

SUELEN MARTINS DE OLIVEIRA

ATIVIDADE MICROBIANA E PROPRIEDADES BIOQUÍMICAS DO SOLO SOB  
A ADIÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO E PALHA DE CAFÉ

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-  
graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração  
em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Adão de Siqueira Ferreira

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2012

SUELEN MARTINS DE OLIVEIRA

ATIVIDADE MICROBIANA E PROPRIEDADES BIOQUÍMICAS DO SOLO SOB  
A ADIÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO E PALHA DE CAFÉ

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-  
graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração  
em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 14 de março de 2012.

Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Luiz Fernando Wurdig Roesch

UNIPAMPA

Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Lucas Carvalho Basílio de Azevedo

UFU

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Milla Alves Baffi

UFU

Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Adão de Siqueira Ferreira  
ICIAG-UFU  
(Orientador)

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2012

## AGRADECIMENTOS

Durante o curso de Mestrado tive muitas oportunidades. Oportunidade de adquirir conhecimento, reforçar amizades antigas e também de fazer novas amizades. Porém, este trabalho não teria sido concluído se algumas pessoas não tivessem feito parte dele, por isso agradeço:

A Deus, por todas as oportunidades concedidas;

À UFU (professores e funcionários), pelo suporte físico, permitindo o desenvolvimento do projeto;

Ao Prof. Adão que nunca se cansa do trabalho, pela paciência e disposição em ajudar sempre;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo financiamento do Projeto (Processo APQ-00798-09);

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de mestrado;

Aos técnicos Maria Aparecida, Glaicon, Márcia, Carol, Cílson e Marco Aurélio que sempre me ajudaram e incentivaram;

Aos colegas de graduação: Francisco, Dayane, Rodolfo, Leocádio, Suelen, Marcos, Mário, Rafael e Danilo, e os de Pós-graduação: Larissa, Ingrid, Valdiney, Welldy, Tâmara e Laura;

À minha mãe Dora e meu namorado Emilliano, pessoas que admiro muito e que sempre estiveram e estarão ao meu lado quando eu precisar;

Aos Profs. Luiz, Lucas e Milla, por contribuírem na melhoria deste trabalho ao participarem da banca de avaliação.

Enfim, agradeço a todos pela ajuda e amizade, cada um de vocês têm um lugar especial na minha vida. Muito obrigada!

## SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 OBJETIVOS .....	4
2.1 Objetivos Gerais .....	4
2.2 Objetivos Específicos .....	4
CAPÍTULO I: Atividade microbiana e bioquímica em solo sob a adição de composto orgânico enriquecido com fosfato natural .....	6
RESUMO.....	6
1 INTRODUÇÃO.....	7
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	9
2.1 Local e amostragem do solo .....	9
2.2 Compostagem e análise dos resíduos.....	9
2.3 Ensaio de incubação com COM.....	10
2.4 Análise da RMS .....	10
2.5 Atividade de enzimas no solo .....	10
2.6 Fósforo disponível no solo.....	12
2.7 Análises estatísticas .....	12
3 RESULTADOS .....	14
3.1 Caracterização do COM.....	14
3.2 RMS .....	14
3.3 Atividade de enzimas no solo .....	14
3.4 Disponibilidade de fósforo no solo.....	16
3.5 Correlação entre a RMS, enzimas e P disponível.....	17
4 DISCUSSÃO .....	18
5 CONCLUSÕES .....	21
REFERÊNCIAS.....	22
CAPÍTULO II: Resposta microbiana e bioquímica do solo à adição de palha de café em Latossolo Vermelho Amarelo.....	30
RESUMO.....	30
1 INTRODUÇÃO.....	31
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	33
2.1 Local e amostragem do solo .....	33
2.2 Caracterização da palha dos grãos de café (PC).....	33
2.3 Ensaio de incubação com PC.....	34

2.4 Análise da RMS .....	34
2.5 Mineralização da PC .....	34
2.6 Atividade de enzimas no solo .....	35
2.7 Análises estatísticas .....	36
3 RESULTADOS .....	37
3.1 Caracterização da PC .....	37
3.2 Resposta da RMS, DHA e FDA .....	37
3.3 Mineralização do C e atividade da $\beta$ -glicosidase.....	38
3.4 Atividade de invertase, urease e fosfatases.....	39
4 DISCUSSÃO .....	41
5 CONCLUSÕES .....	44
REFERÊNCIAS.....	45
CONCLUSÕES GERAIS.....	51

## RESUMO

OLIVEIRA, SUELEN MARTINS. **Atividade microbiana e propriedades bioquímicas do solo sob a adição de composto orgânico e palha de café.** 2012. 51p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.<sup>1</sup>

Na agricultura moderna e com a adoção de práticas de manejo mais sustentáveis, o uso de resíduos orgânicos na agricultura tem sido visto como uma importante escolha, principalmente por se tratar de materiais recicláveis no solo. O trabalho foi conduzido com a adição de composto orgânico enriquecido com fosfato natural (COM), nas quantidades de 0, 10, 20, 40 e 80 g kg<sup>-1</sup>, e palha dos grãos de café (PC) com adições de 0, 7, 14, 28 e 56 g kg<sup>-1</sup>, em amostras de Latossolo Vermelho Amarelo coletadas na profundidade de 0-5 cm, com quatro repetições. Foram feitas análises químicas para a caracterização do solo e dos resíduos orgânicos utilizados. Os atributos avaliados foram: a respiração microbiana do solo (RMS), porcentagem de mineralização do carbono (C) da PC, atividade das enzimas desidrogenase (DHA), hidrolases do diacetato de fluoresceína (FDA),  $\beta$ -glicosidase, invertase, urease e fosfatases ácida e alcalina, bem como a disponibilidade de fósforo (P) no solo. Os resultados mostram que a adição de COM e PC tem implicações importantes na atividade microbiana e bioquímica do solo. As adições dos resíduos orgânicos implicaram em aumentos significativos na RMS, tendo a menor adição de PC (7 g kg<sup>-1</sup>) apresentado valores superiores à maior dose de COM (80 g kg<sup>-1</sup>). A adição de COM resultou em aumento linear na disponibilidade de P. A PC apresentou porcentagem de mineralização do C superior a 85%. A atividade das enzimas DHA, FDA e  $\beta$ -glicosidase apresentou maiores valores, quando da adição de PC, comparado com o COM. Os resultados obtidos sugerem que o aproveitamento de resíduos orgânicos, compostado ou natural, no sistema produtivo agrícola pode ser uma prática de manejo importante em decorrência das modificações identificadas nos processos biológicos e bioquímicos do solo.

**Palavras - chave:** respiração microbiana do solo; mineralização do carbono; enzimas; disponibilidade de P.

---

<sup>1</sup> Orientador: Prof. Dr. Adão de Siqueira Ferreira – UFU.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, SUELEN MARTINS. **Microbial activity and biochemical properties of the soil after the addition of organic compost and coffee trash.** 2012. 51 p. Uberlândia: UFU, 2012. 51 p. Dissertation (Master Program Agronomy/Soil Science) – Federal University of Uberlândia, Uberlândia.<sup>2</sup>

The use of organic residues, in modern agriculture, and the adoption of more sustainable management practices, is seen as an important choice, mainly because this material is recyclable in the soil. This study was done with Oxisol soil samples, with four replications, collected from the 0-5 cm layer, to which 0, 10, 20, 40 or 80 g kg<sup>-1</sup> of organic-mineral compost (OMC), or 0, 7, 14, 28 or 56 g kg<sup>-1</sup> of coffee beans trash (CBS) was added. Chemical analyzes were performed to characterize soil and organic residues used. The evaluated attributes were phosphorus (P) availability in the soil, soil microbial respiration (RMS), carbon (C) mineralization percentage of CBS, and activity of the enzymes: dehydrogenase (DHA), hydrolases fluorescein diacetate (FDA),  $\beta$ -glucosidase, invertase, urease and acid and alkaline phosphatases. The results showed that addition of OMC and CBS has important implications for soil microbial and biochemical activity. Added organic residues resulted in a significant increase in RMS, where the smallest addition of CBS (7 g kg<sup>-1</sup>) presented greater values than the greatest addition of OMC (80 g kg<sup>-1</sup>). Adding OMC resulted in a linear increase of available P. Percentage mineralization C in CBS exceeded 85%. The activity of DHA, FDA and  $\beta$ -glucosidase showed greater values after the addition of CBS than of OMC. The results suggest that use of organic residues, composted or natural, in agricultural production system can be an important management practice because it showed changes in soil biological and biochemical processes.

**Keywords:** soil microbial respiration, carbon mineralization, enzymes, P availability.

---

<sup>2</sup> Supervisor: Dr. Adão de Siqueira Ferreira – UFU.

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O bioma cerrado, formado em grande parte por solos tropicais, é destaque no cenário nacional e internacional não só devido ao seu elevado potencial como produtor de alimentos, mas também por ser uma importante reserva de biodiversidade. O principal fator responsável por esse desempenho é a geração de novas tecnologias de manejo que possibilitam a inclusão de solos ácidos, altamente intemperizados e com baixo teor de nutrientes ao processo produtivo agrícola.

Os solos tropicais, geralmente, são cultivados por longos períodos e o resultado são perdas na produtividade do solo por meio da redução dos teores de carbono (C), com conseqüente degradação da estrutura do solo. Embora a quantidade de fósforo (P) presente nesses solos seja grande, sua disponibilidade é restrita. Isso ocorre principalmente devido aos processos de fixação do P aos sesquióxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) e também à formação de compostos insolúveis do P com Fe, Al e cálcio (Ca). Esses processos, ao reduzirem o P disponível no solo, podem limitar o desenvolvimento das plantas e a atividade de microrganismos. Portanto, a adição de resíduos orgânicos (naturais, compostados ou enriquecidos com P) é uma prática importante, pois permite aumentar ou restaurar a matéria orgânica e melhorar a fertilidade de solos pobres, com a finalidade de manter ou aumentar a produção das culturas e reduzir a exposição do solo à degradação, erosão e poluição.

Em adição, tem-se notado na atividade humana moderna a necessidade de encontrar um destino para as grandes quantidades de resíduos produzidos e ao mesmo tempo incentivar o uso de materiais renováveis. Os resíduos orgânicos são fontes renováveis importantes de matéria orgânica e nutrientes no solo e contribuem de forma significativa com o desenvolvimento e crescimento das plantas, estimulam a atividade microbiana e auxiliam na manutenção da qualidade do solo. Assim, a incorporação desses resíduos ao sistema agrícola tem sido considerada uma importante escolha. Os resíduos podem originar-se de diversas fontes, a exemplo: da agricultura (resíduos de palha dos grãos de café, trigo e aveia); da agropecuária (esterco bovino, ovino, suíno e de aves); da agroindústria (lodo de curtume, bagaço); e ainda de resíduos urbanos (lodo de esgoto e restos de alimentos). Esses materiais podem ser reciclados no solo com ou sem processos de estabilização do C orgânico e contribuem de forma significativa para a melhoria da qualidade dos solos.

Os materiais orgânicos adicionados são transformados em materiais húmicos pela biota do solo e as taxas de transformação ocorrem principalmente em função da qualidade do resíduo. Durante a decomposição e mineralização do resíduo, macronutrientes como o nitrogênio (N), P, enxofre (S) e potássio (K), e micronutrientes, como cobre (Cu), zinco (Zn), boro (B) e manganês (Mn), podem ser liberados, aumentando a disponibilidade de nutrientes no solo. Assim, resíduos de baixa relação C:N são facilmente decompostos e mineralizados, principalmente devido a atividade de microrganismos, e o resultado desses processos é o retorno dos nutrientes do resíduo ao solo. Por outro lado, resíduos de alta relação C:N provocam imobilização de nutrientes na biomassa microbiana. O aumento da concentração dos elementos-traço cádmio (Cd), cromo (Cr), chumbo (Pb) e níquel (Ni) no solo por meio da adição de resíduos orgânicos contaminados pode reduzir a atividade de microrganismos e levar ao acúmulo desses elementos nos tecidos das culturas.

É bem entendido que a incorporação de matéria orgânica no solo afeta a comunidade microbiana, influencia a fertilidade e o crescimento de plantas devido à maior disponibilidade de energia e nutrientes. Uma vez que os microrganismos são facilmente alterados por distúrbios causados pelo manejo do solo, mudanças na estrutura ou funções da comunidade microbiana podem causar alterações no ecossistema. Os indicadores biológicos e bioquímicos são sensíveis em detectar alterações decorrentes do uso e manejo do solo, sendo então considerados ferramentas importantes na orientação e planejamento de práticas agrícolas. Por isso mais pesquisas precisam ser desenvolvidas no intuito de adquirir informações sobre o impacto da adição de diferentes tipos de resíduos não só nos atributos químicos e físicos, mas também na atividade microbiana e propriedades bioquímicas do solo.

Durante os processos de decomposição e mineralização dos resíduos orgânicos no solo, muitas interações, transformações e síntese de compostos ocorrem, e estão intimamente relacionadas à atividade heterotrófica de microrganismos. Esses processos podem ser avaliados através de indicadores biológicos como a respiração e a biomassa microbiana do solo ou por meio de indicadores bioquímicos, cuja atividade está ligada ao ciclo biogeoquímico dos nutrientes, a exemplo a  $\beta$ -glicosidade e invertase (ciclo do C), urease (ciclo do N) e fosfatases (ciclo do P). Por fim, a determinação das enzimas desidrogenase e hidrolases do diacetato de fluoresceína reflete a atividade metabólica intracelular microbiana.

