

QUANTIFICAÇÃO DA LIBERAÇÃO DE C-CO₂ E RELAÇÃO C/N DURANTE A COMPOSTAGEM DE LIXO URBANO

MEASUREMENT OF RELEASE OF C-CO₂ AND RELATION OF C/N DURING URBAN WASTE COMPOSTING

**Paulo Fortes Neto¹; Fábio Cesar da Silva²; Nara Lúcia
Perondi Fortes¹; Serafim Daniel Ballester¹**

¹Professor Doutor - Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté (UNITAU), Avenida 4 de março, nº 432, CEP: 12.020-040, Centro, Taubaté, SP, Brasil, email: paulo.neto@unitau.com.br

²Pesquisador Doutor da Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática na Agricultura e Professor da Fatec Piracicaba, Campus da UNICAMP - Barão Geraldo, Caixa Postal 6041, CEP 13083-970 Campinas SP.
fcesar@cnptia.embrapa.br

RESUMO

O presente trabalho objetivou avaliar os métodos de liberação de C-CO₂ e relação C/N como indicadores de maturidade e estabilidade do composto no fornecimento de nutrientes para as plantas. Para isso, foram montadas leiras de compostagem com 3,0 m de largura, 15 m de comprimento e 1,5 m de altura. As amostras do composto foram coletadas no 7º, 30º, 60º, 90º e 120º dias de compostagem, sendo que 50 g do composto foram colocados dentro de jarros respirométricos para quantificar a liberação de C-CO₂ e 20 g foram utilizadas para determinar a relação C/N. No experimento para verificar a qualidade agrônômica, o composto foi incorporado em vaso plástico contendo 2,5 kg de Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 5 tratamentos (0, 30, 60, 90 e 120 mg.ha⁻¹ de composto) e 4 repetições. Aos 40 dias após a semeadura do rabanete (*Raphanus sativus*), determinaram-se os fatores pH, P, Ca, CTC do solo, produção de matéria seca da parte aérea e a altura do rabanete. A aplicação de doses de composto entre 60 e 120 mg.ha⁻¹ proporcionaram melhorias nos atributos químicos do solo e no rendimento do rabanete (*Raphanus sativus*). Concluiu-se que o composto de lixo urbano atinge o ponto de maturação e o potencial de fornecimento de nutrientes aos 90 dias de compostagem.

Palavras-chave: Compostagem. Composto. Biodegradação. Maturação. Lixo.

ABSTRACT

This paper evaluated the methods of releasing C-CO₂ and C/N ratio as an indicator of maturity and stability of the compound in the supply of plant nutrients. For this, the composting windrows were mounted with 3.0 m wide, 15.0 m long and 1.5 m high. Samples of the compound were collected at

7°, 30°, 60°, 90° and 120° days of composting, after 50 g of the compound was placed inside respirometric jars to quantify the release of C-CO₂ and 20 g were used to determine the C/N. In the experiment to verify the quality agronomic compound was embedded in plastic pot containing 2.5 kg of a dystrophic Ultisol. The experimental design was a randomized block with 5 treatments (0, 30, 60, 90 and 120 mg.ha⁻¹ compost) and 4 replicates. At 40 days after sowing of radish (*Raphanus sativus*), were determined the pH, P, Ca and CEC soil, dry matter production of shoots and height of the radish. The application of compost rates between 60 and 120 mg.ha⁻¹ provided improvements in soil chemical properties and yield of radish (*Raphanus sativus*). It is concluded that compound urban waste reaches its maturation and the potential of providing nutrients after 90 days of composting.

Keywords: Composting. Compost. Biodegradation. Maturation. Urban solid waste

1. INTRODUÇÃO

Devido ao seu alto teor de matéria orgânica, o lixo urbano domiciliar é passível de ser submetido ao tratamento de compostagem, pois neste processo a fração orgânica biodegradável é rapidamente convertida pela ação de várias comunidades de microrganismos em um material estável e humificado (KIEHL, 2004; WEI et al., 2007). Isto ocorre porque durante a compostagem os microrganismos oxidam a matéria orgânica para obter energia e nutrientes para o seu desenvolvimento e como consequência promove a liberação de água, calor e C-CO₂ para o ambiente.

