sua temperatura monitorada antes de cada revolvimento e sendo revolvidos semanalmente (figura1).



Figura 1. Processo de compostagem de resíduos orgânicos + fosfato de Gafsa.

Após o período de incubação os resíduos foram secos e moídos no moinho de bola. Em seguida, foi realizada a análise de fósforo solúvel em água apenas dos biofertilizantes fosfatados, segundo metodologia preconizada pela Embrapa (2009). A partir dos resultados (tabela 1), foram escolhidos os volumes de 500 e 600 cm³ de cada tipo de resíduo (EB+FG e CA+FG), que apresentaram maiores teores de fósforo para utilização na segunda etapa do experimento.

Tabela 1 – Teores de fósforo solúvel em água dos biofertilizantes fosfatados.

Compostos	Volume (cm ³)	P g kg ⁻¹
EB+FG	200	0,18
EB+FG	300	0,22
EB+FG	400	0,27
EB+FG	500	0,39
EB+FG	600	0,40
CA+FG	200	0,41
CA+FG	300	0,79
CA+FG	400	0,86
CA+FG	500	1,39
CA+FG	600	1,69

CA+FG = Cama de Aviário + Fosfato de Gafsa; EB+FG = Esterco Bovino + Fosfato de Gafsa.

Após a escolha dos volumes procedeu-se análise de fósforo inorgânico (Pi) de todos os resíduos orgânicos a serem utilizados na segunda fase do experimento, a fim de confirmar a análise fósforo solúvel em água. Para a extração de Pi utilizou-se 5 g de solo e 100 mL de bicarbonato de sódio a pH 8,5, após a agitação por 30 min em mesa agitadora o extrato foi deixado em repouso por igual período e filtrado em papel qualitativo. O Pi foi determinado através da clarificação do extrato com o carvão ativo purificado com HCl 6 mol. L⁻¹, NaOH 0,5 mol. L⁻¹ e água destilada, numa proporção de 1:1:10 L para 100 g de carvão e quantificado por colorimetria, segundo metodologia da EMBRAPA (2009). Para uma escolha mais precisa, os resultados apresentados na tabela 2 foram submetidos à análise de variância pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, com auxílio do programa computacional, Sistema para Análise de Variância – SISVAR (FERREIRA, 2000).

Tabela 2 - Teores de fósforo inorgânico encontrados nos resíduos utilizados no experimento

Fontes de P	Volume cm ³	P g kg ⁻¹
CA	0	7,00 a
CA+FG	500	2,68 b
CA+FG	600	2,87 b
EB	0	1,36 c
EB+FG	500	0,70 d
EB+FG	600	0,56 d
CV (%)		13,03

CA = Cama de Aviário; EB = Esterco Bovino; CA+FG = Cama de Aviário + Fosfato de Gafsa; EB+FG = Esterco Bovino + Fosfato de Gafsa. CV (%) = coeficiente de variação.

De acordo com os teores de Pi encontrados nos biofertilizantes fosfatados, optou-se pelo uso do biofertilizante com volume de 600 cm³ de resíduo orgânico + 133,33 g de FG.

2.2. Aplicação do biofertilizante na cultura do milho

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Garanhuns (UFRPE/UAG). O solo utilizado foi Neossolo Regolítico eutrófico típico (SANTOS et al., 2012), o mesmo foi coletado na camada de 0-20 cm no município de São João – PE, em área com vegetação natural. Inicialmente foi realizada a caracterização química do solo (tabela 3). Em seguida o solo foi seco ao ar, passado em peneira de 4,0 mm de malha e distribuído em vasos com capacidade de 4,0 dm³.

Tabela 3. Resultado da análise química do solo

pH (H ₂ O) (1:2,5)	P mg dm ⁻³	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	H+Al	Al ³⁺
		-----cmolc dm ⁻³ -----					
5,05	0,34	0,09	0,6	1,6	0,16	2,48	0,1

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 6 x 2 com quatro repetições, sendo seis fontes de fósforo: Fosfato de Gafsa (FG), Superfosfato simples (SS), Cama de aviário + Fosfato de Gafsa (CA+FG), Esterco

bovino + Fosfato de Gafsa (EB+FG), Cama de aviário + Superfosfato simples (CA+SS), Esterco bovino + Superfosfato simples (EB+SS) e duas formas de aplicação: Incorporada (I) e em Superfície (S).

O cálculo das dosagens dos fertilizantes minerais solúveis foi realizado com base nos resultados da análise química de solo, na disponibilidade dos nutrientes contidos nos fertilizantes utilizados e na recomendação de adubação para o Estado Pernambuco (CAVALCANTI et al. 2008), aplicando-se em kg ha^{-1} : 90 de N, 80 de P_2O_5 e 80 de K_2O . As fontes nitrogênio e potássio utilizadas foram uréia e cloreto de potássio, respectivamente. A adição dos tratamentos (biofertilizantes fosfatados, superfosfato simples e fosfato de Gafsa) foi realizada no momento da semeadura. A adubação potássica foi realizada de forma parcelada, adicionando 50% na semeadura e 50% 20 dias após a semeadura (DAS). A adubação nitrogenada foi realizada em cobertura e parcelada em duas vezes, aos 20 e 30 DAS.

A semeadura foi realizada no dia 04 de setembro de 2012. A cultivar utilizada foi o híbrido Biomatrix 3061, foram colocadas quatro sementes por vaso. Aos 15 DAS realizou-se o desbaste das plântulas menos vigorosas, deixando-se apenas uma planta por cova (figura 2). Aos 20 DAS procedeu-se a primeira adubação de cobertura. A segunda adubação de cobertura foi realizada aos 30 DAS.



Figura 2. Crescimento inicial de plantas de milho (15 DAS).

O suprimento de água foi realizado manualmente, sendo as plantas irrigadas duas vezes ao dia, com água destilada, respeitando a capacidade de campo do solo. As plantas foram coletadas aos 45 DAS, a parte aérea foi cortada rente ao solo, todo o solo do vaso foi colocado em uma bandeja, onde as raízes foram separadas e coletadas as amostras de solo para realização das análises bioquímicas. As amostras de solo para realização das análises enzimáticas foram congeladas imediatamente após a coleta.

2.3. Análises Bioquímicas

As variáveis analisadas foram: Carbono da biomassa microbiana (C-CBM), carbono orgânico total (COT), carbono solúvel em água (CSA), respiração basal (C-CO₂), quociente metabólico (qCO₂), quociente microbiano (qMIC), atividade da fosfatase (ácida e alcalina).

O carbono da biomassa microbiana do solo (C-CBM) foi determinado pelo método irradiação-extração, utilizando na eliminação dos microrganismos um forno de microondas de acordo com a metodologia descrita por Mendonça e Matos (2005). Para quantificação do carbono da biomassa microbiana foi utilizada a metodologia desenvolvida por Bartlett e Ross (1988), utilizando permanganato de potássio como agente oxidante e leitura das amostras em espectrofotômetro.

O Carbono orgânico total (COT) foi determinado por oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio na presença de ácido sulfúrico concentrado (Walkley-Black) e titulação com sulfato ferroso amoniacal, como descrito por Mendonça e Matos (2005).

Para determinar o carbono solúvel em água (CSA) utilizou-se uma amostra de 10 g de solo de cada tratamento em 20 mL de H₂O, agitando-se em seguida a suspensão por 10 min em agitador horizontal, centrifugada a 1500 g por 10min e, posteriormente, filtrada em papel de filtro quantitativo. A determinação do carbono foi feita por colorimetria (BARTLETT e ROSS, 1988).

A respiração basal (C-CO₂) foi obtida pelo método da respirometria (evolução de CO₂), que consiste na captura de C-CO₂, emitido em uma amostra de solo, em solução de NaOH e sua dosagem por titulação como descrito por Mendonça e Matos (2005). A partir dos dados obtidos foram calculados os índices: quociente metabólico (qCO₂), determinado pela razão C-CO₂ liberado / biomassa microbiana (ANDERSON e

DOMSCH, 1993) e o quociente microbiano ($qMIC$), determinado pela expressão $(CBM/COT)/10$ (SPARLING, 1992).

As atividades das fosfatases (ácida e alcalina) foram determinadas por espectrofotometria, quantificando o p-nitrofenol liberado após incubação de 1,0 g de solo em 0,2 mL de tolueno, 4 mL de tampão universal modificado (MUB) e 1 mL de solução de p-nitrofenil fosfato (0,025 M), a 37°C, por 1 h, em seguida as amostras foram filtradas, e leitura realizada em espectrofotometro (400 nm), de acordo com o protocolo proposto por Tabatabai e Bremner (1969); Eivazi e Tabatabai, 1977 e Tabatabai (1982).

2.4. Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância, sendo as médias dos dados separadas pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade. As análises foram realizadas pelo programa computacional, Sistema para Análise de Variância – SISVAR (FERREIRA, 2000).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das variáveis: carbono da biomassa microbiana (C-CBM), respiração basal (C-CO₂), carbono orgânico total (COT), carbono solúvel em água (CSA), quociente metabólico (qCO_2) e quociente microbiano ($qMIC$) estão apresentados na tabela 4, comparando as fontes de P e as formas de aplicação, incorporada e em superfície. Houve interação significativa entre as fontes de P e formas de aplicação do adubo fosfatado para todas as variáveis analisadas. Essa interação evidencia um comportamento diferenciado das fontes de P dentro de cada forma de aplicação estudada.