Este trabalho está dividido em dois capítulos, no qual o primeiro, intitulado: “Atividade microbiana e bioquímica em solo sob adição de composto orgânico enriquecido com fosfato natural”, tratará dos efeitos do fornecimento de matéria orgânica e nutrientes sobre a respiração do solo e atividade de enzimas relacionadas ao ciclo dos elementos C, N e P, bem como a disponibilidade de P no solo. O segundo capítulo, intitulado, “Resposta microbiana e bioquímica do solo à adição de palha de café em Latossolo Vermelho Amarelo”, irá tratar da influência da quantidade e qualidade da palha dos grãos de café na decomposição desta pelos microrganismos e na atividade de enzimas relacionadas aos processos de decomposição e mineralização da palha no solo.

## 2 OBJETIVOS

### *2.1 Objetivos Gerais*

Avaliar as implicações da adição no solo de resíduos orgânicos, compostado e natural, através de indicadores microbianos.

### *2.2 Objetivos Específicos*

Avaliar o impacto da adição de um composto orgânico enriquecido com fosfato natural sobre a atividade microbiana, enzimas e disponibilidade de P no solo, em condições de incubação.

Avaliar a respiração microbiana, mineralização do carbono orgânico e propriedades bioquímicas do solo em resposta a adição de palha dos grãos de café, em condições de incubação.

## **CAPÍTULO I**

# ATIVIDADE MICROBIANA E BIOQUÍMICA EM SOLO SOB A ADIÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO ENRIQUECIDO COM FOSFATO NATURAL

## RESUMO

A adição de compostos orgânicos atualmente representa uma prática importante dentro do manejo de solos agrícolas e seu uso interfere na intensidade dos processos biológicos e bioquímicos. O objetivo deste trabalho foi avaliar as implicações da adição de um composto orgânico enriquecido com fósforo (P) mineral (COM) na respiração microbiana do solo (RMS), atividade de enzimas e disponibilidade de P em Latossolo Vermelho Amarelo. O COM utilizado foi obtido da compostagem aeróbica (3 meses) de uma mistura entre palha de grãos de café (62%), esterco bovino (7%), fosfato natural de Araxá (28%) e gesso agrícola (3%). O ensaio de incubação foi montado com adição de 10, 20, 40 e 80 g COM kg<sup>-1</sup> de solo seco; com quatro repetições. Os valores encontrados para a RMS com adição de COM foram superiores ao controle, com destaque para a adição de 80 g kg<sup>-1</sup>. A atividade das enzimas, desidrogenase e β-glicosidase resultou em aumentos significativos a partir da adição de 20 g kg<sup>-1</sup>, enquanto que as hidrolases do diacetato de fluoresceína responderam a partir da adição de 10 g kg<sup>-1</sup>, quando comparadas ao controle. As maiores adições de COM (40 e 80 g kg<sup>-1</sup>) reduziram a atividade da invertase, enquanto que a atividade da urease não respondeu às adições de COM. Em resposta à adição de COM, foi verificado aumento da atividade de fosfatases (ácida e alcalina) e da disponibilidade de P. Há uma correlação positiva entre as variáveis RMS, atividade das enzimas DHA, FDA, β-glicosidase, fosfatases, ácida e alcalina, e o P disponível no solo. Os resultados mostram que a adição de COM tem implicações importantes na atividade microbiana e bioquímica do solo, e por isso, o uso de resíduos orgânicos na agricultura pode ser uma alternativa para a melhoria da qualidade dos solos.

**Palavras - chave:** respiração microbiana do solo, bioprocessos do solo, enzimas, disponibilidade de P.

## 1 INTRODUÇÃO

O uso de resíduos orgânicos na agricultura é uma alternativa econômica e ambiental, devido a sua importância como fonte de nutrientes às plantas (LAOS et al., 2000; RAUT et al., 2008; YAÑEZ et al., 2010). Normalmente, o manejo tecnológico desses resíduos é realizado por meio da compostagem, a qual envolve processos de oxidação realizados principalmente por microrganismos (BERNAL et al., 2009; DOMENE et al., 2011; KOWALJOW; MAZZARINO, 2007). Os compostos orgânicos, geralmente apresentam altos teores de nutrientes, tais como: nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S) (GARCÍA-GIL et al., 2000). Além disso, o uso de compostos orgânicos pode aumentar os teores de matéria orgânica no solo com implicações nas propriedades físicas e biológicas (ANDRÉS et al., 2011; SHIRALIPOUR et al., 1992; TEJADA; GONZALEZ, 2007).

Em solos tropicais altamente intemperizados, a baixa disponibilidade de P é um fator limitante ao desenvolvimento e crescimento das plantas e também da atividade microbiana do solo (BROWNE et al., 2009; ELSER et al., 2007; GNANKAMBARY et al., 2008; ILSTEDT et al., 2007; RASHID et al., 2005). Essa restrição de P ocorre devido à formação de fosfatos insolúveis com ferro (Fe), alumínio (Al) e cálcio (Ca) e à sua adsorção aos sesquióxidos de Fe e Al (ILSTEDT; SINGH, 2005; KHIARI; PARENT, 2005; VITOUSEK; SANFORD, 1986). Estudos têm sugerido o uso combinado de fertilizantes inorgânicos com fontes orgânicas, o que pode aumentar a disponibilidade P no solo (AYAGA et al., 2006; KHAN; JOERGENSEN, 2009; MUHAMMAD et al., 2007; NZIGUHEBA et al., 2000). A escolha de fosfatos naturais como fonte de P pode ser uma opção importante para a fertilização de plantas perenes devido à liberação lenta de P em longo prazo.

A utilização de resíduos orgânicos na agricultura é uma prática antiga, mas as modificações nas propriedades biológicas e bioquímicas do solo têm sido relatadas mais recentemente (ANDRÉS et al., 2011; FERNÁNDEZ et al., 2009; GARCÍA-GIL et al., 2000; KHAN; JOERGENSEN, 2009; KOWALJOW; MAZZARINO, 2007; SANTOS et al., 2011). A respiração microbiana do solo (RMS), avaliada pela liberação de CO<sub>2</sub>, é o indicador ecológico mais utilizado nos trabalhos envolvendo a adição de resíduos orgânicos, por estar associada a atividade metabólica do solo (ANDERSON; DOMSCH, 1990; DILLY; MUNCH, 1996; GRIGATTI et al., 2011; LEIFELD et al., 2002). A atividade de enzimas também é utilizada na avaliação do metabolismo e dos

processos de decomposição e mineralização de compostos orgânicos no solo. Por exemplo, a atividade das enzimas desidrogenase (DHA) e hidrolases do diacetato de fluoresceína (FDA) reflete o estado metabólico do solo, por estarem diretamente ligadas aos processos oxidativos de moléculas orgânicas devido, em particular, a atividade de microrganismos do solo (CALDWELL, 2005; FERNÁNDEZ et al., 2009; NANNIPIERI et al., 1983; TRASAR-CEPEDA et al., 2008). A atividade da  $\beta$ -glicosidase também tem sido considerada como indicador sensível, por estar associada à decomposição de resíduos orgânicos no solo (ALEF; NANNIPIERI, 1995; NAYAK et al., 2007). As fosfatases são grupos de enzimas capazes de hidrolisar ésteres e anidridos de ácido fosfórico, sendo sua atividade essencial na mineralização do P orgânico (BARDGETT et al., 1995; GARCÍA-GIL et al., 2000; MANDAL et al., 2007; MARCOTE et al., 2001; TRASAR-CEPEDA et al., 2008).

Dessa forma, estudos devem ser realizados para mostrar as implicações da adição de diferentes tipos de resíduos no solo sobre os indicadores biológicos e bioquímicos. O uso de resíduos orgânicos na agricultura pode ser uma prática importante, uma vez que aproveita fontes alternativas renováveis e contribui para diminuir problemas ambientais (GRIGATTI et al., 2011; RAUT et al., 2008; YAÑEZ et al., 2010). Particularmente, a compostagem de resíduos orgânicos é um processo que pode melhorar o valor agrônômico de um resíduo, aumentando a disponibilidade de nutrientes, incluindo o P. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto da adição de um composto orgânico enriquecido com fosfato natural sobre a atividade microbiana, enzimas e disponibilidade de P no solo, em condições de incubação.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Local e amostragem do solo

O estudo foi realizado em abril de 2011, com amostras de solo coletadas em sistema de produção de café (*Coffea arabica* L.), no município de Patrocínio, em Minas Gerais, georeferenciado em 18°47' S e 47°00' W e altitude de 939 m. O clima local é definido como do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen (1931), com estação seca de maio a setembro, pluviosidade média anual de 1.500 mm e temperatura média anual de 22,3°C. A lavoura era formada por 5.444 plantas de café por hectare, da variedade Catuaí 144, plantadas no ano 2000. O solo foi definido como de textura argilosa e classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (EMBRAPA, 2006).

A amostragem do solo foi realizada na profundidade de 0-5 cm em área de 20x30 cm, coletando-se quatro sub-amostras em quatro pontos distribuídos aleatoriamente nas linhas de plantio do cafeeiro. As amostras de solo foram passadas em peneira de 4 mm. Uma porção de solo foi seca ao ar para caracterização química (EMBRAPA, 1997), a saber: pH em água, 5,4; P, 139 mg dm<sup>-3</sup>; K, 192 mg dm<sup>-3</sup>; Ca, 1,7 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg, 0,7 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e matéria orgânica, 24 g kg<sup>-1</sup> de solo. O restante de solo úmido foi conservado em geladeira (4°C) para posterior realização do ensaio de incubação.

### 2.2 Compostagem e análise dos resíduos

O composto organomineral (COM) utilizado foi resultado da compostagem aeróbica de três meses da mistura de palha de grãos de café (62%), esterco bovino (7%), fosfato natural de Araxá (28%) com 24% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; e gesso agrícola (3%). O COM, a palha e o esterco foram secos a 65°C e macerados em cadinho de porcelana para caracterizações físico-químicas (TABELA 1). A densidade e pH (em água) foram determinados conforme Embrapa (1997). O carbono orgânico foi determinado por combustão úmida (WALKEY; BLACK, 1934) e o nitrogênio total por digestão sulfúrico-perclórica seguido de destilação Kjeldahl (1883). Os macronutrientes, micronutrientes e elementos-traço totais foram extraídos por digestão úmida nítrico-perclórica com suas respectivas quantificações em espectrometria de emissão atômica por plasma (ICP-OES). Todas as análises representam a média de duas determinações para cada amostra.

TABELA 1. Características físico-químicas do composto e resíduo orgânico utilizados.

Características	Composto	Esterco	Palha
Densidade úmida ( $\text{kg m}^{-3}$ )	995	512	622
pH (1:5)	9,0	7,8	5,6
Macronutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ )			
C orgânico	78	230	320
N	8,3	13	15
P	47	5,1	2,7
K	9,2	11	31
Ca	120	9,3	7
Mg	21	4,4	1,9
S	4,5	1,7	1,6
Micronutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ )			
Cu	40	63	26
Zn	92	157	13
Mn	774	263	82
Co	13	7	1
B	27	12	13
Elementos- traço ( $\text{mg kg}^{-1}$ )			
Cd	0,8	< 0,2	< 0,2
Cr	112	86	17
Ni	29	22	5
Pb	19	23	4
C/N	9/1	18/1	21/1

### 2.3 Ensaio de incubação com COM

O ensaio de incubação com adição de COM foi realizado em frasco (500 mL) com tampa de vedação hermética contendo 100g de solo úmido. Os tratamentos utilizados foram constituídos da adição do COM, previamente macerado em cadinho de porcelana, nas quantidades de 0, 10, 20, 40 e 80  $\text{g kg}^{-1}$  de solo seco, com quatro repetições. A umidade do solo, nos frascos, foi ajustada para 60% da capacidade de campo. O ensaio foi mantido na temperatura de 25°C por 28 dias.

### 2.4 Análise da RMS

A RMS foi avaliada em frascos de incubação, de acordo com Stotzky (1965). Em cada frasco, colocou-se um copo plástico (40 mL) contendo 10 mL hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ,  $1\text{ mol L}^{-1}$ ) para captura do  $\text{CO}_2$  liberado da respiração microbiana. A quantificação do C liberado como  $\text{CO}_2$  foi realizada após 1, 3, 7, 14, 21 e 28 dias de incubação pela titulação do excesso de  $\text{NaOH}$  com ácido clorídrico ( $\text{HCl}$ ,  $0,5\text{ mol L}^{-1}$ ), em presença de cloreto de bário ( $\text{BaCl}_2$ ,  $1\text{ mol L}^{-1}$ ) e fenolftaleína (1%).

### 2.5 Atividade de enzimas no solo

No final do período de incubação, amostras de solo incubado foram retiradas dos frascos para a determinação da atividade de enzimas. A enzima desidrogenase (E.C. 1.1.1) foi determinada pelo método de Mersi e Schinner (1991). Em tubo falcon (50 mL), contendo 1g de solo, foram adicionados 1,5 mL de tampão hidroximetilaminometano (TRIS, 1mol L<sup>-1</sup>, pH 7,5) e 2 mL do substrato INT (2-*p* -*iodo-nitrophenyl-phenyltetrazolium chloride*, 4,4 mmol L<sup>-1</sup>). Em seguida, as amostras foram incubadas a 40°C por 1h. O produto da atividade enzimática (INTF, *iodo-nitrophenyl-formazan*) foi extraído com a adição de 10 mL de solução metanol-dimetilformamida (1:1) sendo as amostras mantidas no escuro por 20 minutos. Uma alíquota de 2 mL do sobrenadante foi coletada e centrifugada a 5.000 x g por 10 minutos. A atividade da FDA foi determinada adicionando-se a 2g de solo, 15 mL de tampão fosfato de potássio (pH 7,6) e 0,2 mL do substrato (*fluorescein diacetate*). As amostras foram incubadas a 30°C por 1h em mesa agitadora horizontal, e em seguida, procedeu-se a extração da fluoresceína com 15 mL de solução clorofórmio-metanol (2:1), sendo as amostras novamente agitadas em mesa agitadora horizontal por 10 minutos (SCHNÜRER; ROSSWALL, 1982). Os produtos da atividade da DHA (INTF) e da FDA (fluoresceína) liberados durante o processo de extração foram determinados espectrofotometricamente em 490 nm.