Os teores de C-CBM variaram entre 92,59 a 433,15 μg de C g^{-1} solo. Tanto na aplicação de forma incorporada quanto em superfície os maiores teores de C-CBM foram verificados quando utilizado o EB+FG. Os valores de C-CBM expressam o

potencial de reserva, permitindo inferir sobre a perda ou acúmulo de C no solo, exercendo uma função catalizadora, onde o aumento do C-CBM diminui o potencial de decomposição da matéria orgânica (GAMA-RODRIGUES e GAMA-RODRIGUES, 2008). Portanto, o fornecimento inadequado de nutrientes pode ocasionar a diminuição do carbono da biomassa microbiana e como consequência originar uma competição entre plantas e microrganismos, fazendo com que a biomassa microbiana passe a atuar como dreno (RAMOS et al., 2010; DELBEM et al., 2011; VILELA et al., 2012). Nesse contexto, pode-se inferir que o resíduo orgânico EB+FG encontra-se num grau de maturação mais estável que outras fontes testadas, o que proporcionou um alto teor de C-CBM.

Tendo em vista a grande diversidade de microrganismos existente, principalmente naqueles solos onde há um maior aporte de matéria orgânica, o substrato orgânico pode se tornar um fator estressante, o que pode limitar a atividade microbiana (STAMFORD et al. 2005). Isso pode explicar o fato das fontes de SS de forma incorporada e FG em superfície apresentarem valores de C-CBM mais altos em relação às demais fontes de P acrescidas de resíduos orgânicos, exceto o EB+FG.

No comparativo entre as formas de aplicação, a maioria das fontes testadas foram superiores na aplicação incorporada. Ferreira et al. (2007), afirmam que a mobilização do solo tende a elevar a biomassa microbiana, devido a incorporação de resíduos orgânicos, disponibilizando substrato orgânico com a quebra de agregados, porém trata-se de um efeito benéfico apenas em curto prazo. Em superfície, apenas o FG obteve maior teor de C-CBM. Oliveira Júnior et al. (2008a), avaliando a eficiência agrônômica de fosfato natural, verificaram que aplicação em superfície é mais eficiente. Motomiya et al. (2004); Franzini et al. (2009), também encontram resultados semelhantes com relação a forma de aplicação do fosfato natural.

Já na respiração basal (C-CO₂) o tratamento com FG apresentou uma maior liberação de CO₂ com relação às demais fontes, enquanto que EB+FG apresentou menor valor quando aplicados de forma incorporada. Não houve diferença estatística significativa entre os valores de C-CO₂ das fontes de P quando aplicadas em superfície. Menores perdas de CO₂ pela respiração é um indicativo de que a biomassa microbiana está em equilíbrio promovendo uma maior incorporação de C à biomassa microbiana (GAMA-RODRIGUES e GAMA-RODRIGUES, 2008).

Silva et al. (2010b), avaliando o efeito da aplicação de diferentes fontes de adubos orgânicos na emissão de CO₂, verificaram que a aplicação de esterco de bovino proporcionou menores perdas de CO₂, em relação a aplicação de esterco de aves. Os mesmos autores atribuíram este resultado a composição bioquímica dos compostos, onde o esterco bovino apresenta compostos mais recalcitrantes, enquanto o esterco de aves apresenta maior conteúdo de compostos de C lábil.

Tabela 4. Resultados da interação significativa dos indicadores biológicos de solo cultivado com milho submetido a diversas fontes de P formas aplicação.

Fontes de P	C-CBM µg g ⁻¹				C-CO ₂ mg kg ⁻¹ h ⁻¹				COT g kg ⁻¹			
	I		S		I		S		I		S	
FG	119,09	D b	185,98	B a	1,39	A a	0,83	A b	19,02	D b	32,66	A a
SS	215,97	B a	118,55	C b	0,83	B a	0,83	A a	23,24	C a	20,59	D a
CA+FG	167,62	C a	92,59	D b	1,01	B a	0,92	A a	32,08	B a	28,43	B b
CA+SS	157,30	C a	134,03	C a	0,92	B a	1,01	A a	22,1	C b	28,63	B a
EB+FG	433,15	A a	354,98	A b	0,74	B b	1,11	A a	34,53	A a	33,52	A a
EB+SS	157,30	C a	146,73	C a	0,97	B a	1,01	A a	30,53	B a	25,91	C b
CV (%)	10,29				19,68				7,42			
	CSA mg Kg ⁻¹				qCO ₂ mg CO ₂ CBM h ⁻¹				qMIC %			
	I		S		I		S		I		S	
FG	63,26	B b	81,94	A a	0,011	A a	0,004	C b	0,63	C a	0,57	B a
SS	77,81	A a	76,18	A a	0,004	C b	0,007	B a	0,93	B a	0,57	B b
CA+FG	52,82	C a	41,37	C a	0,006	B b	0,010	A a	0,52	D a	0,32	D b
CA+SS	84,65	A a	65,53	B b	0,006	B a	0,007	B a	0,72	C a	0,46	C b
EB+FG	51,33	C a	61,57	B a	0,001	D a	0,003	C a	1,25	A a	1,06	A b
EB+SS	67,64	B a	52,94	C b	0,006	B a	0,007	B a	0,51	D a	0,57	B a
CV (%)	14,45				21,31				10,29			

*C-CBM = Carbono da biomassa microbiana; C-CO₂ = Respiração basal; COT = Carbono orgânico total; CSA = Carbono solúvel em água; qCO₂ = quociente metabólico; qMIC = quociente microbiano.

**Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5%; CV (%) = coeficiente de variação.

Quando comparadas as formas de aplicação, o EB+FG de forma incorporada apresentou valor de C-CO₂ bem inferior à aplicação em superfície. Já o FG apresentou comportamento inverso, apresentando na aplicação incorporada um valor C-CO₂ 67% superior à aplicação em superfície. As demais fontes de P não apresentaram diferença estatística significativa entre as formas de aplicação.

Matias et al. (2009); Frazão et al. (2010), ao comparar os sistemas de manejo plantio direto e preparo convencional constatou que o plantio convencional proporcionou maior perda de CO₂ para atmosfera. Já Ferreira et al. (2010); Silva et al. (2010a), comparando sistemas de plantio convencional e direto, verificaram menor liberação de CO₂ em sistema de plantio convencional. Silva et al. (2010a), ainda, afirma que a C-CO₂ não é um bom indicativo para verificar os efeitos dos diferentes sistemas de manejo do solo.

O maior teor de carbono orgânico total (COT) foi detectado pelo uso do EB+FG na aplicação incorporada. Em superfície os maiores teores de COT foram observados pelo uso do EB+FG e FG. O menor conteúdo de COT na aplicação incorporada foi observado pelo uso do FG. Em superfície a fonte que apresentou o menor teor de COT foi o SS. Com relação às formas de aplicação o valor COT foi significativo para FG, CA+FG, CA+SS e EB+SS, onde o FG em superfície apresentou quase o dobro do teor de COT em relação à aplicação incorporada.

Diversos pesquisadores verificaram que a adição de resíduos orgânicos promoveu o aumento dos teores de COT no solo (PRAGANA et al., 2012; CUNHA et al., 2012; LEITE et al., 2010; SANTOS et al., 2009). Entretanto, o teor de COT pode variar de solos para solo, em função da qualidade do resíduo, influência de diversos fatores sobre a microbiota e taxa de decomposição (COSTA et al., 2009). Um dos fatores responsáveis pela diminuição do teor de COT nos solos pode ser o aumento do consumo de do carbono prontamente disponível pela biomassa microbiana (JAKELAITIS et al., 2008).

Os teores de carbono solúvel em água (CSA), variaram entre 51,33 e 84,65 mg kg⁻¹. As fontes de P que apresentaram a maior quantidade CSA foram CA+SS e SS na aplicação incorporada, seguidas de EB+SS, FG, CA+FG, EB+FG. Em superfície os maiores valores de CSA foram encontrados no FG e SS, seguidos da CA+SS, EB+FG, EB+SS, CA+FG. Entre as formas de aplicação a CA+SS e EB+SS aplicados de forma incorporada proporcionaram maiores teores de CSA do que em superfície, já o FG apresentou desempenho inverso.

Por se tratar de uma forma lábil, facilmente perdida, o carbono solúvel em água (CSA) reflete o estágio inicial de decomposição do resíduo orgânico adicionado ao solo (PORTUGAL et al., 2008). O seu teor tende a diminuir à medida que processo de

decomposição avança (SAID-PULLICINO et al., 2007), ou seja menores teores de CSA pode ser um indicativo de que a matéria orgânica do solo encontra-se mais estável.

Melo et al. (2008), avaliaram a composição de diversos resíduos orgânicos e verificaram maiores teores de CSA em resíduos oriundos de aves, chegando a conclusão que estes resíduos são menos estáveis do ponto vista bioquímico. Já, Oliveira Júnior et al. (2008b), verificaram que adição de P também promove um aumento nos teores de CSA. Partindo desse pressuposto é possível justificar o fato dos solos que receberam como fonte de P: CA+SS, SS e FG, terem apresentado os maiores valores de CSA, ou seja, estas fontes possivelmente apresentam-se instáveis ou menor grau de maturação.

Os resultados do qCO_2 , relação que expressa a quantidade de C- CO_2 produzido por unidade de C-CBM e por unidade de tempo, mostraram que EB+FG apresentou biomassa microbiana mais eficiente na utilização dos compostos orgânicos, nas duas formas de aplicação. Os maiores valores de quociente metabólico (qCO_2) na aplicação incorporada e em superfície foram 0,011 (FG) e 0,010 (CA+FG), respectivamente. Entre as formas de aplicação o FG incorporado apresentou um qCO_2 superior, enquanto que o SS e CA+FG em superfície obtiveram valores maiores. As demais fontes não apresentaram significância estatística em relação à forma de aplicação.

Valores de qCO_2 baixos indica que menos C foi perdido como CO_2 pela respiração e uma maior porção de C foi incorporada aos tecidos microbianos, sugerindo uma biomassa mais eficiente (VIEIRA et al., 2011). Maiores valores de qCO_2 sugere uma maior quantidade de microrganismos ativos em estágios iniciais de crescimento, ou ainda a população microbiana pode estar submetida a algum tipo de estresse, direcionando mais energia para a manutenção celular com consequente perda de C por respiração (MATIAS et al., 2009).