A atividade extracelular da enzima β-glicosidase (E.C. 3.2.1.21) foi determinada conforme Eivazi e Tabatabai (1988). A β-glicosidase foi medida após a incubação de 1g de solo com 1 mL do substrato PNPG ( *p-nitrophenyl-β-D-glucopyranoside*, 4,2 mmol L<sup>-1</sup>) e 4 mL de tampão modificado universal (TMU, pH 6,0), por 3h a 37°C. Em seguida, adicionou-se 1 mL de CaCl<sub>2</sub> (1 mol L<sup>-1</sup>) e 4 mL NaOH (1 mol L<sup>-1</sup>). Uma alíquota (2 mL) do sobrenadante foi coletada e centrifugada a 5.000 x g por 10 minutos e o produto da reação: o PNP (*p-nitrofenyl*), foi determinado no espectrofotômetro em 464 nm. A atividade da invertase (EC 3.2.1.26) foi determinada incubando-se 5g de solo com 15 mL de solução de sacarose (140 mmol L<sup>-1</sup>) e 5 mL de tampão universal (pH 5,5), por 24h e a 37°C. A reação foi cessada com o aumento da temperatura para 80°C por 20 minutos. Uma alíquota (2 mL) do sobrenadante foi coletada e centrifugada a 5.000 x g por 10 minutos (SCHINNER; MERSI, 1990). O produto da reação (glicose) foi avaliado pelo *kit* Glicose Bioliquid, conforme descrito no manual de instruções do fabricante (LABORCLIN<sup>®</sup>, Brasil), e sua absorvância medida no espectrofotômetro em 505 nm.

A urease foi determinada incubando-se 5g de solo com 5 mL de solução de uréia (555,6 mmol L<sup>-1</sup>) e 5 mL de tampão citrato (pH 6,7), por 3h e a 37°C (GUAN et al., 1985). Uma alíquota (2 mL) do sobrenadante foi coletada e centrifugada a 5.000 x g por 10 minutos. O amônio liberado foi determinado pelo *kit* Uréia 500, conforme descrito no manual de instruções do fabricante (DOLLES<sup>®</sup>, Brasil), e sua absorbância medida no espectrofotômetro em 600 nm.

A atividade de fosfatases, ácida (E.C.3.1.3.2.) e alcalina (E.C.3.1.3.1), foi avaliada pela liberação de PNP do substrato sintético *p-nitrofenyl phosphate* (2,4 mmol L<sup>-1</sup>), utilizando tampão modificado universal (TMU) e ajustando o pH da solução em 4,0 e 9,0 para as respectivas enzimas, como descrito por Tabatabai e Bremner (1969). Em tubo falcon (50 mL), transferiu-se 1g de solo úmido e adicionou-se 4 mL de TMU e 1 mL de substrato. Os tubos foram incubados a 37°C por 1h. Após, adicionou-se 1 mL de CaCl<sub>2</sub> (1 mol L<sup>-1</sup>) e 4 mL de NaOH (1 mol L<sup>-1</sup>), seguido da agitação manual. Uma alíquota (2 mL) do sobrenadante foi centrifugada a 5.000 x g por 10 minutos. O PNP liberado foi determinado espectrofotometricamente em 405 nm.

Todas as determinações foram realizadas em controles para cada análise de atividade enzimática pelo mesmo protocolo analítico descrito, mas sem a adição de substrato. Os resultados foram expressos em mg ou µg de produto por grama de solo seco por hora.

## 2.6 Fósforo disponível no solo

No final do período de incubação, amostras de solo incubado foram retiradas dos frascos, secas ao ar e trituradas em cadinho de porcelana. Para determinação do P disponível, foram adicionados, em 3g de solo, 30 mL de solução ácida (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>). As amostras foram agitadas por 5 minutos e, após 16h em repouso, o P disponível foi determinado espectrofotometricamente em 660 nm (MEHLICH, 1953).

## 2.7 Análises estatísticas

Os resultados de RMS pontual e acumulada foram analisados pontualmente pelos valores médios de quatro repetições e desvio padrão amostral. Nos resultados de atividade de enzimas, foi aplicada a análise de variância, sendo as médias comparadas pelo Teste de Tukey, ao nível de 0,05 de significância. A análise de regressão foi utilizada para verificar a resposta do P disponível à aplicação de COM. O coeficiente de

correlação de Pearson foi utilizado para avaliar as relações entre RMS, atividade das enzimas DHA, FDA,  $\beta$ -glicosidase, invertase, urease, fosfatases ácida e alcalina e o P disponível no solo.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Caracterização do COM

O COM, produto final do processo de compostagem dos resíduos orgânicos (esterco bovino e palha dos grãos de café), apresentou valor de pH elevado e teve sua carga orgânica reduzida em relação aos resíduos (TABELA 1). Além disso, houve aumento nos teores de nutrientes, tais como P, Ca, Mg, Mn, Co, B, e dos elementos-traço Cd e Cr como resultado do processo de compostagem (TABELA 1). Houve diminuição dos teores de Cu e Zn no COM em relação aos encontrados no esterco bovino.

#### 3.2 RMS

A adição de doses de COM aumentou a RMS (FIGURAS 1A e 1B). A maior atividade foi observada nos primeiros dias de incubação e atingiu valor máximo de 133 mg C-CO<sub>2</sub> kg solo<sup>-1</sup>, quando da adição de 80 g kg<sup>-1</sup> de COM (FIGURA 1A). No 28º dia de incubação, a adição de composto apresentou valores de RMS semelhantes ao controle, exceto para a adição de 80 g kg<sup>-1</sup> (FIGURA 1A). As adições de 10, 20, 40 e 80 g kg<sup>-1</sup> de COM aumentaram a RMS acumulada em 1,3; 1,7; 2,6 e 4,7 vezes, quando comparada com o controle, respectivamente (FIGURA 1B) ao final do período de incubação.

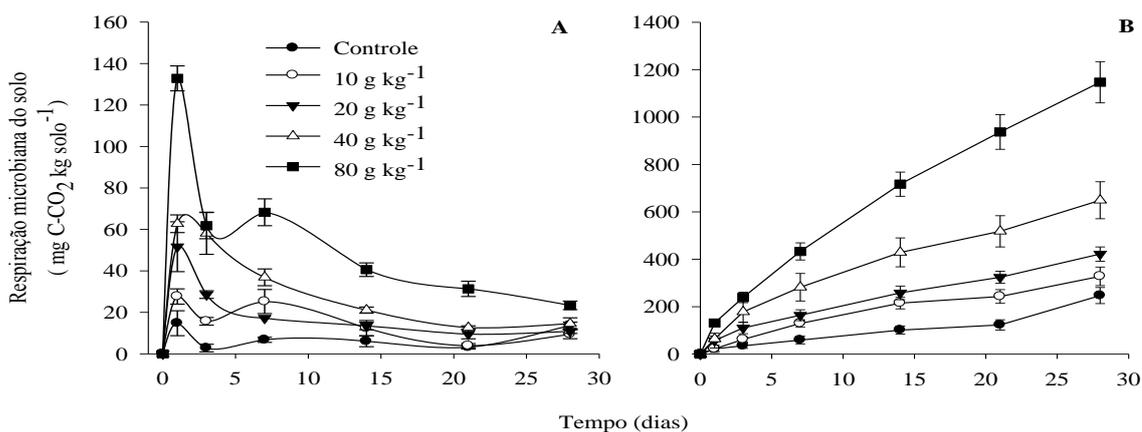


FIGURA 1. Efeito da adição de composto organomineral na respiração microbiana do solo em condições de incubação no período de avaliação. Atividade microbiana pontual (A) e atividade microbiana acumulada (B). Barras indicam o desvio padrão amostral de cada ponto (n=4).

#### 3.3 Atividade de enzimas no solo

No final do período de incubação, a adição de COM teve implicações na atividade das enzimas avaliadas. A atividade da DHA aumentou significativamente, quando da adição de composto acima de 20 g kg<sup>-1</sup> (FIGURA 2A). Os aumentos da FDA foram expressivos a partir da adição de 10 g kg<sup>-1</sup> e em relação ao controle (FIGURA 2B).

A atividade de β-glicosidase aumentou com a adição de COM e em comparação ao controle, exceto na adição de 10 g kg<sup>-1</sup> (FIGURA 2C). Os valores encontrados para a invertase mostraram uma redução da atividade, quando das adições de 40 e 80 g kg<sup>-1</sup> em relação aos demais tratamentos (FIGURA 2D). Entretanto, para a enzima urease, não foram verificados aumentos significativos de atividade com a adição de COM (FIGURA 2E).

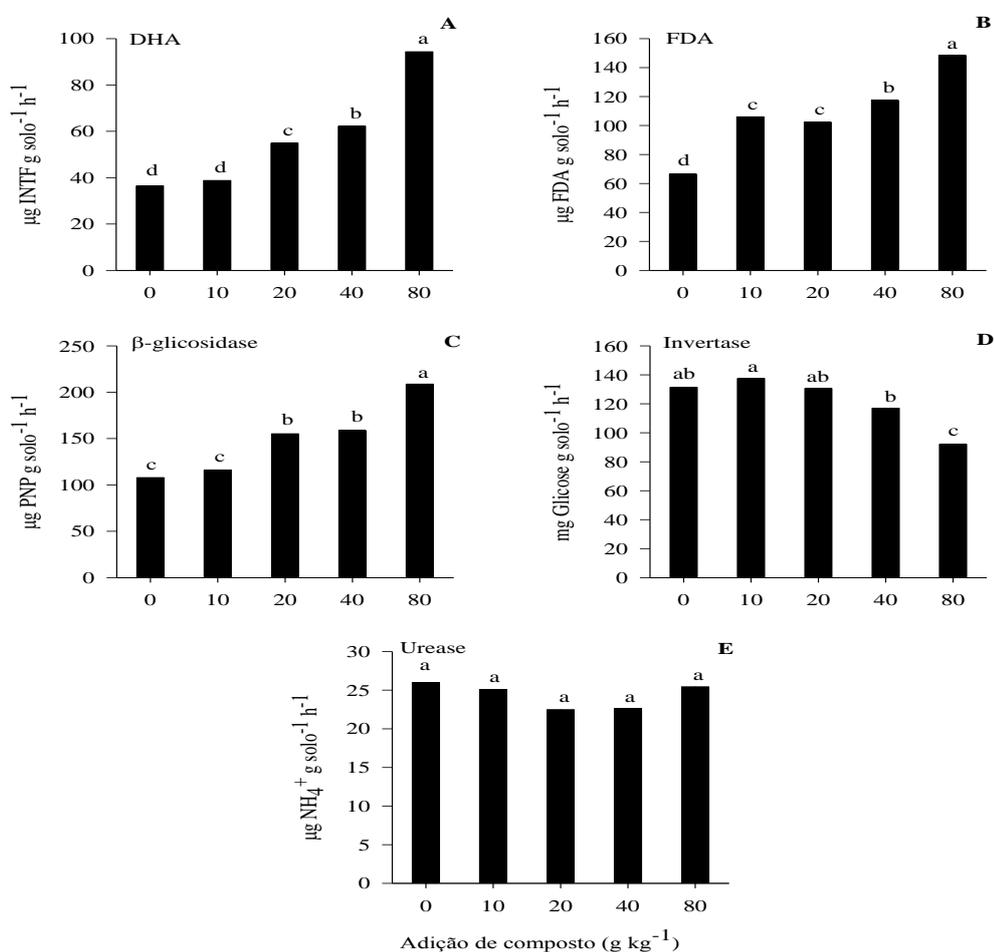


FIGURA 2. Atividade de enzimas em resposta à adição de composto organomineral no solo ao final de 28 dias de incubação. Em A, a atividade de desidrogenase (DHA); B, atividade de hidrolases do diacetato de fluoresceína (FDA); C, atividade de β-glicosidase; D, atividade de invertase e E, atividade de urease. Letras diferentes sobre as barras mostram diferenças estatísticas entre as médias das doses adicionadas, quando analisadas pelo Teste de Tukey, ao nível de 0,05 de significância.

A atividade da fosfatase ácida aumentou com adição de COM, com destaque para a adição de 80 g kg<sup>-1</sup> que foi 1,8 vezes maior que o controle (FIGURA 3A). Não houve diferença significativa de atividade entre as adições de 10, 20 e 40 g kg<sup>-1</sup> de COM. A atividade da fosfatase alcalina aumentou, em resposta à adição de COM (FIGURA 3B).