Bezerra et al. (2008), avaliando a atividade microbiana em solo cultivado com cana-de-açúcar submetido a doses de fósforo verificou que não houve diferença estatística significativa para os valores de qCO_2 com o incremento das doses de fósforo, o que sugere que o qCO_2 é influenciado apenas pela entrada de compostos orgânicos no solo. Vinhal-Freitas et al. (2010), avaliando a aplicação de resíduos domésticos, verificaram que o tratamento sem resíduo apresentou maiores valores de qCO_2 . Pinto et al. (2012), analisando aplicação de cama de peru sobre os atributos biológicos de solo sob pastejo

rotacionado, contataram a biomassa foi mais eficiente na menor dose fornecida (8,7 Mg ha⁻¹).

Analisando os resultados do quociente microbiano (qMIC), índice que fornece indicações sobre a acúmulo ou perda de C (Anderson e Domsch, 1989a), verifica-se que os maiores valores de qMIC foram obtidos na aplicação de EB+FG, tanto de forma incorporada quanto em superfície. Os menores valores de qMIC foram referentes ao CA+FG e EB+SS, na aplicação incorporada e CA+FG em superfície. Em relação às formas de aplicação, a incorporada foi superior à superfície ou não diferiu estatisticamente. Estes resultados de qMIC para EB+FG reafirmam o que foi observado para C-CBM em relação as fontes testadas.

Vieira et al. (2011), avaliando alguns atributos microbianos do solo após a adição de um lodo anaeróbio, verificaram que adição de lodo as diversas doses proporcionaram menores valores de qMIC em comparação ao tratamento de referência. Bueno et al. (2011), também encontraram resultados semelhantes com uso de lodo de esgoto, onde o tratamento sem adição do resíduo apresentou qMIC superior.

Resíduos orgânicos de baixa qualidade podem causar uma situação de estresse na comunidade microbiana e com isso conferir menores valores de qMIC devido a menor capacidade de utilização do carbono orgânico total (GAMA-RODRIGUES e GAMA-RODRIGUES, 2008).

A atividade da enzima fosfatase (ácida e alcalina) foi fortemente influenciada pelo uso das fontes de P e formas de aplicação. A atividade da fosfatase ácida variou entre 0,69 e 2,59 mg PNF g⁻¹ solo h⁻¹ (figura 3). Na aplicação incorporada o EB+FG apresentou a maior atividade e em superfície as maiores atividades foram verificadas nas fontes SS, CA+FG e EB+FG. Entre as formas de aplicação a maioria das fontes apresentou uma maior atividade quando aplicadas de forma incorporada, apenas a CA+FG foi significativamente menor em comparação à aplicação em superfície.

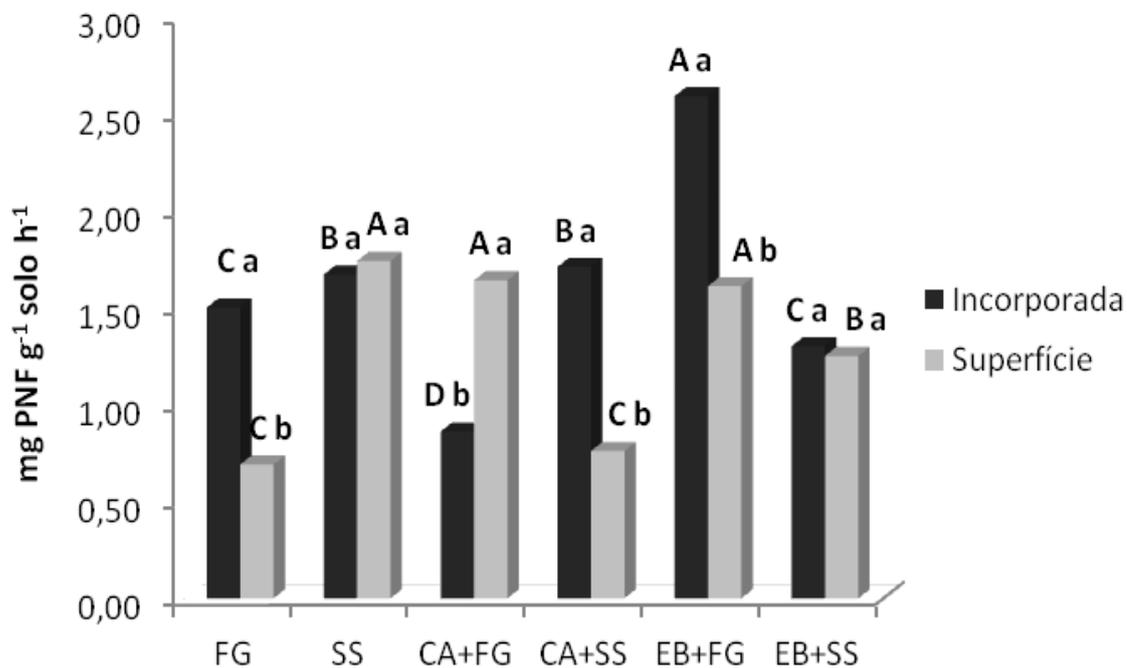


Figura 3. Atividade da enzima fosfatase ácida. FG = Fosfato de Gafsa; SS = Superfosfato Simples; CA+FG = Cama de Aviário + Fosfato de Gafsa; CA+SS = Cama de aviário + Superfosfato Simples; EB+FG = Esterco Bovino + Fosfato de Gafsa; EB+SS = Esterco bovino + Superfosfato Simples. Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre as fontes de fósforo e minúscula entre as formas de aplicação, não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5%.

A atividade da fosfatase alcalina foi superior a fosfatase ácida, variando entre 0,75 e 3,74 mg PNF g⁻¹ solo h⁻¹ (figura 4). Na aplicação incorporada todas as fontes diferiram estatisticamente entre si, seguindo a seguinte ordem EB+SS > CA+SS > EB+FG > CA+FG > SS > FG. Em superfície a maior atividade foi verificada no uso do FG, seguido das fontes EB+SS e SS > EB+FG > CA+FG e CA+SS.

Fosfatase Alcalina

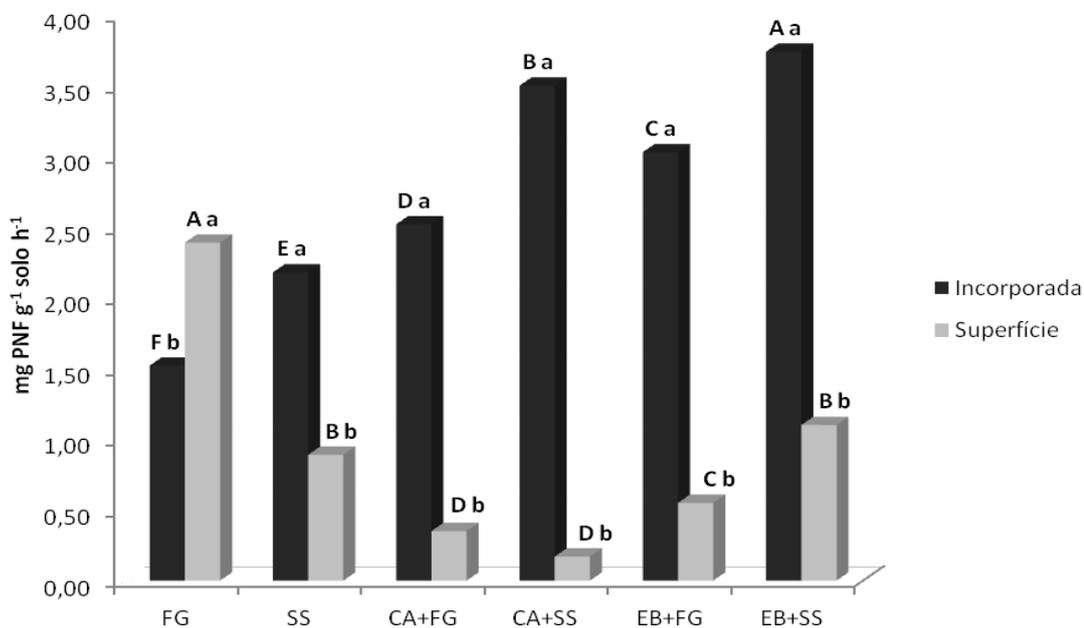


Figura 4. Atividade da enzima fosfatase alcalina. FG = Fosfato de Gafsa; SS = Superfosfato Simples; CA+FG = Cama de Aviário + Fosfato de Gafsa; CA+SS = Cama de aviário + Superfosfato Simples; EB+FG = Esterco Bovino + Fosfato de Gafsa; EB+SS = Esterco bovino +Superfosfato Simples. Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre as fontes de fósforo e minúscula entre as formas de aplicação, não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5%.

A enzima fosfatase compreende um grupo de enzimas que catalisam a hidrólise de ambos os ésteres e anidridos de H_3PO_4 (BALOTA et al.,2011). A atividade da fosfatase é de extrema importância na mineralização do P orgânico e, geralmente, sua atividade é favorecida em condições de baixa disponibilidade de P (Nannipieri et al., 1979). Diversos autores têm observado atividades mais altas de fosfatase ácida em solos com baixos teores de P disponível (Balota et al., 2011; Souza et al., 2009; Gatiboni et al., 2008).

Porém, Conte et al. (2002), não detectou diminuição da atividade da fosfatase ácida com o aumento da disponibilidade de P no solo. Os mesmo autores encontraram forte correlação entre a atividade da fosfatase ácida e o fósforo orgânico (Po), o que permite que o Po seja disponibilizado para as plantas pela atividade de fosfatase ácida, mesmo com altas adições de fertilizantes fosfatados ao solo. Souza et al. (2009), verificaram altas atividades da fosfatase ácida na presença do lodo, em todas as doses de

P. Os autores sugerem que a presença do Po no resíduo tenha proporcionado altas atividades, tendo em vista que os tratamentos com fertilizantes minerais nas maiores doses apresentaram atividades mais baixas. Já, Trannin et al. (2007), utilizando biossólido industrial cultivado de milho, observaram que a atividade da fosfatase ácida diminuiu com aumento da disponibilidade de P.