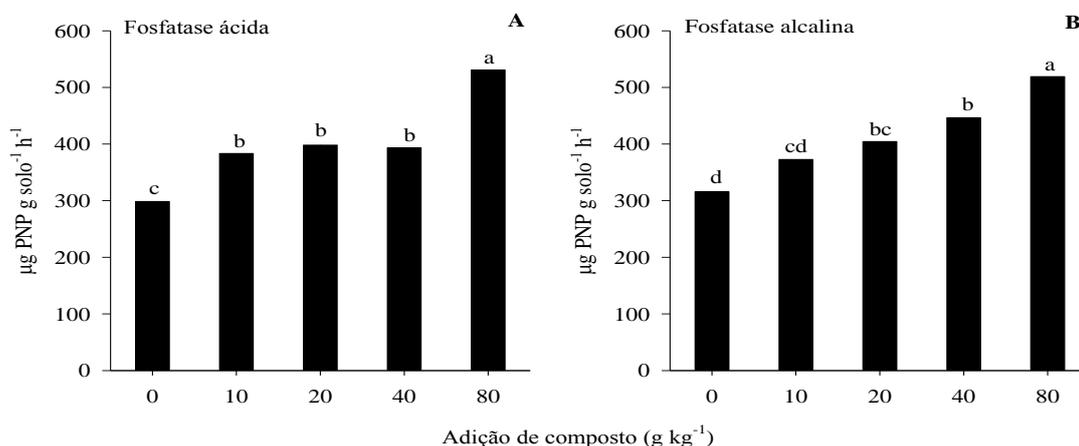


FIGURA 3. Atividade das enzimas fosfatases ácida (A) e alcalina (B) em resposta à adição de composto organomineral no solo ao final de 28 dias de incubação. Letras diferentes sobre as barras mostram diferenças estatísticas entre as médias das doses adicionadas, quando analisadas pelo Teste de Tukey, ao nível de 0,05 de significância.

### 3.4 Disponibilidade de fósforo no solo

A adição de COM resultou em aumento linear na disponibilidade de P. A equação ajustada indica que para cada 1g kg<sup>-1</sup> de COM adicionado, tem-se um acréscimo de 16, 2819 no P disponível no solo. Entretanto, se não for aplicado COM, a estimativa do P disponível será de 163, 9395 mg kg<sup>-1</sup> (FIGURA 4).

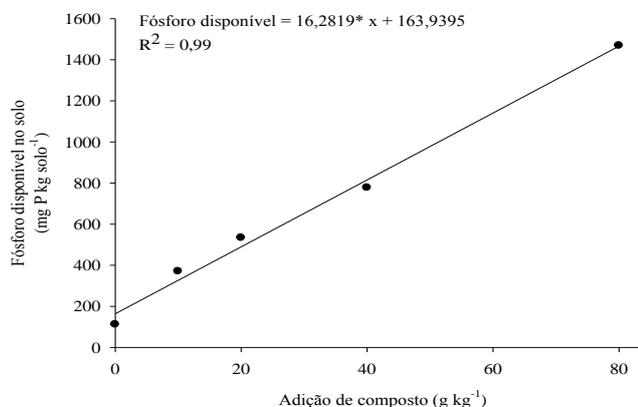


FIGURA 4. Disponibilidade de P em função da aplicação de composto organomineral no solo ao final de 28 dias de incubação. O asterisco (\*) indica a significância ( $p < 0,001$ ) do parâmetro calculado para a disponibilidade de P, em função da adição de composto organomineral no solo.

### 3.5 Correlação entre a RMS, enzimas e P disponível

A RMS e o P disponível foram correlacionados positivamente com todas as enzimas avaliadas, exceto com a invertase e a urease (TABELA 2). Enquanto a invertase apresentou correlação negativa com as demais variáveis, a urease não se correlacionou com nenhum dos atributos avaliados.

TABELA 2. Relação entre parâmetros biológicos e bioquímicos do solo, n = 180.

Parâmetros	RMS	DHA	FDA	BG	INV	FAC	FAL	UR
RMS								
DHA	0,97**							
FDA	0,90**	0,89**						
BG	0,91**	0,95**	0,86**					
INV	-0,92**	-0,88**	-0,75*	-0,82*				
FAC	0,91**	0,90**	0,94**	0,87**	-0,82*			
FAL	0,92**	0,90**	0,911**	0,87**	-0,79*	0,90**		
UR	0,05 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	
Pd	0,97**	0,98**	0,93**	0,94**	-0,87**	0,94**	0,92**	0,01 <sup>ns</sup>

RMS, respiração microbiana do solo; DHA, desidrogenase; FDA: hidrolases do diacetato de fluoresceína; BG,  $\beta$ -glicosidase; INV, invertase; FAC, fosfatase ácida; FAL, fosfatase alcalina; UR, urease e Pd, fósforo disponível. \*  $p < 0,01$ ; \*\*  $p < 0,001$ ; <sup>ns</sup> não significativo.

## 4 DISCUSSÃO

O processo de compostagem resultou em aumento do valor de pH, o qual pode estar associado à liberação de cátions da matéria orgânica em decomposição e à mineralização do N orgânico, levando à formação de compostos de caráter alcalino (KIEHAL, 1998; MARSCHNER; NOBLE, 2000; XU et al., 2006). Entretanto, ao final do período de incubação, não foram observadas alterações no pH do solo com adição de COM, quando comparado ao controle (dados não mostrados). Esses valores mostram que o COM, apesar de ter sido caracterizado como alcalino, não foi eficiente em neutralizar a acidez do solo.

O aumento nos teores de P, Ca, Mg, Mn, Co e B no COM, em relação ao esterco bovino e à palha dos grãos de café, é consequência da redução de 14,2% da carga orgânica dos resíduos. Durante a compostagem, a atividade de microrganismos em decompor e mineralizar a matéria orgânica reduz a quantidade de C dos resíduos. Esse processo concentra os nutrientes no volume final dos compostos orgânicos (BERNAL et al., 1998; RICHARD; WOODBURY, 1992). Além disso, a presença de rocha fosfática e gesso agrícola no composto, provavelmente, contribuiu para o aumento do conteúdo desses nutrientes. Portanto, a preparação do COM pode refletir em aumento de nutrientes disponíveis às plantas. Os teores de elementos-traço presentes no COM estão abaixo do limite máximo considerado para fertilizantes organominerais (MAPA, 2006).

A RMS respondeu à adição de COM e os maiores valores foram encontrados na adição de 80 g kg<sup>-1</sup>. A maior atividade de RMS observada no período de 1 a 3 dias de incubação (FIGURA 1A) indica que o COM adicionado apresenta C orgânico prontamente disponível para os microrganismos do solo. Nos demais dias de avaliação, a RMS apresentou uma estabilização da atividade. A RMS acumulada observada neste trabalho pode refletir o potencial de mineralização do COM adicionado sobre as diferentes doses, com destaque expressivo das adições de 40 e 80 g kg<sup>-1</sup> (FIGURA 1B). As diferenças de atividade, possivelmente, são resultado de fontes de C e de nutrientes adicionados via composto. O P, particularmente, tem sido relatado como fator limitante da atividade de microrganismos no solo (CLEVELAND et al., 2002; EHLERS et al., 2010; GARCÍA-GIL et al., 2000) e como alternativa de enriquecimento de compostos orgânicos destinados à agricultura (KHAN; JOERGENSEN, 2009; MUHAMMAD et al., 2007).

As enzimas DHA e FDA participam das vias de respiração dos microrganismos, assim os maiores valores de atividade encontrados após adição de COM confirmam os resultados encontrados para a RMS. A maior disponibilidade de matéria orgânica adicionada via COM reflete em maior atividade microbiana e, conseqüentemente, induz a síntese de enzimas DHA e FDA que hidrolisam os substratos INT e diacetato de fluoresceína nos ensaios de determinação. Vários resultados têm mostrado que a adição no solo de resíduos orgânicos aumenta a RMS e a disponibilidade de nutrientes (LEIFELD et al., 2002; LEVI-MINZI et al., 1990; MARY et al., 1996; NZIGUHEBA et al., 2000). O ensaio experimental realizado por Chu et al. (2007) ressalta que a presença de P aumenta a atividade da DHA em comparação a outros nutrientes (N e K), sugerindo a importância do P no metabolismo microbiano do solo.

A adição de COM modificou significativamente os valores da atividade da  $\beta$ -glicosidase, quando das adições acima de  $20 \text{ g kg}^{-1}$ . Os efeitos da adição de compostos orgânicos na atividade da  $\beta$ -glicosidase têm sido relatados em outros trabalhos (GARCÍA-GIL et al., 2000; NAYAK et al., 2007). A atividade dessa enzima é um dos principais indicadores da transformação da matéria orgânica e disponibilização de C (glicose) aos microrganismos, com implicações importantes sobre o processo de mineralização do C orgânico no solo (SYLVIA et al., 1999). A menor atividade encontrada para a invertase com as adições de  $40$  e  $80 \text{ g kg}^{-1}$  de COM, possivelmente, ocorreu devido ao menor número de enzimas produzidas.

A atividade da urease não foi alterada com as adições de COM. Esse fato pode estar relacionado ao suprimento satisfatório de N no solo. As concentrações de  $\text{N-NH}_4^+$ ,  $\text{N-NO}_2$ , e  $\text{N-NO}_3^-$  provenientes da liberação de aminoácidos e bases nitrogenadas pela decomposição da matéria orgânica podem inibir a atividade da urease e dos microrganismos nitrificadores (CLARK; PAUL, 1970; VASCONCELLOS et al., 2001).

A atividade das fosfatases aumentou com a adição de COM no solo (FIGURAS 3A e 3B). Os maiores valores de atividade encontrados, provavelmente, estão ligados a aumentos na atividade dos microrganismos e, conseqüentemente, maior síntese de enzimas no solo. Porém, os resultados mostram que esse aumento não foi proporcional às adições de C orgânico e P (dados não mostrados). Isso pode estar relacionado à capacidade dos microrganismos em sintetizar essas enzimas e também à maior disponibilização de P no solo. Estudos têm relatado que a atividade das fosfatases é inibida pela adição de P inorgânico ao solo (OLANDER; VITOUSEK, 2000; TRASAR-CEPEDA et al., 2008). A maior disponibilidade de P, após adição de COM, pode ser

resultado da solubilização química e/ou biológica do P mineral e também do aumento da atividade das enzimas fosfatases.

O estudo de correlação mostra uma correlação positiva significativa entre a RMS e a atividade de enzimas relacionadas aos processos microbianos intracelulares (DHA e FDA), e com a etapa final de decomposição de resíduos orgânicos ( $\beta$ -glicosidase). O P disponível está diretamente correlacionado à RMS, sugerindo que o P é um nutriente essencial para a manutenção de grande parte das funções biológicas e bioquímicas do solo (CLEVELAND et al., 2002, EHLERS et al., 2010).

Os resultados obtidos neste trabalho mostram que o COM teve implicação importante na RMS e na atividade de enzimas, o que pode interferir na intensidade dos processos biológicos e bioquímicos do solo. No entanto, mais ensaios com diferentes tipos de resíduos enriquecidos com P devem ser realizados em busca de maiores informações a respeito da atividade de enzimas no solo, sobretudo das fosfatases. Além disso, a aquisição de maior conhecimento sobre o impacto da adição de resíduos orgânicos no manejo do solo pode estimular o aproveitamento desses resíduos na agricultura, em substituição, pelo menos parcial, de fertilizantes minerais.

## 5 CONCLUSÕES

1. A aplicação de composto organomineral aumenta a atividade respiratória microbiana;
2. A atividade das enzimas DHA, FDA,  $\beta$ -glicosidase e fosfatases ácida e alcalina aumentam com a adição de composto organomineral no solo, todavia o aumento da atividade não é proporcional às adições de COM;
3. A aplicação de composto organomineral enriquecido com fosfato natural reflete em aumento na disponibilidade de P no solo;
4. Existe uma correlação positiva entre a RMS, atividade das enzimas DHA, FDA,  $\beta$ -glicosidase e fosfatases ácida e alcalina, bem como com o P disponível no solo.

## REFERÊNCIAS

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry**, Academic Press, London, 1995. 576p.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Application of eco-physiological quotients ( $q\text{CO}_2$  and  $q\text{D}$ ) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.22, n.2, p.251-255, 1990.

ANDRÉS, P. et al. Effects of digested, composted, and thermally dried sewage sludge on soil microbiota and mesofauna. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.48, n.2, p.236-242, 2011.

AYAGA, G.; TODD, A.; BROOKES, P.C. Enhanced biological cycling of phosphorus increases its availability to crops in low-input sub-Saharan farming systems. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.38, n.1, p.81-90, 2006.

BARDGETT, R.D.; JAMES, L.; LEEMANS, D.K. Microbial biomass and activity in a grassland soil amended with different application rates of silage effluent: "A laboratory study". **Bioresource Technology**, New York, v.52, n.2, p.175-180, 1995.

BERNAL, M.P. et al. Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen mineralization in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.30, n.3, p.305-313, 1998.

BERNAL, M.P.; ALBURQUERQUE, J.A.; MORAL, R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: A review. **Bioresource Technology**, New York, v.100, n.22, p.5444-5453, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 27, de 5 de julho de 2006. Dispõe sobre fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, para serem produzidos, importados ou comercializados, deverão atender aos limites estabelecidos no que se refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 9 jul. 2006. p. 15.

BROWNE, P. et al. Superior inorganic phosphate solubilization is linked to phylogeny within the *Pseudomonas fluorescens* complex. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.43, n.1, p.131-138, 2009.

CALDWELL, B.A. Enzyme activities as a component of soil biodiversity: A review. **Pedobiologia**, Jena, v.49, n.6, p.637-644, 2005.

CHU, H. et al. Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.39, n.11, p.2971-2976, 2007.