Portanto, é possível afirmar que a atividade da fosfatase é fortemente influenciada pela composição do resíduo orgânico e pela atividade microbiana dos solos. O fornecimento de substratos orgânicos com compostos de carbono prontamente disponíveis pode promover o aumento da atividade enzimática, logo a composição dos resíduos adicionados ao solo e o aproveitamento desses compostos pelos os microrganismos podem alterar a produção das enzimas, assim como a produção destas pelas raízes das plantas (BALOTA et al., 2011; VINHAL-FREITAS et al., 2010; KREMER e LI, 2003).

4. CONCLUSÃO

1. A atividade microbiana do solo, medida pela liberação de C-CBM, C-CO₂, qCO₂ e qMIC, mostraram que o biofertilizante EB+FG foi o composto que apresentou maior eficiência no uso de C do solo.
2. O modo de aplicação e as fontes de adubo fornecidas influenciaram a atividade enzimática da fosfatase no solo. A atividade da fosfatase alcalina foi fortemente influenciada pela incorporação de matéria orgânica, apresentando maior atividade enzimática nos tratamentos compostos por resíduos orgânicos, na seguinte ordem EB+SS > CA+SS > EB+FG > CA+FG.
3. O biofertilizante EB+FG apresentou maior atividade de fosfatase ácida, sugerindo que adição de compostos mais estáveis podem promover maior atividade dessa enzima.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, T.H. & DOMSCH, K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.21, p.:471-479, 1989.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environment conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.
- BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; TRUBER, P. V. Soil enzyme activities under pig slurry addition and different tillage systems. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, p. 729-737, 2011.
- BANGAR, K. C.; YADAV, K. S.; MISHRA, M. M. Transformation of rock phosphate during composting and the effect of humic acid. **Plant and soil**, v. 85, p. 259-266, 1985.
- BELO, E. S.; TERRA, F. D.; ROTTA, L. R.; VILELA, L. A.; PAULINO, H. B.; DE SOUSA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C. Decomposição de diferentes resíduos orgânicos e efeito na atividade microbiana em um Latossolo Vermelho de Cerrado. **Global science and technology**, v. 5, p. 107-116, 2012.
- BEZERRA, R. G. D.; SANTOS, T. M. C.; ALBUQUERQUE, L. S.; CAMPOS, V. B.; PRAZERES, S. S. Atividade microbiana em solo cultivado com cana-de-açúcar submetido a doses de fósforo. **Revista Verde**, v.3, p. 64-69, 2008.
- BUENO, J. R. P.; BERTON, R. S.; SILVEIRA, A. P. D; CHIBA, M. K.; ANDRADE, C. A.; MARIA, I. C. D. Chemical and microbiological attributes of an oxisol treated with successive applications of sewage sludge. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1461-1470, 2011.
- CAPUANI, S.; RIGON, J. P.; BELTRÃO, N. E. D. M.; BRITO NETO, J. F. Atividade microbiana em solos, influenciada por resíduos de algodão e torta de mamona. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 1269-1274, 2011.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. D.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. D. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes

- sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, v. 33, p. 147-157, 2009.
- CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. R. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.925-930, 2002.
- CAVALCANTI, F. J. A. et al. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação.** 3ª Ed. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, 2008. 212 p.
- COSTA, A. V.; CANTARUTTI, R. B.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M.; NACIF, P. GG. S.; FARIA, J. C. Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de tabuleiro costeiro no sul da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, P.1137-1145, 2009.
- CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p.56–63, 2012.
- DAMATO JÚNIOR, E. R.; GARCIA, V. A.; FUZITANI, E. J.; NOMURA, E. S.; MELO SILVA, F. A.; ALMOEDO CAMPOS, H. L. Produção de compostos orgânicos à base de resíduos gerados no Vale do Ribeira. *Pesquisa & Tecnologia*, v. 8, p. 1-7, 2011.
- DELBEM, F. C.; SCABORA, M. H.; SOARES FILHO, C. V.; HEINRICHS, R.; CROCIOLLI, C. A. & CASSIOLATO, A. M. R. Fontes de doses de adubação nitrogenada na atividade microbiana e fertilidade do solo cultivado com *Brachiaria brizantha*. *Acta Scientiarum Agronomy*, 33 (2): 361-367, 2011.
- EIVAZI, F. TABATABAI, M.A. Phosphatases in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, v.9, p.167-172, 1977.
- EMBRAPA. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes.** Brasília DF: Embrapa. 2º Ed. 627p. 2009.

- FERRARESI, T. M.; FERREIRA, E. P. B.; SILVA, W. T. L.; MARTIN-NETO, L. **Aplicação da espectroscopia no infravermelho próximo e médio na avaliação da biomassa microbiana do solo.** Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2012. 36 p.
- FERREIRA, E. A. B.; RESCK, D.V. S.; GOMES, A.C. & RAMOS, M. L. G. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.16625–1635, 2007.
- FERREIRA, E. P. B.; SANTOS, H. P.; COSTA, J. R.; DE-POLLI, H.; RUMJANEK, N. G. Microbial soil quality indicators under different crop rotations and tillage managements. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p.177-183, 2010.
- FRANZINI, V. I.; MURAOKA, T.; CORASPE-LEON, H. M.; MENDES, F. L. Eficiência de fosfato natural reativo aplicado em misturas com superfosfato triplo em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.9, p.1092-1099, 2009.
- FRAZÃO, L.A.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.J.; CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Inorganic nitrogen, microbial biomass and microbial activity of a sandy Brazilian Cerrado soil under different land uses. **Agric. Ecosys. Environ.**, 135:161-167, 2010.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa Microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Gênese, 2008. Cap. 11, p. 159-170.
- GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; BRUNETTO, G. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatases ácidas durante a diminuição do fósforo disponível no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1085-1091, 2008.
- GOMES, E. A.; SOUZA, F. A.; SYLVIA, M. S.; VASCONCELOS, M. J. V.; MARRIEL, I. E.; SILVA, U. C. **Prospecção de comunidades microbianas do solo ativas no aproveitamento agrícola de fontes de fósforo de baixa solubilidade.** Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 34 p.

- JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; SANTOS, J. B.; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, p. 118-127, 2008.
- JUNIOR, E. R. D; GARCIA, V. A.; FUZITANI, E. J.; NOMURA, E. S.; SILVA, F. A. M.; CAMPOS, H. L. A. Produção de compostos orgânicos à base de resíduos gerados no Vale do Ribeira. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 8, 2011.
- KREMER R.J. & LI, J. Developing weed-suppressive soils through improved soil quality management. **Soil & Tillage Research**, v.72, p.193-202, 2003.
- LEITE, L. F. C.; GALVÃO, S. R. S.; HOLANDA NETO, M. R.; ARAÚJO, F. S.; IWATA, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.1273–1280, 2010.
- LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p.1-64.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- MATIAS, M. C. B. S.; SALVIANO, A. A. C.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do Estado do Piauí. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, p. 517-521, 2009.
- MELO, L. C. A.; SILVA, C. A.; DIAS, B. O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.101-110, 2008.
- MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo; métodos de análises**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 107 p.
- MOTOMIYA, W. R.; FABRÍCIO, A.C.; MARCHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. C.; ROBAINA, A.D.; NOVELINO, J. O. Métodos de aplicação de fosfato na soja em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.307-312, 2004.

- NANNIPIERI, P.; PEDRAZZINI, F.; ARCARA, P.G.; PIOVANELLI, C. Changes in amino acids, enzyme activities, and biomass during soil microbial growth. **Soil Science**, v.127, p.26-34, 1979.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; BARROS, N. F. DE.; FONTE, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.
- OLIVEIRA JÚNIOR, A.; PROCHNOW, L. I.; KLEPKER, D. Eficiência agronômica de fosfato natural reativo na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.5, p.623-631, 2008a.
- OLIVEIRA JÚNIOR, A.; SILVA, C. A.; CURI, N.; LIMA, J. M.; RANGEL, O. J. P. Formas e quantidades de carbono em lixiviados de Latossolos vermelhos sob influência de calcário e fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 1261-1271, 2008b.
- PINTO, F. A.; SANTOS, F. L.; TERRA, F. D.; RIBEIRO, D. O.; SOUSA, R. R. J.; SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos de solo sob pastejo rotacionado em função da aplicação de cama de peru. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, p. 254-262, 2012.
- PORTUGAL, A. F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C. E. G. R.; WENDLING, B. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2091-2100, 2008.
- RAMOS, M. L. G.; CARVALHO, J. G.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q. FERRAZ, D. M. M.; CARVALHO, A. M.; AMÁBILE, R. F. Efeito de doses de nitrogênio via fertirrigação na dinâmica microbiana, em solo cultivado com trigo. **Bioscience Journal**, v.26, p. 376-383, 2010.
- PRAGANA, R. B.; NÓBREGA, R. S. A.; RIBEIRO, M. R.; LUSTOSA FILHO, J. F. Atributos biológicos e dinâmica da matéria orgânica em Latossolos amarelos na região do Cerrado piauiense sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 36, P.851-858, 2012.

- SAID-PULLICINO, D.; KAISER, K.; GUGGENBERGER, G.; GIGLIOTTI, G. Changes in the chemical composition of water-extractable organic matter during composting: Distribution between stable and labile organic matter pools. **Chemosphere**, v.66, p.2166–2176, 2007.
- SAID-PULLICINO, D.; GIGLIOTTI, G. Oxidative biodegradation of dissolved organic matter during composting. **Chemosphere**, v.68, p.1030–1040, 2007.
- SANTOS, J. C. B.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; CORRÊA, M. M.; RIBEIRO, M. R.; ALMEIDA, M. C.; BORGES, L. E. P. Caracterização de Neossolos Regolíticos da Região Semiárida do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p.683-695, 2012.
- SANTOS, J. A.; SANTOS, V. B.; ARAÚJO, A. S. F. Alterações na atividade microbiana e na matéria orgânica do solo após aplicação de lodo de esgoto. **Bioscience Journal**, v. 25, p. 17-23, 2009.
- SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N.; ALOVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das Vertentes – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p. 1585-1592, 2010a.
- SILVA, W. M.; CREMON, C.; MAPELI, N. C.; TIEPPO, R. C.; CARVALHO, J. M.; LONGO, L.; FERRI, M.; MAGALHÃES, W. A. Emissão de CO₂ e potencial de conservação de C em solo submetido à aplicação de diferentes adubos orgânicos. **Revista Agrarian**, v.3, p.34-43, 2010b.
- SOUZA, C. A.; REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C.; LEMAINSKI, J.; SILVA, J. E. Lodo de esgoto em atributos biológicos do solo e na nodulação e produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1319-1327, 2009.
- SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, v. 30, n.2 p. 195-207, 1992.
- STAMFORD, N. P.; STAMFORD, T. L. M. ANDRADE, D. E. G. T. & MICHEREFF, S. J. Microbiota dos solos tropicais. In: MICHEREFF, S. J.; ANDRADE, D. E. G. T.

- & MENEZES, M. (Eds). **Ecologia e Manejo de patógenos radiculares em solo tropicais**. Recife: UFRPE, 2005. 399 p.
- TABATABAI, M.A. Soils enzyme. In: PAGE, A.L.; MILEER, R.H.; KEENEY, D.R., ed. *Methods of soils analysis. Part 2. Chemical and microbiological proprieties*. Madison: **American Society of agronomy**, p. 903-948,1982.
- TABATABAI, M.A.; BREMMER, J.M. Use os p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. **Soil Biology and Biochemistry**, v.1, p.301-307, 1969.
- TRANNIN I. C. B.; SIQUEIRA J. O.; MOREIRA, F. M. S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1173-1184, 2007.
- VIEIRA, G. D. A.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V. Atributos do solo e crescimento do milho decorrentes da adição de lodo anaeróbico da estação de tratamento de efluentes da parboilização do arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 535-542, 2011.
- VILELA, L. A. F.; RIBEIRO, D. O.; SANTOS, F. L.; FERREIRA, D. A.; CARNEIRO, M. A. C.; ASSUNÇÃO, H. F.; SOUZA, E. D. Desenvolvimento inicial de milho crioulo em um Latossolo vermelho de cerrado submetido à esterilização. **Global Science and Technology**, v. 5, p.69-78, 2012.
- VINHAL-FREITAS, I. C.; WANGEN, D. R. B.; FERREIRA, A. S.; CORRÊA, G. F.; WENDLING, B. Microbial and enzymatic activity in soil after organic composting. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.757-764, 2010.

CAPÍTULO III

ÁCIDOS ORGÂNICOS NO SOLO E NA RIZOSFERA DE PLANTAS DE MILHO ADUBADAS COM BIOFERTILIZANTES FOSFATADOS

RESUMO

Uma das formas de promover maior solubilização dos fosfatos naturais é adição de matéria orgânica, promovendo aumento da atividade microbiana e consequente liberação de ácidos orgânicos. Este trabalho teve como objetivo identificar e quantificar os ácidos orgânicos presentes no solo e na rizosfera de plantas milho adubadas com diferentes fontes de fósforo. O experimento foi conduzido em duas etapas. Na primeira etapa foi realizada a produção de biofertilizantes e na segunda etapa os biofertilizantes que apresentaram melhor solubilização de fósforo foram utilizados no cultivo de milho em vasos, em casa de vegetação. Os biofertilizantes: Cama de aviário + Fosfato de Gafsa (CA+FG) e Esterco bovino + Fosfato de Gafsa (EB+FG), foram produzidos em potes plásticos com capacidade de 1000 mL durante um período de 60 dias. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 6 x 2 com quatro repetições, sendo seis fontes de fósforo: Fosfato de Gafsa (FG), Superfosfato simples (SS), Cama de aviário + Fosfato de Gafsa (CA+FG), Esterco bovino + Fosfato de Gafsa (EB+FG), Cama de aviário + Superfosfato simples (CA+SS), Esterco bovino + Superfosfato simples (EB+SS) e duas formas de aplicação: Incorporada (I) e em Superfície (S). As amostras de solos analisadas no cromatógrafo gasoso detectaram a presença do ácido acético, butírico e propiônico, sendo o acético mais expressivo. Nas amostras da rizosfera de plantas de milho foram identificados três ácidos de baixo peso molecular, acético, butírico e propiônico, porém em concentrações muito mais elevadas do que no solo.

Palavras-chave: Fosfato de Gafsa, ácidos orgânicos, rizosfera.

ABSTRACT

One of the ways to promote greater solubilization of phosphate is adding organic matter, increasing the microbial activity and subsequent release of organic acids. This study aimed to identify and quantify the organic acids present in soil and rhizosphere of maize plants fertilized with different sources of phosphorus. The experiment was conducted in two stages. The first step was performed in the production of bio-fertilizers and bio-fertilizers to the second stage showed better solubilization of phosphorus were used in growing corn in pots in the greenhouse. The biofertilizers: poultry manure + Gafsa Phosphate (CA + FG) and bovine manure + phosphate Gafsa (EB + FG), were produced in plastic pots with capacity of 1000 mL over a period of 60 days. The experimental design was completely randomized in a 6 x 2 factorial design with four replications and six sources of phosphorus: Gafsa Phosphate (FG), single superphosphate (SS), poultry manure + Gafsa Phosphate (CA + FG), bovine manure + Gafsa phosphate (EB + FG), poultry manure + single superphosphate (CA + SS), bovine manure + single superphosphate (EB + SS) and two application forms: Embedded (I) and surface (S). The samples analyzed in the gas chromatograph detected the presence of acetic, propionic and butyric, with acetic acid the most significant. In samples from the rhizosphere of corn plants were identified three low molecular weight acids, acetic, propionic and butyric but at concentrations much higher than in the soil.

Keywords: Gafsa phosphate, organic acids, rhizosphere.

1. INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um dos nutrientes mais limitantes as culturas. Em condições de baixa disponibilidade pode causar redução no crescimento, menor resistência a doenças, maturação precoce e biossíntese de antocioninas (MALAVOLTA, 2006). Por apresentar geralmente baixa fertilidade natural e alta capacidade de fixação de P, os solos tropicais requerem altas dosagens de P para suprir as exigências nutricionais nas plantas (NOVAIS e SMYTH, 1999; LOPES e GUILHERME, 2007).

Atualmente, devido ao custo elevado das fontes mais solúveis de P a utilização de fosfatos de rocha natural (FN) tem intensificado. Apesar da sua baixa solubilidade o FN pode proporcionar efeitos residuais mais satisfatórios em relação aos fosfatos solúveis, já que o este tende a ser convertido em formas menos lábeis mais rapidamente quando adicionados aos solos tropicais ácidos com alta capacidade de fixação de P, o que reduz a sua eficiência ao longo do tempo (KORNDÖRFER e MELO, 2009; ONO et al., 2009).

Uma das formas de promover maior solubilização dos fosfatos naturais é adição de matéria orgânica, promovendo aumento da atividade microbiana e consequente liberação de ácidos orgânicos (AO) (BRANCO et al., 2001; PRADHAN e SUKLA, 2005). A rizosfera das plantas também esudam ácidos orgânicos, estes ácidos competem com os fosfatos pelos sítios de adsorção, formando compostos com os fosfatos na solução do solo e complexos estáveis com metais, podendo potencialmente reduzir a adsorção ou precipitação do fosfato (PAVINATO e ROSOLEM, 2008; TIRLONI et al., 2009).

Além de propiciar ótimas condições de cultivo ao solo, a utilização de compostos orgânicos na agricultura é uma ótima alternativa para reaproveitamento dos resíduos orgânicos, tendo em vista que a produção de resíduos tem aumentado linearmente (FERREIRA et al., 2011). No entanto, é necessário avaliar quais as formas de manejo mais adequada para cada resíduo, a fim de evitar impactos negativos ao meio ambiente (AQUINO e SANTIAGO-SILVA, 2006).

Os ácidos orgânicos geralmente são encontrados em baixa concentração na solução do solo, porém quando há uma intensificação na atividade microbiana essa concentração tende a aumentar, podendo chegar a níveis tóxicos, com posterior redução

principalmente dos AO de baixa massa molecular (acético, butírico, cítrico, láctico, málico, oxálico, tartárico, etc.) resistindo aqueles de massa alta massa molecular (taninos, ácidos fúlvicos e húmicos) (CARDOSO FILHO e MINHONI, 2007; PAVINATO e ROSOLEM, 2008). Já na rizosfera a quantidade de ácidos orgânicos produzidos é bem maior que no solo, devido à exudação de raízes e a alta atividade microbiana (PIRES et al., 2007; REYES, et al., 2007).

Armstrong e Armstrong (2001); Kopp et al. (2007); Tunes et al. (2008), relataram que os ácidos alifáticos de cadeia curta, como o acético, propiônico e butírico são fitotóxicos para o arroz, afetando a seletividade da membrana plasmática interferindo em processos que requerem energia, como fosforilação oxidativa e respiração, limitando assim o crescimento e desenvolvimento das plantas. No entanto, Pires e Matiazzo (2007), afirmam que os compostos derivados da exudação das raízes, dentre eles os ácidos orgânicos, influenciam a solubilização e absorção de metais pesados pelas plantas. Esses mesmos autores verificaram que o aumento da concentração de metais pesados em solução é dependente do teor de ácidos orgânicos.