CLARK, F.E.; PAUL, E.A. The microflora of grassland. **Advances in Agronomy**, Newark, v.22, p.375-435, 1970.

CLEVELAND, C.C.; TOWNSEND, A.R.; SCHMIDT, S.K. Phosphorus Limitation of Microbial Processes in Moist Tropical Forests: Evidence from short-term laboratory incubations and field studies. **Ecosystems**, New York, v.5, n.7, p.680-691, 2002.

DILLY, O.; MUNCH, J.C. Microbial biomass content, basal respiration and enzyme activities during the course of decomposition of leaf litter in a black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) forest. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.28, n.8, p.1073-1081, 1996.

DOMENE, X. et al. Soil bioassays as tools for sludge compost quality assessment. **Waste Management**, New York, v.31, n.3, p.512-522, 2011.

EHLERS, K. et al. Phosphorus limitation in a Ferralsol: Impact on microbial activity and cell internal P pools. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.42, n.4, p.558-566, 2010.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M.A. Glucosidases and galactosidases in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.20, n.5, p.601-606, 1988.

ELSER, J.J. et al. Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. **Ecology Letters**, Oxford, v.10, n.12, p.1135-1142, 2007.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Distrito Federal: Embrapa, 2006. 306p.

FERNÁNDEZ, J.M. et al. Biochemical properties and barley yield in a semiarid Mediterranean soil amended with two kinds of sewage sludge. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.42, n.1, p.18-24, 2009.

GARCÍA-GIL, J.C. et al. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.32, n.13, p.1907-1913, 2000.

GNANKAMBARY, Z. et al. Nitrogen and phosphorus limitation of soil microbial respiration in two tropical agroforestry parklands in the south-Sudanese zone of Burkina Faso: The effects of tree canopy and fertilization. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.40, n.2, p.350-359, 2008.

GRIGATTI, M. et al. Potential nitrogen mineralization, plant utilization efficiency and soil CO<sub>2</sub> emissions following the addition of anaerobic digested slurries. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v.35, n.11, p.4619-4629, 2011.

ILSTEDT, U.; SINGH, S. Nitrogen and phosphorus limitations of microbial respiration in a tropical phosphorus-fixing acrisol (ultisol) compared with organic compost. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.37, n.7, p.1407-1410, 2005.

ILSTEDT, U.; SINGH, S.; NORDGREN, A. Using perlite as a substrate carrier for measuring microbial available phosphorus by respiration kinetics in soils. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.43, n.5, p.503-510, 2007.

KHAN, K.S.; JOERGENSEN, R.G. Changes in microbial biomass and P fractions in biogenic household waste compost amended with inorganic P fertilizers. **Bioresource Technology**, New York, v.100, n.1, p.303-309, 2009.

KHIARI, L.; PARENT, L.E. Phosphorus transformations in acid light-textured soils treated with dry swine manure. **Canadian Journal of Soil Science**, Canada, v.85, n.1, p.75-87, 2005.

KIEHAL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: Kiehl, E. J., 1998, 171p.

KJELDAHL, J. A new method for the determination of nitrogen in organic matter. **Zeitschrift für Analytische Chemie**, Berlin, v.22, p. 366, 1883.

KÖPPEN, W. **Grundriss der Klimakunde**. Berlin: Walter de Gruyter, 1931. 390p.

- KOWALJOW, E.; MAZZARINO, M.J. Soil restoration in semiarid Patagonia: Chemical and biological response to different compost quality. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.39, n.7, p.1580-1588, 2007.
- LAOS, F. et al. Nutrient availability of composted and noncomposted residues in a Patagonian Xeric Mollisol. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.31, n.6, p.462-469, 2000.
- LEIFELD, J.; SIEBERT, S.; KÖGEL-KNABNER, I. Biological activity and organic matter mineralization of soils amended with biowaste composts. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Germany, v.165, n.2, p.151-159, 2002.
- LEVI-MINZI, R.; RIFFALDI, R.; SAVIOZZI, A. Carbon mineralization in soil amended with different organic materials. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.31, n.4, p.325-335, 1990.
- MANDAL, A. et al. Effect of long-term application of manure and fertilizer on biological and biochemical activities in soil during crop development stages. **Bioresource Technology**, New York, v.98, n.18, p.3585-3592, 2007.
- MARCOTE, I. et al. Influence of one or two successive annual applications of organic fertilisers on the enzyme activity of a soil under barley cultivation. **Bioresource Technology**, New York, v.79, n.2, p.147-154, 2001.
- MARSCHNER, B.; NOBLE, A.D. Chemical and biological processes leading to the neutralisation of acidity in soil incubated with litter materials. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.32, n.6, p.805-813, 2000.
- MARY, B. et al. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. **Plant and Soil**, Netherlands, v.181, n.1, p.71-82, 1996.
- MEHLICH, A. 1953. **Determination of P, Ca, Mg, K, Na, and NH<sub>4</sub>** North Carolina Soil Test Division (Mimeo 1953). North Carolina Department of Agriculture, Raleigh, NC.
- MERSI, W.; SCHINNER, F. An improved and accurate method for determining the dehydrogenase activity of soils with iodinitrotetrazolium chloride. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.11, n.3, p.216-220, 1991.

MUHAMMAD, S.; MÜLLER, T.; JOERGENSEN, R.G. Compost and P amendments for stimulating microorganisms and maize growth in a saline soil from Pakistan in comparison with a nonsaline soil from Germany. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Germany, v.170, n.6, p.745-752, 2007.

NANNIPIERI, P.; MUCCINI, L.; CIARDI, C. Microbial biomass and enzyme activities: Production and persistence. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.15, n.6, p.679-685, 1983.

NAYAK, D.R.; BABU, Y.J.; ADHYA, T.K. Long-term application of compost influences microbial biomass and enzyme activities in a tropical Aeris Endoaquept planted to rice under flooded condition. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.39, n.8, p.1897-1906, 2007.

NZIGUHEBA, G. et al. Organic residues affect phosphorus availability and maize yields in a Nitisol of western Kenya. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.32, n.4, p.328-339, 2000.

OLANDER, L.P.; VITOUSEK, P.M. Regulation of soil phosphatase and chitinase activity by N and P availability. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.49, n.2, p.175-191, 2000.

RASHID, A.; AWAN, Z.I.; RYAN, J. Diagnosing phosphorus deficiency in spring wheat by plant analysis: proposed critical concentration ranges. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Nova York, v.36, n.4-6, p.609-622, 2005.

RAUT, M.P. et al. Microbial dynamics and enzyme activities during rapid composting of municipal solid waste - A compost maturity analysis perspective. **Bioresource Technology**, New York, v.99, n.14, p.6512-6519, 2008.

RICHARD, T.L.; WOODBURY, P.B. The impact of separation on heavy metal contaminants in municipal solid waste composts. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v.3, n.3-4, p.195-211, 1992.

SANTOS, J.A. et al. Tannery sludge compost amendment rates on soil microbial biomass of two different soils. **European Journal of Soil Biology**, v.47, n.2, p.146-151, 2011.

SCHINNER, F.; VON MERSI, W. Xylanase-, CM-cellulase- and invertase activity in soil: an improved method. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.22, p.511-515, 1990.

SCHNÜRER, J.; ROSSWALL, T. Fluorescein diacetate hydrolysis a measure of total microbial activity in soil and litter. **Applied Environmental Microbiology**, Washington, v.43, n.6, p.1256-1261, 1982.

SHIRALIPOUR, A.; MCCONNELL, D.B.; SMITH, W.H. Uses and benefits of MSW compost: A review and an assessment. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v.3, n.3/4, p.267-279, 1992.

STOTZKY, G. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965.

SYLVIA, D.M. et al. **Principles and applications of soil microbiology**. Prentice Hall, New Jersey, 1999. 550p.

TABATABAI, M.A.; BREMNER, J.M. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.1, n.4, p.301-307, 1969.

TEJADA, M.; GONZALEZ, J.L. Influence of organic amendments on soil structure and soil loss under simulated rain. **Soil and Tillage Research**, Germany, v.93, n.1, p.197-205, 2007.

TRASAR-CEPEDA, C.; LEIRÓS, M.C.; GIL-SOTRES, F. Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.40, n.9, p.2146-2155, 2008.

VASCONCELLOS, C.A. et al. Resíduos de sorgo e a mineralização do nitrogênio em Latossolo Vermelho fase cerrado. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, p.373-379, 2001.

VITOUSEK, P.M.; SANFORD, R.L.; JR. Nutrient Cycling in Moist Tropical Forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v.17, p.137-167, 1986.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v.37, p.29-38, 1934.

XU, J.M.; TANG, C.; CHEN, Z.L. The role of plant residues in pH change of acid soils differing in initial pH. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.38, n.4, p.709-719, 2006.

YAÑEZ, R. et al. Selective organic compounds degradation under controlling composting conditions. **Waste Management**, New York, v.30, n.5, p.755-763, 2010.

## **CAPÍTULO II**

## RESPOSTA MICROBIANA E BIOQUÍMICA DO SOLO À ADIÇÃO DE PALHA DE CAFÉ EM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO

### RESUMO

A aplicação de resíduos de plantas em sistemas agrícolas é uma importante alternativa sustentável, com implicações nos indicadores biológicos e bioquímicos do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto da adição de palha dos grãos de café (PC) na respiração microbiana do solo (RMS) e indicadores bioquímicos em Latossolo Vermelho Amarelo. A PC utilizada é um subproduto do beneficiamento de grãos de café. O ensaio de incubação foi montado com a adição de 7, 14, 28 e 56 g PC kg<sup>-1</sup> de solo seco; com quatro repetições. A adição de PC no solo resultou em aumento na RMS com destaque para a adição de 56 g kg<sup>-1</sup>. Houve também aumentos proporcionais de 1,8 vezes entre as adições na taxa respiratória diária. Em resposta à adição de PC, a atividade da desidrogenase e das hidrolases do diacetato de fluoresceína aumentou significativamente em relação ao controle. A porcentagem de mineralização do carbono da PC foi maior nas adições de 7 e 14 g kg<sup>-1</sup> e menor quando da adição de 28 e 56 g kg<sup>-1</sup>. A atividade de enzimas,  $\beta$ -glicosidase e fosfatases (ácida e alcalina), aumentou com a adição de PC. A atividade da invertase e urease aumentou com as adições de 7 e 56 g kg<sup>-1</sup> de PC, respectivamente. Os resultados obtidos sugerem que o retorno de PC ao sistema produtivo pode ser uma prática de manejo importante, em decorrência das modificações identificadas nos processos bioquímicos do solo.

**Palavras - chave:** resíduo orgânico; mineralização do carbono; respiração microbiana; enzimas.

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de resíduos de culturas pode representar uma estratégia para melhorar a produtividade agrícola e a qualidade do solo (AJWA; TABATABAI, 1994; SAVIOZZI et al., 1997; TIAN et al., 1992). A aplicação de resíduos orgânicos tem sido avaliada principalmente no aumento da disponibilidade de nutrientes às plantas (HADAS et al., 2004; JANZEN; KUCEY, 1988; JUMA; TABATABAI, 1988; LUPWAYI et al., 2007; REINERTSEN et al., 1984). No entanto, a utilização de resíduos orgânicos na agricultura implica em mudanças não só nas propriedades químicas, mas também nos atributos físicos e bioquímicos do solo, importantes para a manutenção de agrossistemas e ecossistemas terrestres (ALBIACH et al., 2001; BELYAEVA; HAYNES, 2009; FERRERAS et al., 2006).

Em solos tropicais, a aplicação de resíduos orgânicos é uma prática importante devido à rápida decomposição da matéria orgânica, que está relacionada às condições de temperatura e umidade (CARVALHO et al., 2008; TIAN et al., 1992). Além disso, outros fatores interferem na decomposição dos resíduos orgânicos como a quantidade e qualidade do resíduo adicionado (ANGERS; RECOUS, 1997; NICOLARDOT et al., 2001; SARAH, 1992; TRINSOUTROT et al., 2000). A qualidade do resíduo é uma característica importante, pois resíduos com baixa relação carbono: nitrogênio (C:N) têm elevada capacidade em disponibilizar nutrientes. Por outro lado, a alta relação C:N resulta em imobilização de nutrientes na biomassa microbiana, afetando o crescimento e desenvolvimento das plantas (HADAS et al., 2004; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Embora o papel dos resíduos de plantas na manutenção da matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes tenha sido relatado (GIACOMINI et al., 2008; JUMA; TABATABAI, 1988; KNAPP et al., 1983; LEVI-MINZI et al., 1990; REINERTSEN et al., 1984), pouco se sabe sobre o impacto da adição de resíduos de plantas nas propriedades bioquímicas do solo (HENRIKSEN; BRELAND, 2002). A decomposição e mineralização dos resíduos orgânicos são resultado da atividade de microrganismos, cujo indicador mais utilizado para sua avaliação é a respiração microbiana do solo (RMS), por estar associada à atividade metabólica do solo (CARVALHO et al., 2008; PAUSTIAN et al., 2000). Os resíduos de plantas e os produtos de sua decomposição podem ainda implicar em diferenças na atividade de enzimas envolvidas nos processos de decomposição e mineralização do resíduo. As enzimas desidrogenase (DHA) e as hidrolases do diacetato de fluoresceína (FDA) são bons indicadores para avaliar a

atividade microbiana quando do uso de resíduos orgânicos, por estarem ligadas à células microbianas viáveis e à capacidade oxidativa dos microrganismos (NANNIPIERI et al., 1983; TRASAR-CEPEDA et al., 2008). A  $\beta$ -glicosidase também é considerada um importante indicador bioquímico, devido a sua atuação na hidrólise e biodegradação de compostos orgânicos (ALEF; NANNIPIERI, 1995; NAYAK et al., 2007). A atividade biológica do solo afeta a atividade das fosfatases, que são enzimas relacionadas à mineralização das frações orgânicas contendo P (BARDGETT et al., 1995; GARCÍA-GIL et al., 2000; TABATABAI; BREMNER, 1969).