Em virtude da grande importância dos ácidos orgânicos, este trabalho teve como objetivo identificar e quantificar os ácidos orgânicos presentes no solo e na rizosfera de plantas milho após a aplicação de superfosfato simples, fosfato de Gafsa e biofertilizante fosfatado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em duas etapas. Na primeira etapa foi realizada a produção de biofertilizantes e na segunda etapa os biofertilizantes que apresentaram melhor solubilização de fósforo foram utilizados no cultivo de milho em vasos, em casa de vegetação.

2.1. Produção de biofertilizantes

A produção dos biofertilizantes fosfatados foi realizada nas dependências da Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG/UFRPE). A proporção utilizada foi de 3 (resíduo):1(fosfato de Gafsa), como recomendada por Bangar et al. (1985), que

verificaram em experiências realizadas com compostos preparados a partir dessa proporção eficiência comparável à do superfosfato e muito superior à do composto não enriquecido. Além da proporção recomendada foram testados dois níveis abaixo e dois acima. Os resíduos orgânicos utilizados foram: esterco bovino e cama de aviário. Os volumes dos resíduos foram: 0; 200; 300; 400; 500 e 600 cm³. Em todos os resíduos foram adicionados 133,33 g de fosfato de Gafsa. A quantidade de água adicionada a cada tratamento foi correspondente à capacidade de campo de cada resíduo.

Os biofertilizantes: Cama de aviário + Fosfato de Gafsa (CA+FG) e Esterco bovino + Fosfato de Gafsa (EB+FG), foram produzidos em potes plásticos com capacidade de 1000 mL durante um período de 60 dias, tendo sua temperatura monitorada antes de cada revolvimento e sendo revolvidos semanalmente (figura1).



Figura 1. Processo de compostagem de resíduos orgânicos + fosfato de Gafsa.

Após o período de incubação os resíduos foram secos e moídos no moinho de bola. Em seguida, foi realizada a análise de fósforo solúvel em água apenas dos biofertilizantes fosfatados, segundo metodologia preconizada pela Embrapa (2009). A partir dos resultados (tabela 1), foram escolhidos os volumes de 500 e 600 cm³ de cada tipo de resíduo (EB+FG e CA+FG), que apresentaram maiores teores de fósforo para utilização na segunda etapa do experimento.

Tabela 1 – Teores de fósforo solúvel em água dos biofertilizantes fosfatados.

Compostos	Volume (cm ³)	P g kg ⁻¹
EB+FG	200	0,18
EB+FG	300	0,22
EB+FG	400	0,27
EB+FG	500	0,39
EB+FG	600	0,40
CA+FG	200	0,41
CA+FG	300	0,79
CA+FG	400	0,86
CA+FG	500	1,39
CA+FG	600	1,69

CA+FG = Cama de Aviário + Fosfato de Gafsa; EB+FG = Esterco Bovino + Fosfato de Gafsa.

Após a escolha dos volumes procedeu-se análise de fósforo inorgânico (Pi) de todos os resíduos orgânicos a serem utilizados na segunda fase do experimento, a fim de confirmar a análise fósforo solúvel em água. Para a extração de Pi utilizou-se 5 g de solo e 100 mL de bicarbonato de sódio a pH 8,5, após a agitação por 30 min em mesa agitadora o extrato foi deixado em repouso por igual período e filtrado em papel qualitativo. O Pi foi determinado através da clarificação do extrato com o carvão ativo purificado com HCl 6 mol. L⁻¹, NaOH 0,5 mol. L⁻¹ e água destilada, numa proporção de 1:1:10 L para 100 g de carvão e quantificado por colorimetria, segundo metodologia da EMBRAPA (2009). Para uma escolha mais precisa, os resultados apresentados na tabela 2 foram submetidos à análise de variância pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, com auxílio do programa computacional, Sistema para Análise de Variância – SISVAR (FERREIRA, 2000).

Tabela 2 - Teores de fósforo inorgânico encontrados nos resíduos utilizados no experimento

Fontes de P	Volume cm ³	P g kg ⁻¹
CA	0	7,00 a
CA+FG	500	2,68 b
CA+FG	600	2,87 b
EB	0	1,36 c
EB+FG	500	0,70 d
EB+FG	600	0,56 d
CV (%)		13,03

CA = Cama de Aviário; EB = Esterco Bovino; CA+FG = Cama de Aviário + Fosfato de Gafsa; EB+FG = Esterco Bovino + Fosfato de Gafsa. CV (%) = coeficiente de variação.

De acordo com os teores de Pi encontrados nos biofertilizantes fosfatados, optou-se pelo uso do biofertilizante com volume de 600 cm³ de resíduo orgânico + 133,33 g de FG.

2.2. Aplicação do biofertilizante na cultura do milho

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Garanhuns (UFRPE/UAG). O solo utilizado foi Neossolo Regolítico eutrófico típico (SANTOS et al., 2012), o mesmo foi coletado na camada de 0-20 cm no município de São João – PE, em área com vegetação natural. Inicialmente foi realizada a caracterização química do solo (tabela 3). Em seguida o solo foi seco ao ar, passado em peneira de 4,0 mm de malha e distribuído em vasos com capacidade de 4,0 dm³.

Tabela 3. Resultado da análise química do solo

pH (H ₂ O) (1:2,5)	P mg dm ⁻³	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	H+Al	Al ³⁺
		-----cmolc dm ⁻³ -----					
5,05	0,34	0,09	0,6	1,6	0,16	2,48	0,1

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 6 x 2 com quatro repetições, sendo seis fontes de fósforo: Fosfato de Gafsa (FG), Superfosfato simples (SS), Cama de aviário + Fosfato de Gafsa (CA+FG), Esterco

bovino + Fosfato de Gafsa (EB+FG), Cama de aviário + Superfosfato simples (CA+SS), Esterco bovino + Superfosfato simples (EB+SS) e duas formas de aplicação: Incorporada (I) e em Superfície (S).

O cálculo das dosagens dos fertilizantes minerais solúveis foi realizado com base nos resultados da análise química de solo, na disponibilidade dos nutrientes contidos nos fertilizantes utilizados e na recomendação de adubação para o Estado Pernambuco (CAVALCANTI et al. 2008), aplicando-se em kg ha^{-1} : 90 de N, 80 de P_2O_5 e 80 de K_2O . As fontes nitrogênio e potássio utilizadas foram uréia e cloreto de potássio, respectivamente. A adição dos tratamentos (biofertilizantes fosfatados, superfosfato simples e fosfato de Gafsa) foi realizada no momento da semeadura. A adubação potássica foi realizada de forma parcelada, adicionando 50% na semeadura e 50% 20 dias após a semeadura (DAS). A adubação nitrogenada foi realizada em cobertura e parcelada em duas vezes, aos 20 e 30 DAS.

A semeadura foi realizada no dia 04 de setembro de 2012. A cultivar utilizada foi o híbrido Biomatrix 3061, foram colocadas quatro sementes por vaso. Aos 15 DAS realizou-se o desbaste das plântulas menos vigorosas, deixando-se apenas uma planta por cova (figura 2). Aos 20 DAS procedeu-se a primeira adubação de cobertura. A segunda adubação de cobertura foi realizada aos 30 DAS.



Figura 2. Crescimento inicial de plantas de milho (15 DAS).

O suprimento de água foi realizado manualmente, sendo as plantas irrigadas duas vezes ao dia, com água destilada, respeitando a capacidade de campo do solo. As plantas foram coletadas aos 45 DAS, a parte aérea foi cortada rente ao solo, todo o solo do vaso foi colocado em uma bandeja, onde as raízes foram separadas e coletadas as amostras de solo, estas foram imediatamente congeladas após a coleta para realização da identificação e quantificação dos ácidos orgânicos.

As análises foram realizadas no Centro de Laboratórios de Garanhuns (CENLAG), da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Garanhuns (UFRPE-UAG).

2.3. Determinação e quantificação de ácidos orgânicos.

Para determinação dos ácidos orgânicos presentes no solo foi utilizado 10g de solo, previamente congelado e 20 mL de água Milli-Q (água purificada por destilação e deionizada em sistema Milli-Q da Millipore), em seguida as amostras foram agitadas em agitador horizontal por 15 min a 200 rpm, passando por centrifugação logo após a 1500 rpm por 10 min, em seguida, ao final o sobrenadante foi filtrado em papel quantitativo lento. Para obtenção do extrato da rizosfera, procedeu-se a lavagem das raízes com solo rizosférico aderido, logo após a retirada das plantas da casa de vegetação, com 100 mL água destilada. Em seguida o extrato passou duas vezes pelo processo de filtragem em papel quantitativo lento.

A identificação e quantificação dos ácidos orgânicos foi realizada em cromatógrafo gasoso modelo GCMS – QP2010 Plus (Shimadzu) e coluna capilar Nukol, com dimensões de 30m, 0,32mm de diâmetro interno e 0,25 μm de espessura de filme (Supelco, USA). A temperatura inicial do forno foi de 60° C, mantida por 1 min, seguida com taxa de aumento de 5° C/min até 200° C, sendo mantida nessa temperatura por 1 min. A temperatura do detector de chama (FID) e injetor foi de 200° C, e o volume de injeção de 2 μL , sendo as configurações foram feitas de acordo com o proposto por Aquino e Santiago-Silva (2006).

O gás hélio foi usado como gás de arraste com vazão de 30 mL min⁻¹. O detector de ionização em chama foi alimentado por ar e hidrogênio, a uma vazão de 400 mL min⁻¹ e 30 mL min⁻¹, respectivamente. Para identificação utilizou-se comparação do tempo de

retenção com padrões de alta pureza (>99%) obtidos da Sigma Aldrich (St.Louis, USA). A partir desses padrões foram preparadas soluções de trabalho contendo os ácidos, em concentrações de 500, 1000 e 10000 ppm, por diluição em água ultrapura.