O Brasil é destaque mundial no cultivo de café, que atualmente ocupa 2.351,3 mil hectares com produção aproximada de 2,6 bilhões de kg de grãos na última safra (CONAB, 2011). Associadas a essa grande produção, quantidades expressivas de palha são geradas como subproduto do beneficiamento dos grãos de café. O retorno desse resíduo ao sistema produtivo não tem sido uma prática normalmente adotada pelos produtores. Estudos revelam que a palha dos grãos de café apresenta considerável valor agrônomo, em decorrência dos altos teores de nitrogênio (N) e potássio (K) presentes (MALAVOLTA, 1993; SEDIYAMA et al., 2000).

Uma maior quantidade de informação sobre a decomposição de várias fontes de resíduos de culturas no solo é necessária e essencial para a melhoria da produção de plantas comercialmente importantes, e também para a manutenção da qualidade do solo através da adoção de práticas de manejo de resíduos (AJWA; TABATABAI, 1994; ANGERS; RECOUS, 1997; CARVALHO et al., 2008). Assim, o presente trabalho teve como objetivos avaliar a respiração microbiana, mineralização do C orgânico e propriedades bioquímicas do solo em resposta a adição de palha dos grãos de café em condições de incubação.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Local e amostragem do solo

O estudo foi realizado em abril de 2011, com amostras de solo coletadas em sistema de produção de café (*Coffea arabica* L.) no município de Patrocínio, em Minas Gerais, georeferenciado em 18°47' S e 47°00' W e altitude de 939 m. O clima local é definido como do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen (1931), com estação seca de maio a setembro, pluviosidade média anual de 1.500 mm e temperatura média anual de 22,3°C. A lavoura era formada por 5.444 plantas de café por hectare da variedade Catuaí 144, plantadas no ano 2000. O solo foi definido como de textura argilosa e classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (EMBRAPA, 2006).

A amostragem do solo foi realizada na profundidade de 0-5 cm em área de 20x30cm, coletando-se quatro sub-amostras em quatro pontos distribuídos aleatoriamente nas linhas de plantio do cafeeiro. As amostras de solo foram passadas em peneira de 4 mm. Uma porção de solo foi seca ao ar para caracterização química (EMBRAPA, 1997), a saber: pH em água, 5,4; fósforo, 139 mg dm<sup>-3</sup>; potássio, 192 mg dm<sup>-3</sup>; cálcio, 1,7 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; magnésio, 0,7 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e matéria orgânica, 24 g kg<sup>-1</sup> de solo. O restante de solo úmido foi conservado em geladeira (4°C) para posterior realização do ensaio de incubação.

### 2.2 Caracterização da palha dos grãos de café (PC)

A palha utilizada neste trabalho é um subproduto gerado durante o beneficiamento dos grãos de café. No laboratório, a palha foi seca a 65°C e macerada em cadinho de porcelana para caracterizações físico-químicas (TABELA 1). A densidade e pH (em água) foram determinados conforme descrito por Embrapa (1997). O carbono orgânico foi determinado por combustão úmida (WALKEY; BLACK, 1934) e o nitrogênio total por digestão sulfúrico-perclórica, seguido de destilação Kjeldahl (1883). Os macronutrientes, micronutrientes e elementos-traço totais foram extraídos por digestão úmida nítrico-perclórica, com suas respectivas quantificações em espectrometria de emissão atômica por plasma (ICP-OES). Todas as análises representam a média de duas determinações em cada uma das amostras.

TABELA 1. Caracterização química e física da palha dos grãos de café.

Macronutrientes (g kg <sup>-1</sup> )		Micronutrientes (mg kg <sup>-1</sup> )		Elementos-traço (mg kg <sup>-1</sup> )	
C orgânico	320	Cu	26	Cd	< 0,2
N	15	Zn	13	Cr	17
P	2,7	Mn	82	Ni	5
K	31	Co	1	Pb	4
Ca	7	B	13		
Mg	1,9				
S	1,6				
		pH (água)	5,6	C/N	21/1

### 2.3 Ensaio de incubação com PC

O ensaio de incubação com adição de PC foi realizado em frasco (500 mL) com tampa de vedação hermética contendo 100g de solo úmido. Os tratamentos utilizados foram constituídos da adição de palha, previamente macerado em cadinho de porcelana, nas quantidades de 0, 7, 14, 28 e 56 g kg<sup>-1</sup> de solo seco, com quatro repetições. A umidade do solo, nos frascos, foi ajustada para 60% da capacidade de campo. O ensaio foi mantido a temperatura de 25°C por 28 dias.

### 2.4 Análise da RMS

A RMS foi avaliada em frascos de incubação, de acordo com Stotzky (1965). Em cada frasco, colocou-se um copo plástico (40 mL) contendo 10 mL hidróxido de sódio (NaOH, 1 mol L<sup>-1</sup>) para captura do CO<sub>2</sub> liberado da respiração microbiana. A quantificação de C-CO<sub>2</sub> liberado foi realizada após 1, 3, 7, 14, 21 e 28 dias de incubação, pela titulação do excesso de NaOH com ácido clorídrico (HCl, 0,5 mol L<sup>-1</sup>), em presença de cloreto de bário (BaCl<sub>2</sub>, 1 mol L<sup>-1</sup>) e fenolftaleína (1%).

### 2.5 Mineralização da PC

A mineralização do C de PC foi calculada com base nos dados de C-CO<sub>2</sub> medidos em cada data de avaliação. O cálculo da mineralização do C para os tratamentos com a adição de palha foi realizado de acordo com a equação proposta por Sylvia et al. (1999):

$$MC = \frac{CO_{2pc} - CO_{2cont}}{Cadic} \times 100$$

sendo: MC a mineralização do C da palha (% do C adicionado); CO<sub>2</sub>pc e CO<sub>2</sub>cont correspondem às quantidades de C-CO<sub>2</sub> liberados (mg kg<sup>-1</sup>) nos tratamentos com adição de PC e no tratamento controle, respectivamente; e Cadic o C adicionado (mg kg<sup>-1</sup>) com PC.

## 2.6 Atividade de enzimas no solo

No final do período de incubação, amostras de solo incubado foram retiradas dos frascos para a determinação da atividade de enzimas. A enzima desidrogenase (E.C. 1.1.1) foi determinada pelo método de Mersi e Schinner (1991). Em tubo falcon (50 mL) contendo 1g de solo, foram adicionados 1,5 mL de tampão hidroximetilaminometano (TRIS, 1mol L<sup>-1</sup>, pH 7,5) e 2 mL do substrato INT (2-*p* – *iodo-nitrophenyl-phenyltetrazolium chloride*, 4,4 mmol L<sup>-1</sup>). Em seguida, as amostras foram incubadas a 40°C por 1h. O produto da atividade enzimática (INTF, *iodo-nitrophenyl-formazan*) foi extraído com a adição de 10 mL de solução metanol-dimetilformamida (1:1) e as amostras mantidas no escuro por 20 minutos. Uma alíquota de 2 mL do sobrenadante foi coletada e centrifugada a 5.000 x g por 10 minutos. A atividade da FDA foi determinada adicionando-se a 2g de solo, 15 mL de tampão fosfato de potássio (pH 7,6) e 0,2 mL do substrato (*fluorescein diacetate*). As amostras foram incubadas a 30°C por 1h em mesa agitadora horizontal e, em seguida, procedeu-se a extração da fluoresceína com 15 mL de solução clorofórmio-metanol (2:1), sendo as amostras novamente agitadas em mesa agitadora horizontal por 10 minutos (SCHNÜRER; ROSSWALL, 1982). Os produtos da atividade da DHA (INTF) e da FDA (fluoresceína) liberados durante o processo de extração foram determinados espectrofotometricamente em 490 nm.

A atividade extracelular da enzima β-glicosidase (E.C. 3.2.1.21) foi determinada conforme Eivazi e Tabatabai (1988). A β-glicosidase foi medida após a incubação de 1g de solo com 1 mL do substrato PNPG ( *p-nitrophenyl-β-D-glucopyranoside*, 4,2 mmol L<sup>-1</sup>) e 4 mL de tampão modificado universal (TMU, pH 6,0), por 3h a 37°C. Em seguida, adicionou-se 1 mL de CaCl<sub>2</sub> (1 mol L<sup>-1</sup>) e 4 mL NaOH (1 mol L<sup>-1</sup> ). Uma alíquota (2 mL) do sobrenadante foi coletada e centrifugada a 5.000 x g por 10 minutos e o produto da reação, o PNP (*p-nitrofenyl*), foi determinado no espectrofotômetro em 464 nm. A atividade da invertase (EC 3.2.1.26) foi determinada incubando-se 5g de solo com 15 mL de solução de sacarose (140 mmol L<sup>-1</sup>) e 5 mL de tampão universal (pH 5,5), por 24h a 37°C. A reação foi cessada com o aumento da temperatura para 80°C

por 20 minutos. Uma alíquota (2 mL) do sobrenadante foi coletada e centrifugada a 5.000 x g por 10 minutos (SCHINNER; MERISI, 1990). O produto da reação (glicose) foi avaliado pelo *kit* Glicose Bioliquid, conforme descrito no manual de instruções do fabricante (LABORCLIN<sup>®</sup>, Brasil), e sua absorvância medida no espectrofotômetro em 505 nm.

A urease foi determinada incubando-se 5g de solo com 5 mL de solução de uréia (555,6 mmol L<sup>-1</sup>) e 5 mL de tampão citrato (pH 6,7), por 3h a 37°C (GUAN et al., 1985). Uma alíquota (2 mL) do sobrenadante foi coletada e centrifugada a 5.000 x g por 10 minutos. O amônio liberado foi determinado pelo *kit* Uréia 500, conforme descrito no manual de instruções do fabricante (DOLLES<sup>®</sup>, Brasil), e sua absorvância medida no espectrofotômetro em 600 nm.

A atividade de fosfatases, ácida (E.C.3.1.3.2.) e alcalina (E.C.3.1.3.1), foi avaliada pela liberação de PNP do substrato sintético *p-nitrofenyl phosphate* (2,4 mmol L<sup>-1</sup>), utilizando tampão modificado universal (TMU) e ajustando o pH da solução em 4,0 e 9,0 para as respectivas enzimas, como descrito por Tabatabai e Bremner (1969). Em tubo falcon (50 mL), transferiu-se 1g de solo úmido e adicionou-se 4 mL de TMU e 1 mL de substrato. Os tubos foram incubados a 37°C por 1h. Após, adicionou-se 1 mL de CaCl<sub>2</sub> (1 mol L<sup>-1</sup>) e 4 mL de NaOH (1 mol L<sup>-1</sup>), seguido da agitação manual. Uma alíquota (2 mL) do sobrenadante foi centrifugada a 5.000 x g por 10 minutos. O PNP liberado foi determinado espectrofotometricamente em 405 nm.

Todas as determinações foram realizadas em controles para cada análise de atividade enzimática pelo mesmo protocolo analítico descrito, mas sem a adição de substrato. Os resultados foram expressos em mg ou µg de produto por grama de solo seco por hora.

### 2.7 Análises estatísticas

Os resultados de RMS e a mineralização do C da PC foram analisados, pontualmente, pelos valores médios de quatro repetições e desvio padrão amostral. Nos resultados de taxa respiratória microbiana e atividade de enzimas, foi aplicada a análise de variância e as médias comparadas pelo Teste de Tukey, ao nível de 0,05 de significância.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Caracterização da PC

A caracterização química revelou que a palha possui baixo valor de pH e teores altos de N e K (TABELA 1). Além disso, o resíduo apresentou valores expressivos de Cu e Mn. Os teores de elementos-traço estão abaixo do limite máximo considerado para fertilizantes orgânicos (MAPA, 2006).

#### 3.2 Resposta da RMS, DHA e FDA

A adição de PC aumentou a liberação de C-CO<sub>2</sub> acumulada em relação ao solo sem a adição de resíduo orgânico (FIGURA 1A). As diferenças da RMS acumulada são significativas entre os tratamentos nos períodos de avaliação. A adição de 56 g kg<sup>-1</sup> apresentou valores expressivos de RMS, em comparação aos demais tratamentos, atingindo valores superiores a 15.867 mg C-CO<sub>2</sub> kg solo<sup>-1</sup>. A taxa de liberação diária de C-CO<sub>2</sub>, ao final de 28 dias de incubação, mostra que a resposta da RMS foi proporcional à adição do resíduo em decorrência da adição de PC (FIGURA 1B).