A identificação dos ácidos foi realizada pela comparação do tempo de retenção dos ácidos orgânicos em solução padrão com o tempo de retenção dos ácidos nas amostras. As soluções padrões utilizadas foram: Oxálico, Lático, Malônico, Benzóico, Adípico, Ascórbico, Cítrico, Maleico, Malico, Succinico, Tartárico, Isocítrico, Fumárico, Phytico, Shiquímico, Químico, Fórmico, Propiônico, Acético, Isobutírico e Butírico.

As concentrações dos ácidos presentes nas amostras foram quantificadas a partir da relação entre área obtida pela solução padrão (10.000 mg L^{-1}) e a área encontrada na análise da amostra.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras de solos analisadas no cromatógrafo gasoso apresentaram alguns ácidos de baixo peso molecular. As fontes compostas por resíduos orgânicos apresentaram a maior quantidade de ácidos orgânicos. A partir do comparativo entre os tempos de retenção ácidos orgânicos em solução padrão com o tempo de retenção dos ácidos nas amostras, foi possível detectar a presença do ácido acético, butírico e propiônico (figuras 3 e 4).

Na tabela 4 encontram-se os teores dos ácidos encontrados nas amostras de solo. O ácido acético foi encontrado por todas as fontes utilizadas, não sendo detectado apenas pelo uso da CA+SS na aplicação incorporada e aparecendo em menor concentração na aplicação em superfície.

Observando os ácidos orgânicos encontrados no solo verifica-se uma predominância do ácido acético. Resultados semelhantes foram encontrados por Bohnen et al. (2005), que constatarem maior produção de ácido acético em relação aos ácidos propiônico e o butírico, independentemente do sistema de cultivo do arroz. Esses mesmos autores afirmam que as condições de alagamento podem influenciar significativamente a produção de ácidos orgânicos, tendo em vista que os ácidos orgânicos são produzidos

pelos microrganismos anaeróbios do solo, justificando as concentrações superiores encontradas em relação ao presente estudo.

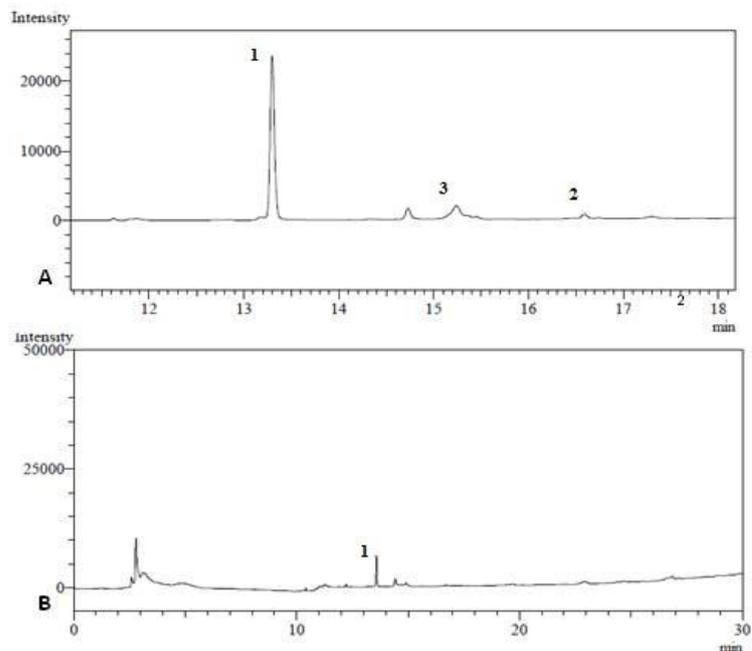


Figura 3. Cromatogramas das amostras de solo após cultivo de milho adubado com Cama de Aviário + Fosfato de Gafsa. A – Aplicação incorporada. B – Aplicação em superfície. 1- ácido acético; 2 - ácido butírico; 3 – ácido propiônico.

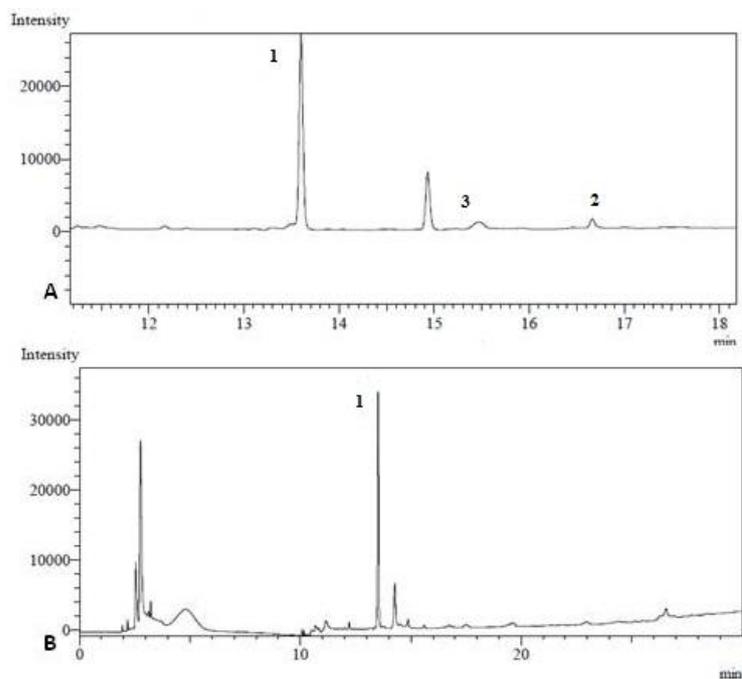


Figura 4. Cromatogramas das amostras de solo após cultivo de milho adubado com Estercó Bovino + Fosfato de Gafsa. A – Aplicação incorporada. B – Aplicação em superfície. 1- ácido acético; 2 - ácido butírico; 3 - ácido propiônico.

Tabela 4. Concentrações de ácidos orgânicos encontrados nas amostras de solo adubadas com fontes diversas de P.

Fontes de P	Ácidos					
	Acético		Butírico		Propiônico	
	mg kg ⁻¹					
	I	S	I	S	I	S
FG	14,49	41,17	-	-	1,18	-
SS	37,45	21,87	-	-	0,45	1,43
CA+FG	25,23	0,75	2,02	-	0,60	-
CA+SS	-	6,06	-	2,46	-	-
EB+FG	26,66	38,20	4,08	-	3,16	-
EB+SS	20,59	31,00	1,70	-	5,46	-

FG = Fosfato de Gafsa; SS = Superfosfato simples; CA+FG = Cama de aviário + Fosfato de Gafsa; EB+FG = Esterco bovino + Fosfato de Gafsa; CA+SS = Cama de aviário + Superfosfato simples; EB+SS = Esterco bovino + Superfosfato simples; I = Incorporada; S = Superfície.

Melo et al. (2008), caracterizando a matriz orgânica de alguns resíduos orgânicos, verificaram a presença de uma maior diversidade de ácidos orgânicos (oxálico, cítrico, málico, fumárico, butírico, maleico, láctico e fórmico), sendo mais expressivos nos esterco de aves, apresentando altas concentrações de ácido butírico. Em virtude do baixo grau de humificação desses materiais, é possível inferir que ao ser adicionado ao solo estes ácidos podem vir a formar compostos com os fosfatos na solução do solo e complexos estáveis com metais.

Nas amostras da rizosfera de plantas de milho de acordo com comparativo entre os tempos de retenção ácidos orgânicos em solução padrão com o tempo de retenção dos ácidos nas amostras, foram identificados três ácidos de baixo peso molecular, acético, butírico e propiônico (figuras 5 e 6). As concentrações obtidas encontram-se na tabela 5.

Dentre os ácidos encontrados na rizosfera verifica-se que o ácido acético foi liberado em maiores concentrações, provavelmente devido a conversão de ácidos orgânicos com mais de dois carbonos para ácido acético, já que esta é uma etapa intermediária entre a produção de ácidos orgânicos e a formação de metano, pois a fermentação direta do ácido butírico e o propiônico em metano não é possível (BOHNEN et al., 2005).

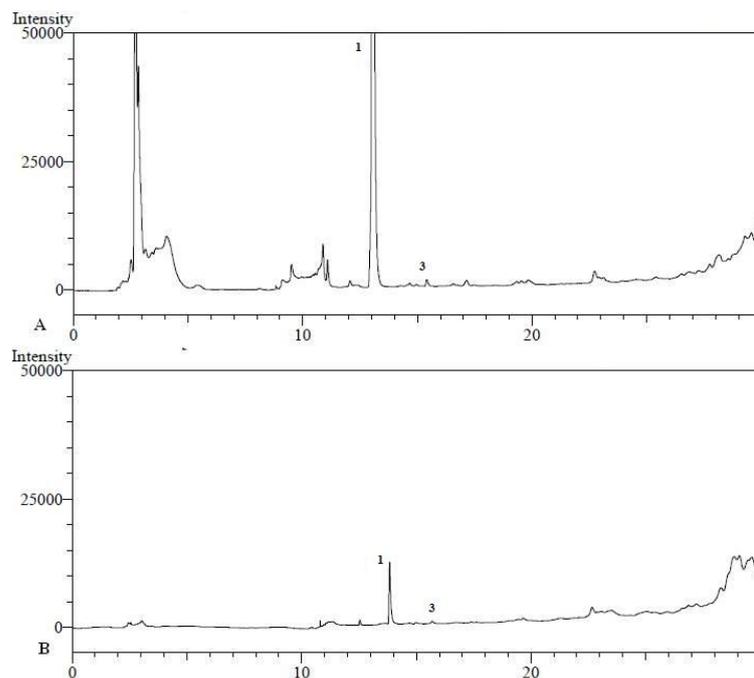


Figura 5. Cromatogramas das amostras de solo após cultivo de milho adubado com Fosfato de Gafsa. A – Aplicação incorporada. B – Aplicação em superfície. 1- ácido acético; 2 - ácido butírico; 3 - ácido propiônico.