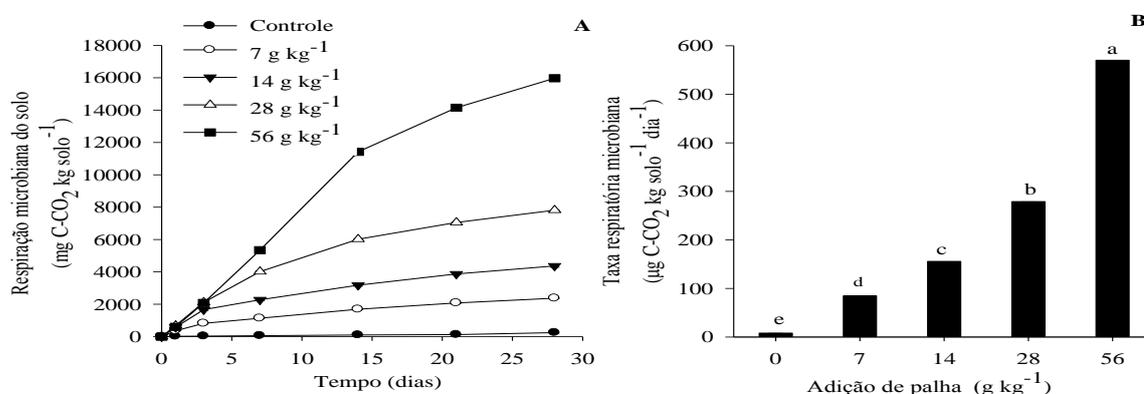


FIGURA 1. Respiração microbiana do solo acumulada (A) e taxa diária de liberação de C-CO<sub>2</sub> (B) em resposta à adição de palha dos grãos de café no solo sob condições de incubação no período de avaliação. Em A, o desvio padrão amostral de cada ponto (n=4) é constituído de barras que em função da escala não pode ser visualizado. Letras diferentes sobre as barras mostram diferenças estatísticas entre as médias das doses adicionadas, quando analisadas pelo Teste de Tukey, ao nível de 0,05 de significância.

A atividade da DHA e da FDA aumentou significativamente com adição de PC em relação ao controle (FIGURAS 2A e 2B). Os valores de DHA foram expressivamente maiores nas adições de 14 a 56 g kg<sup>-1</sup>. A adição de 7 g kg<sup>-1</sup> de PC aumentou em relação ao controle, porém foi significativamente menor quando

comparada com as demais adições. De forma similar à DHA, a atividade da FDA aumentou após a adição de PC, com destaque para as adições de 28 e 56 g kg<sup>-1</sup>, quando comparadas às adições de 7 e 14 g kg<sup>-1</sup> (FIGURA 2B).

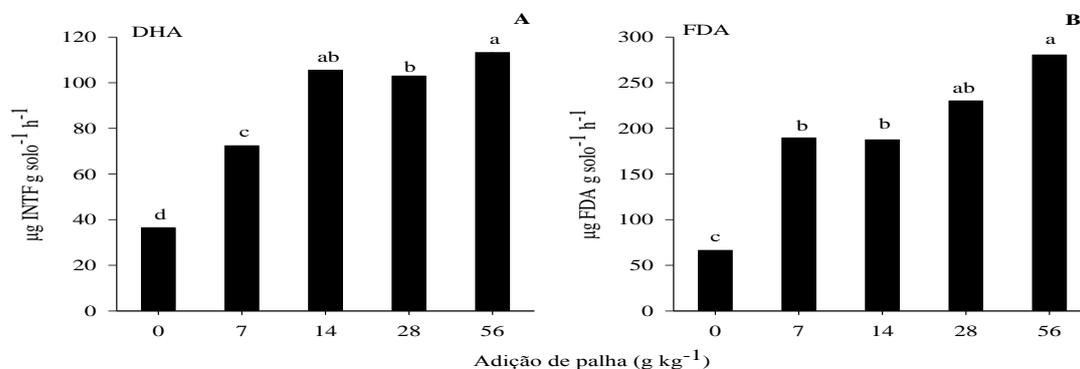


FIGURA 2. Atividade de enzimas em resposta à adição de palha dos grãos de café no solo ao final de 28 dias de incubação. Em A, a atividade de desidrogenase (DHA) e B, atividade das hidrolases do diacetato de fluoresceína (FDA). Letras diferentes sobre as barras mostram diferenças estatísticas entre as médias das doses adicionadas, quando analisadas pelo Teste de Tukey, ao nível de 0,05 de significância.

### 3.3 Mineralização do C e atividade da $\beta$ -glicosidase

As doses de 7, 14, 28 e 56 g kg<sup>-1</sup> de PC adicionadas ao solo resultaram em 100, 95, 85 e 88% de mineralização do C presente na palha, respectivamente, após 28 dias de incubação (FIGURA 3A). A mineralização do C nos tratamentos com adição de 7 g kg<sup>-1</sup> não diferiu estatisticamente da adição de 14 g kg<sup>-1</sup> nos primeiros 7 dias de incubação. A partir do 10º dia, os valores de mineralização se diferenciaram e os maiores valores foram encontrados com adição de 7 g kg<sup>-1</sup> até o final do ensaio. Em relação às adições de 28 e 56 g kg<sup>-1</sup>, os dados mostram que a porcentagem de mineralização no período inicial é maior quando da adição de 28 g kg<sup>-1</sup>. No entanto, ao final dos 28 dias, a mineralização desses dois tratamentos foi similar. A atividade da  $\beta$ -glicosidase foi maior nos tratamentos com adição de PC, os quais foram significativamente diferentes do controle (FIGURA 3B). A atividade da  $\beta$ -glicosidase variou de 108 a 480 µg PNP g solo<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> e apresentou resultados crescentes com o aumento da quantidade de palha adicionada.

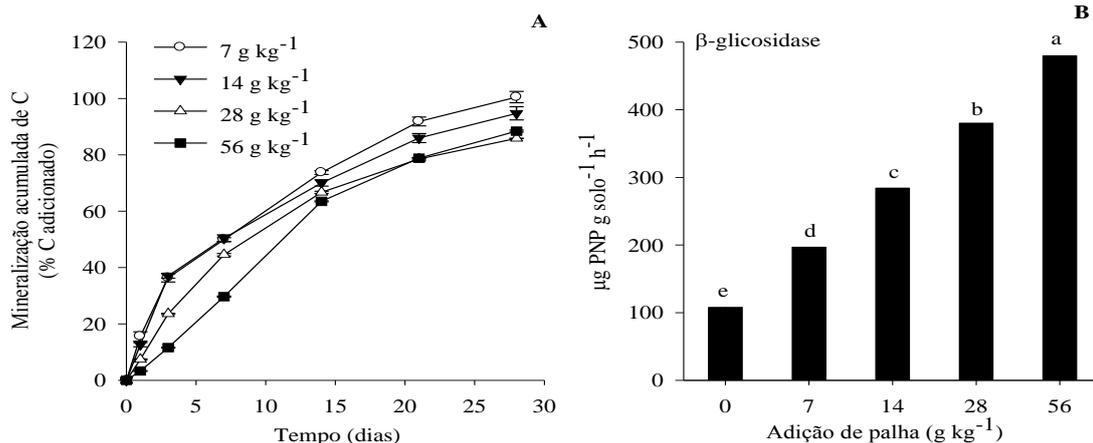


FIGURA 3. Mineralização acumulada (A) e atividade da  $\beta$ -glicosidase (B) em resposta à adição de palha dos grãos de café no solo sob condições de incubação no período de avaliação. Barras indicam o desvio padrão amostral de cada ponto ( $n=4$ ). Letras diferentes sobre as barras mostram diferenças estatísticas entre as médias das doses adicionadas, quando analisadas pelo Teste de Tukey, ao nível de 0,05 de significância.

### 3.4 Atividade de invertase, urease e fosfatases (ácida e alcalina)

A atividade da invertase aumentou e reduziu com as adições de 7 e 28 g kg<sup>-1</sup> de PC, respectivamente (FIGURA 4A). No final do período de incubação, os resultados encontrados para a urease mostraram uma redução de atividade com a adição de 14 g kg<sup>-1</sup> e um aumento quando da adição de 56 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente (FIGURA 4B). Os resultados para fosfatase ácida apresentaram maior atividade com adição de 14, 28 e 56 g kg<sup>-1</sup> e menor atividade no tratamento com 7 g kg<sup>-1</sup> de PC, o qual não diferiu do controle (FIGURA 4C). Para a fosfatase alcalina, todas as adições foram superiores ao controle, sendo a adição de 7 g kg<sup>-1</sup> estatisticamente igual à de 14 g kg<sup>-1</sup> (FIGURA 4D). De modo geral, a adição de 56 g kg<sup>-1</sup> resultou em valores expressivos de atividade de fosfatases (ácida e alcalina) em relação aos demais tratamentos.

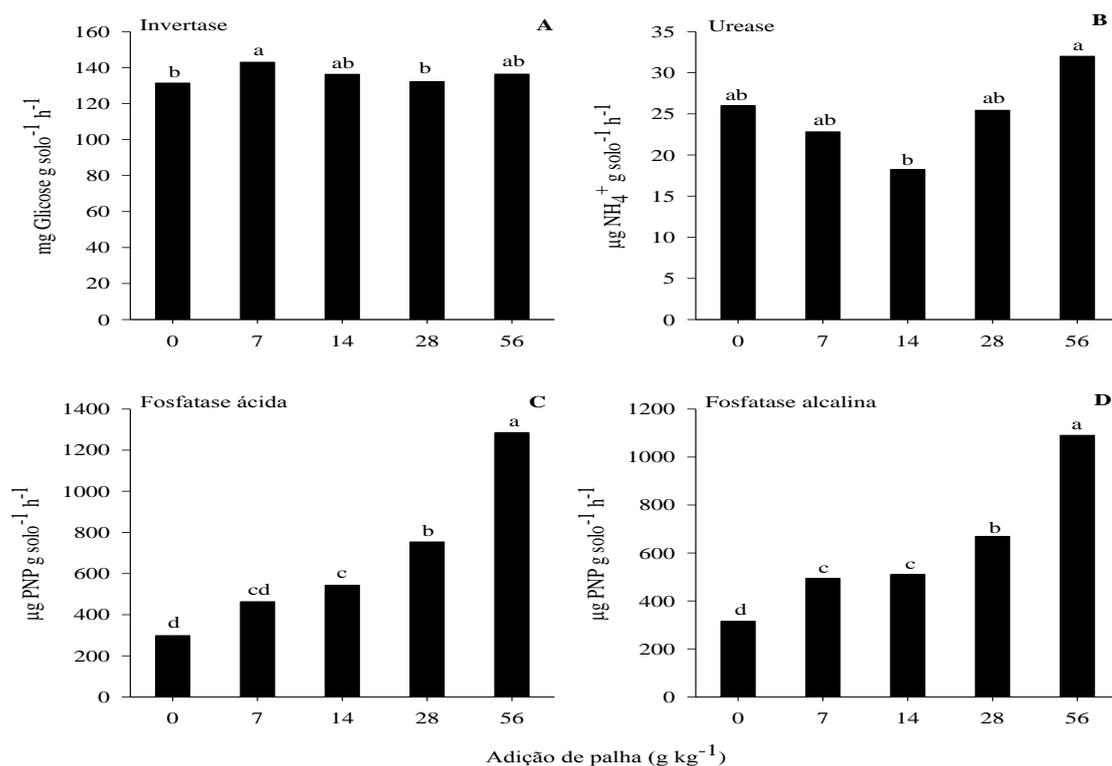


FIGURA 4. Atividade das enzimas invertase (A), urease (B) e fosfatases ácida (C) e alcalina (D) em resposta à adição de palha dos grãos de café no solo sob condições de incubação no solo ao final de 28 dias de incubação. Letras diferentes sobre as barras mostram diferenças estatísticas entre as médias das doses adicionadas, quando analisadas pelo Teste de Tukey, ao nível de 0,05 de significância.

## 4 DISCUSSÃO

O presente trabalho é um dos primeiros relatos utilizando PC a respeito das propriedades microbianas e bioquímicas do solo. O efeito da adição desse resíduo pode estar relacionado ao seu valor nutricional e às quantidades adicionadas. Conforme a caracterização química, as adições de 7, 14, 28 e 56 g kg<sup>-1</sup> de PC no solo correspondem à quantidades expressivas de nutrientes, como segue: 98, 196, 392 e 785 mg kg<sup>-1</sup> de N; 18, 35, 71 e 141 mg kg<sup>-1</sup> de P; e 203, 406, 811 e 1622 mg kg<sup>-1</sup> de K. Além disso, PC apresenta baixa relação C:N (21:1), que é um dos principais indicativos de decomposição e mineralização do C da palha no solo (RECOUS et al., 1995; TRINSOUTROT et al., 2000).

A adição de PC afetou a resposta metabólica do solo e alterou os valores da RMS (FIGURA 1A), evidenciando a capacidade dos microrganismos em utilizá-la como fonte de energia e nutrientes. No início do período de incubação, os processos de decomposição e mineralização ocorrem de forma mais intensa, devido à utilização de fontes de C solúveis prontamente disponíveis. À medida que estes compostos de menor complexidade estrutural vão sendo consumidos, os microrganismos mineralizam compostos orgânicos menos lábeis, o que torna a atividade mais constante e dependente da disponibilidade de nutrientes no solo (CARVALHO et al., 2008; GIACOMINI et al., 2008). As adições crescentes de PC revelaram um aumento proporcional de 1,8 vezes na taxa respiratória diária, mostrando que houve pouca limitação da RMS em decorrência da aplicação de palha.

A transformação da matéria orgânica do solo pode ser mais bem entendida quando indicadores bioquímicos são determinados, pois os resíduos orgânicos induzem uma maior atividade microbiana que reflete no aumento de unidades de enzimas no solo (CALDWELL et al., 2005). Os maiores valores de atividade das enzimas DHA e FDA encontrados nos tratamentos com adição de PC indicam, em decorrência da maior atividade, uma maior intensidade dos processos de transformação do C orgânico. Essas enzimas são responsáveis pela oxidação intra e extracelular de moléculas orgânicas. Outros trabalhos têm mostrado também o aumento da atividade de DHA e FDA utilizando diferentes tipos de resíduos (ALBIACH et al., 2001; GARCÍA-GIL et al., 2000; NAYAK et al., 2007).