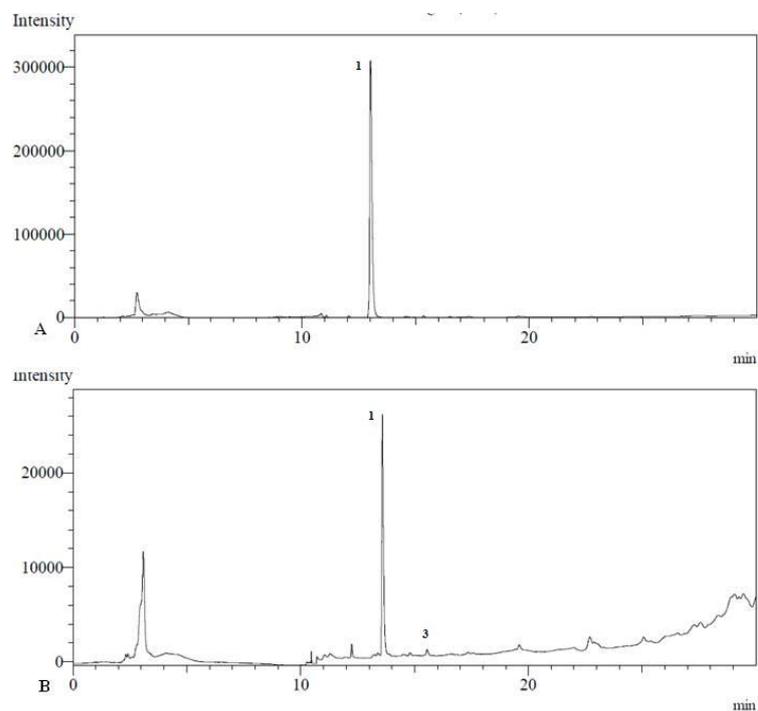


Figura 6. Cromatogramas das amostras de solo após cultivo de milho adubado com Esterco bovino + Fosfato de Gafsa. A – Aplicação incorporada. B – Aplicação em superfície. 1- ácido acético; 3 - ácido propiônico.

Tabela 5. Concentrações de ácidos orgânicos encontrados na rizosfera de plantas de milho adubadas com fontes diversas de P.

Fontes de P	Ácidos					
	Acético		Butírico		Propiônico	
	mg kg ⁻¹					
	I	S	I	S	I	S
FG	24.801,22	1.071,31	-	-	193,01	70,96
SS	566,09	1.119,80	-	78,42	-	113,63
CA+FG	-	461,00	-	-	235,38	286,12
CA+SS	461,88	1.349,07	-	-	197,80	59,40
EB+FG	34.030,95	2.174,20	152,12	-	204,44	87,16
EB+SS	411,36	394,99	-	-	85,86	-

FG = Fosfato de Gafsa; SS = Superfosfato simples; CA+FG = Cama de aviário + Fosfato de Gafsa; EB+FG = Esterco bovino + Fosfato de Gafsa; CA+SS = Cama de aviário + Superfosfato simples; EB+SS = Esterco bovino + Superfosfato simples; I = Incorporada; S = Superfície.

Nardi et al. (2000), verificaram que as raízes de plantas de milho dentre os ácidos orgânicos identificados exudaram mais os ácidos fumárico e succínico. Pires et al. (2007), avaliando a rizosfera de quatro espécies de plantas cultivadas na presença de lodo de esgoto, verificaram a presença dos ácidos acético, láctico, oxálico e cítrico, sendo o acético mais abundante. Refletindo que a presença de ácidos orgânicos ocorre na rizosfera e varia em função das espécies cultivadas, condições edafoclimáticas e diversidade de microrganismos existentes no solo.

Fortes et al. (2008), verificaram efeito negativo do ácido acético em plantas de arroz cultivadas em solução nutritiva, verificando redução no crescimento de parte aérea e raiz e menor concentração e acúmulo de N, P e K na planta. No entanto Pires et al. (2007), obtiveram uma relação positiva entre a presença de ácidos de baixo peso molecular, principalmente do ácido acético e metais pesados contidos no lodo de esgoto. Assim, é possível inferir que o ácido acético pode ser eficiente em complexar metais tóxicos contidos na solução do solo.

4. CONCLUSÃO

1. A concentração dos ácidos orgânicos na rizosfera foi muito superior ao dos ácidos orgânicos no solo, isso devido a maior liberação de compostos orgânicos ocorrem nesta região.
2. A liberação dos ácidos orgânicos tanto no solo quanto na rizosfera ocorreu na seguinte ordem ácido acético > ácido propiônico > ácido butírico.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AQUINO, F. T.; SANTIAGO-SILVA, M. Determinação de ácidos carboxílicos em composto de resíduos sólidos urbanos por cromatografia gasosa com detector de ionização em chama. **Eclética Química**, v. 31, p. 25-30, 2006.
- ARMSTRONG, J.; ARMSTRONG, W. Rice and *Phragmites*: effects of organic acids on growth, root permeability, and radial oxygen loss to the rhizosphere. **American Journal of Botany**, v. 88, p.1359-1370, 2001.
- BANGAR, K. C.; YADAV, K. S.; MISHRA, M. M. Transformation of rock phosphate during composting and the effect of humic acid. **Plant and soil**, v. 85, p. 259-266, 1985.
- BRANCO, S. M.; MURGEL, P. H.; CAVINATTO, V. M. Compostagem: solubilização biológica de rocha fosfática na produção de fertilizante organomineral. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 6, n. 3 e 4, 2001.
- BOHNEN, H.; SILVA, L. S.; MACEDO, V. R. M.; MARCOLIN, E. Ácidos orgânicos na solução de um Gleissolo sob diferentes sistemas de cultivo com arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 475-480, 2005.
- CARDOSO FILHO, J. A.; MINHONI, M. T. A. Interações microbianas e controle de fitopatógenos na rizosfera. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2007. 312 p.

- CAVALCANTI, F. J. A. et al. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação.** 3ª Ed. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, 2008. 212 p.
- EMBRAPA. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes.** Brasília DF: Embrapa. 2º Ed. 627p. 2009.
- FERREIRA S. B.; TRIGO, A. G. M.; ALMEIDA, J. R. Gerenciamento de resíduos semissólidos: um estudo para o laboratório de fixação biológica do nitrogênio. **Revista Internacional de Ciências**, v.1, p.55-76, 2011.
- FORTES, M. A.; SOUSA, R. O.; SCHMIDT, F.; VAHL, L. C. Toxidez por ácido acético em arroz sob diferentes valores de pH da solução nutritiva. **Ciência Rural**, v. 38, p.1581-1588, 2008.
- KOPP, M. M.; LUZ, V. K.; COIMBRA, J. L. M.; SOUSA, R. O.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C. Níveis críticos dos ácidos acético, propiônico e butírico para estudos de toxicidade em arroz em solução nutritiva. **Acta Botânica Brasileira**, v. 21, p.147-154, 2007.
- KORNDÖRFER, G. H.; MELO, S. P. Fontes de fósforo (fluida ou sólida) na produtividade agrícola e industrial da cana-de-açúcar. **R. Ciênc. agrotec.**, v. 33, p. 92-97, 2009.
- LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ V., V.H., BARROS, N.F., FONTES, R.L.F., CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo.** Viçosa: SBCS, 2007. p.1-64.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- MELO, L. C. A.; SILVA, C. A.; DIAS, B. O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.101-110, 2008.
- NARDI A, S.; CONCHERI A, G.; PIZZEGHELLO, D.; STURARO, A.; RELLA, R.; PARVOLI, G. Soil organic matter mobilization by root exudates. **Chemosphere**, v. 41, p. 653-658, 2000.

- NOVAIS, R. F. de; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa-MG: UFV, DPS, 1999. 399p.
- ONO, F. B.; MONTAGNA, J.; NOVELINO, J. O.; SERAFIM, M. E. DALLASTA, D. C.; GARBIATE, M. V. Eficiência agronômica de superfosfato triplo e fosfato natural de arad em cultivos sucessivos de soja e milho. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 727-734, 2009.
- PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.911-920, 2008.
- PRADHAN, N.; SUKLA, L. B. Solubilization of inorganic phosphates by fungi isolated from agriculture soil. **African Journal of Biotechnology**, v. 5, p. 850-854, 2005.
- PIRES, A. M. M.; MATTIAZZO, M. E. Cinética de solubilização de metais pesados por ácidos orgânicos em solos tratados com lodo de esgoto. **R. Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.143-151, 2007.
- PIRES, A. M. M.; MARCHI, G. MATTIAZZO, M.; GUILHERME, L. R. G. Organic acids in the rhizosphere and phytoavailability of sewage sludge-borne trace elements. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 917-924, 2007.
- REYES, I.; VALERY, A.; VALDUZ, Z. Phosphate-solubilizing microorganisms isolated from rhizospheric and bulk soils of colonizer plants at an abandoned rock phosphate mine. **Developments in Plant and Soil Sciences**, v. 102, p 69-75, 2007.
- SANTOS, J. C. B.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; CORRÊA, M. M.; RIBEIRO, M. R.; ALMEIDA, M. C.; BORGES, L. E. P. Caracterização de Neossolos Regolíticos da Região Semiárida do Estado de Pernambuco. **R. Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p.683-695, 2012.
- TIRLONI, C.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; TIRLONI, D.; COIMBRA, D. S. Disponibilidade de fósforo em função das adições de calagem e de um bioativador do solo. **R. Ciência e Agrotecnologia**, v.33, p.977-984, 2009.
- TUNES, L. M.; OLIVO, F.; BADINELLI, P. G.; CANTOS, A.; BARROS, A. C. S. Aspectos fisiológicos da toxidez de ácidos orgânicos em sementes de aveia. **Biotemas**, v. 21, p.21-28, 2008.