A mineralização acumulada de C, expressa como porcentagem do C adicionado nos diferentes tratamentos (FIGURA 3A), indica uma cinética distinta na decomposição

da fração carbonada entre as adições PC. Tais diferenças podem estar relacionadas à quantidade de material orgânico e aos nutrientes provenientes da adição de palha. Esse resultado é superior aos valores encontrados por Giacomini et al. (2008) e Levi-Minzi et al. (1990) e semelhante ao encontrado por Lueken et al. (1962). Entretanto, no presente trabalho, é importante considerar algumas questões como a composição química da palha (baixa relação C:N), a granulometria fina do resíduo adicionado e sua incorporação ao solo. Esses fatores contribuem significativamente para o aumento do contato entre a palha e microrganismos, maximizando a decomposição de PC (ANGERS; RECOUS, 1997; REINERTSEN et al., 1984). A  $\beta$ -glicosidase é um dos principais indicadores de decomposição da matéria orgânica no solo (SYLVIA et al., 1999; PAUL et al., 2007). Assim, o aumento na atividade dessa enzima conforme a adição de doses crescentes de PC mostra que a hidrólise de compostos celulolíticos está ocorrendo, o que resulta em maior liberação de C orgânico solúvel no solo.

A enzima invertase catalisa a hidrólise da sacarose presente no solo em glicose e frutose, que são importantes fontes de C para a atividade microbiana. Estudos têm mostrado que existe um aumento de atividade da invertase conforme o conteúdo de C decresce nos solos (TRASAR-CEPEDA et al., 2008).

A adição da maior dose de PC refletiu em aumento na atividade da urease, sugerindo que o fornecimento de uma maior quantidade de resíduo orgânico pode aumentar a disponibilidade de substratos para a atividade enzimática.

O aumento da atividade das fosfatases ácida e alcalina em resposta às adições de PC indicam que o P orgânico está sendo mineralizado. Isso pode levar à disponibilização de P inorgânico na solução do solo. Esses resultados estão de acordo com muitos relatos sobre os aumentos da atividade de fosfatases mediante a adição de resíduos orgânicos no solo (JORDAN et al., 1995; KREMER; LI, 2003; ROS et al., 2006). Alguns estudos também mostram que o P é um dos principais nutrientes que limitam os processos biológicos no solo (CLEVELAND et al., 2002; EHLERS et al., 2010).

Os resultados deste trabalho mostram que a aplicação de PC implicou em alterações na RMS e propriedades bioquímicas do solo. Esse efeito, do ponto de vista da manutenção da qualidade do solo, é benéfico, uma vez que o retorno ao solo de resíduos orgânicos como fonte de nutrientes contribui para o aumento da fertilidade do solo e para a nutrição de plantas, podendo levar à redução do uso de adubos químicos. Portanto, pesquisas relacionadas à avaliação das propriedades bioquímicas do solo em

decorrência da aplicação de diferentes tipos de resíduos agrícolas são necessárias, tendo em vista as poucas informações existentes na literatura.

## 5 CONCLUSÕES

1. A palha dos grãos de café tem alta taxa de mineralização no solo, com valores superiores a 85% em 28 dias de incubação;
2. A adição de palha dos grãos de café no solo refletiu em aumento na respiração microbiana e na atividade das enzimas DHA, FDA,  $\beta$ -glicosidase e fosfatases ácida e alcalina.

## REFERÊNCIAS

- AJWA, H.A.; TABATABAI, M.A. Decomposition of different organic materials in soils. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.18, n.3, p.175-182, 1994.
- ALBIACH, R.; CANET, R.; POMARES, F.; INGELMO, F. Organic matter components, aggregate stability and biological activity in a horticultural soil fertilized with different rates of two sewage sludges during ten years. **Bioresource Technology**, New York, v.77, n.2, p.109-114, 2001.
- ALEF, K.; NANNIPIERI, P.; 1995. **Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry**. London: Academic Press, p.576, 1995.
- ANGERS, D.A.; RECOUS, S. Decomposition of wheat straw and rye residues as affected by particle size. **Plant and Soil**, Netherlands, v.189, n.2, p.197-203, 1997.
- BARDGETT, R.D.; JAMES, L.; LEEMANS, D.K. Microbial biomass and activity in a grassland soil amended with different application rates of silage effluent: "A laboratory study". **Bioresource Technology**, New York, v.52, n.2, p.175-180, 1995.
- BELYAEVA, O.N.; HAYNES, R.J. Chemical, microbial and physical properties of manufactured soils produced by co-composting municipal green waste with coal fly ash. **Bioresource Technology**, New York, v.100, n.21, p.5203-5209, 2009.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 27, de 5 de julho de 2006. Dispõe sobre fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, para serem produzidos, importados ou comercializados, deverão atender aos limites estabelecidos no que se refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 9 jul. 2006. p. 15.
- CALDWELL, B.A. Enzyme activities as a component of soil biodiversity: A review. **Pedobiologia**, Jena, v.49, n.6, p.637-644, 2005.
- CARVALHO, A.M.X. et al. Atividade microbiana de solo e serapilheira em áreas povoadas com *Pinus elliottii* e *Terminalia ivorensis*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.2709-2716, 2008.

- CLARK, F.E.; PAUL, E.A. The microflora of grassland. **Advances in Agronomy**, Newark, v.22, p.375-435, 1970.
- CLEVELAND, C.C.; TOWNSEND, A.R.; SCHMIDT, S.K. Phosphorus limitation of microbial processes in moist tropical forests: evidence from short-term laboratory incubations and field studies. **Ecosystems**, New York, v.5, n.7, p.680-691, 2002.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. 2011. **Acompanhamento da safra brasileira: café, safra 2011, quarta estimativa, dezembro/2011**. Brasília: Conab, 5p.
- EHLERS, K. et al. Phosphorus limitation in a Ferralsol: Impact on microbial activity and cell internal P pools. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.42, n.4, p.558-566, 2010.
- EIVAZI, F.; TABATABAI, M.A. Glucosidases and galactosidases in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.20, n.5, p.601-606, 1988.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Distrito Federal: Embrapa, 2006. 306p.
- FERRERAS, L.; GOMEZ, E.; TORESANI, S.; FIRPO, I.S.; ROTONDO, R. Effect of organic amendments on some physical, chemical and biological properties in a horticultural soil. **Bioresource Technology**, New York, v.97, n.4, p.635-640, 2006.
- GARCÍA-GIL, J.C. et al. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.32, n.13, p.1907-1913, 2000.
- GIACOMINI, S.J. et al. Mineralização do carbono da palha de aveia e dejetos de suínos aplicados na superfície ou incorporados ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.2661-2668, 2008.
- GUAN, S.Y. **Soil Enzymes and its Methodology**. Agricultural Press, Beijing, p. 274–340, 1986.

HADAS, A. et al. Rates of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.36, n.2, p.255-266, 2004.

HENRIKSEN, T.; BRELAND, T. Carbon mineralization, fungal and bacterial growth, and enzyme activities as affected by contact between crop residues and soil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.35, n.1, p.41-48, 2002.

JANZEN, H.; KUCEY, R. C, N, and S mineralization of crop residues as influenced by crop species and nutrient regime. **Plant and Soil**, Netherlands, v.106, n.1, p.35-41, 1988.

JORDAN, D. et al. Evaluation of microbial methods as potential indicators of soil quality in historical agricultural fields. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.19, n.4, p.297-302, 1995.

JUMA, N.; TABATABAI, M. Hydrolysis of organic phosphates by corn and soybean roots. **Plant and Soil**, Netherlands, v.107, n.1, p.31-38, 1988.

KJELDAHL, J. A new method for the determination of nitrogen in organic matter. **Zeitschrift fur Analytische Chemie**, Berlin, v.22, p.366, 1883.

KNAPP, E.B.; ELLIOTT, L.F.; CAMPBELL, G.S. Carbon, nitrogen and microbial biomass interrelationships during the decomposition of wheat straw: A mechanistic simulation model. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.15, n.4, p.455-461, 1983.

KÖPPEN, W. **Grundriss der klimakunde**. Berlin: Walter de Gruyter, 1931. 390p.

KREMER, R.J.; LI, J. Developing weed-suppressive soils through improved soil quality management. **Soil and Tillage Research**, Germany, v.72, n.2, p.193-202, 2003.

LEVI-MINZI, R.; RIFFALDI, R.; SAVIOZZI, A. Carbon mineralization in soil amended with different organic materials. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.31, n.4, p.325-335, 1990.

LUEKEN, H.; HUTCHEON, W.L.; PAUL, E.A. The influence of nitrogen on the decomposition of crop residues in the soil. **Canadian Journal of Soil Science**, Canada, v.42, n.2, p.276-288, 1962.

LUPWAYI, N.Z. et al. Phosphorus release during decomposition of crop residues under conventional and zero tillage. **Soil and Tillage Research**, Germany, v.95, n.1-2, p.231-239, 2007.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro**: colheitas econômicas máximas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. 210p.

MERSI, W.; SCHINNER, F. An improved and accurate method for determining the dehydrogenase activity of soils with iodinitrotetrazolium chloride. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.11, n.3, p.216-220, 1991.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2002. 625p.

NANNIPIERI, P.; MUCCINI, L.; CIARDI, C. Microbial biomass and enzyme activities: Production and persistence. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.15, n.6, p.679-685, 1983.

NAYAK, D.R.; BABU, Y.J.; ADHYA, T.K. Long-term application of compost influences microbial biomass and enzyme activities in a tropical Aeric Endoaquept planted to rice under flooded condition. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.39, n.8, p.1897-1906, 2007.

NICOLARDOT, B.; RECOUS, S.; MARY, B. Simulation of C and N mineralisation during crop residue decomposition: A simple dynamic model based on the C:N ratio of the residues. **Plant and Soil**, Netherlands, v.228, n.1, p.83-103, 2001.

PAUL, E. A. **Soil Microbiology, ecology and biochemistry**, 3. ed. Academic Press: New York, 2007.

PAUSTIAN, K. et al. Management options for reducing CO<sub>2</sub> emissions from agricultural soils. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.48, n.1, p.147-163, 2000.

RECOUS, S. et al. Soil inorganic N availability: Effect on maize residue decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.27, n.12, p.1529-1538, 1995.

REINERTSEN, S.A. et al. Role of available carbon and nitrogen in determining the rate of wheat straw decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.16, n.5, p.459-464, 1984.

ROS, M. et al. Hydrolase activities, microbial biomass and bacterial community in a soil after long-term amendment with different composts. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.38, n.12, p.3443-3452, 2006.

SARAH E, H. Effects of plant species on nutrient cycling. **Trends in Ecology and Evolution**, London, v.7, n.10, p.336-339, 1992.

SAVIOZZI, A. et al. Role of chemical constituents of wheat straw and pig slurry on their decomposition in soil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.25, n.4, p.401-406, 1997.

SCHNÜRER, J.; ROSSWALL, T. Fluorescein diacetate hydrolysis a measure of total microbial activity in soil and litter. **Applied Environmental Microbiology**, Washington, v.43, n.6, p.1256-1261, 1982.

SEDIYAMA, M.A.N. et al. Nutrientes em compostos orgânicos de resíduos vegetais e dejetos de suínos. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, p.185-189, 2000.

STOTZKY, G. In: C. A. Black (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965.

SYLVIA, D.M. et al. **Principles and applications of soil microbiology**. Prentice Hall, New Jersey, 1999. 550p.

TABATABAI, M.A.; BREMNER, J.M. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.1, n.4, p.301-307, 1969.

TIAN, G.; KANG, B.T.; BRUSSAARD, L. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions -Decomposition and nutrient release. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.24, n.10, p.1051-1060, 1992.

TRASAR-CEPEDA, C.; LEIRÓS, M.C.; GIL-SOTRES, F. Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality. **Soil Biology and Biochemistry**, Emsford, v.40, n.9, p.2146-2155, 2008.

TRINSOUTROT, I. et al. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. **Soil Science Society of America**, v.64, n.3, p.918-926, 2000.

VASCONCELLOS, C.A. et al. Resíduos de sorgo e a mineralização do nitrogênio em Latossolo Vermelho fase cerrado. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, p.373-379, 2001.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v.37, p.29-38, 1934.

## CONCLUSÕES GERAIS

A adição de resíduo orgânico, compostado ou natural, implica em alterações nas propriedades biológicas e bioquímicas do solo. Existe diferença entre o COM e a PC quanto às taxas de decomposição e mineralização no solo. A atividade das enzimas DHA, FDA e  $\beta$ -glicosidase foi maior com a adição de PC em relação à adição do COM. Independente do tipo de resíduo adicionado, o aumento de atividade dessas enzimas sugere que um maior número de enzimas podem estar sendo produzidas por microrganismos do solo. Entretanto, a atividade enzimática nem sempre segue o mesmo padrão, podendo aumentar ou decrescer com a adição de matéria orgânica. De modo geral, o composto estudado pode ser uma alternativa para aumentar o conteúdo de matéria orgânica e a disponibilidade de P em solos agrícolas, principalmente solos tropicais. Além disso, o retorno da palha dos grãos de café ao sistema produtivo pode ser uma prática de manejo importante, em decorrência das modificações identificadas nos processos bioquímicos do solo.