Diversos autores têm constatado a relação existente entre liberação de C-CO₂ e o consumo de carbono prontamente disponível durante a compostagem de diferentes tipos de resíduos orgânicos (JAHNEL et al., 1999; TIQUIA e TAN, 2002; HAO et al., 2004; KIEHL 2004; MARAGNO et al., 2007; LIMA et al., 2009; SARDÁ et al., 2010). Estes estudos revelaram que no início da compostagem a emissão de C-CO₂ é mais acentuada porque a fração orgânica apresenta em sua composição o predomínio de substratos rico em energia e de fácil decomposição, tais como os açúcares e amidos. E na medida em que estes substratos são consumidos pelos microrganismos a liberação de C-CO₂ tende a diminuir, pois restam apenas substratos orgânicos contendo substâncias complexas e recalcitrantes como celulose, hemicelulose e lignina.

A redução de C-CO₂ está associada à diminuição de carbono orgânico durante a compostagem, pois segundo Kiehl (2004) esta perda de carbono na forma de C-CO₂ corresponde a cerca de dois terços de todo carbono orgânico presente no resíduo antes da compostagem, ou seja, durante a decomposição os microrganismos absorvem carbono e nitrogênio da matéria orgânica na proporção de 30/1, sendo que das 30 partes de carbono assimiladas, 20 são liberadas na forma C-CO₂ e 10 são imobilizadas e incorporadas ao protoplasma celular. A diminuição no carbono tem reflexo direto na relação carbono/nitrogênio (C/N), pois a decomposição além de eliminar o carbono na forma de C-CO₂ libera o nitrogênio em formas orgânicas estáveis. Com isso a relação C/N tende a diminuir em função do aumento no teor de nitrogênio durante o período de compostagem (IMBAR et al., 1993; SARDÁ et al., 2010).

Devido a esta característica a relação C/N tem sido apontada como um importante indicador do potencial de estabilização do carbono, de mineralização do nitrogênio e de cura do composto de lixo urbano para ser utilizado como fertilizante orgânico (JAHNEL et al., 1999; KIEHL 2004; GABRIELLE et al., 2004; BARREIRA et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2012).

Vários estudos realizados com compostagem de resíduos sólidos urbanos têm constatado que no início a relação C/N apresenta valores entre 30/1 e 40/1 e depois no final da compostagem os valores da relação C/N variam entre 12/1 e 15/1 (JAHNEL et al., 1999; KIEHL, 2004; BARREIRA et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2012). Convém destacar que os valores da relação C/N podem

apresentar variação nos períodos de compostagem em função dos tipos de resíduos orgânicos, biodegradabilidade do substrato e manejo adotado durante a compostagem (IMBAR et al., 1993; KIEHL, 2004; GABRIELLE et al., 2004; LIMA et al., 2006).

Com base no exposto, o presente trabalho teve como objetivo identificar, durante a compostagem do lixo urbano o período ideal de maturação do composto, a partir das estimativas de liberação C-CO₂ e relação C/N. E também avaliar a qualidade agronômica do composto no solo e no desenvolvimento do rabanete (*Raphanus sativus*).

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Estação de Compostagem de Lixo Urbano da Empresa Urbanizadora Municipal (URBAM), São José dos Campos, SP. A fração orgânica do lixo urbano foi separada e depois enviada para o pátio de compostagem onde se efetuou a montagem das leiras com as seguintes dimensões: 3,0 m de largura; 15 m de comprimento e 1,0 m de altura. Após a montagem as leiras foram semanalmente submetidas ao revolvimento com o auxílio de uma máquina pá-carregadeira durante os 120 dias de compostagem.

Os períodos de amostragem ocorreram nos 7º, 30º, 60º, 90º e 120º dia de compostagem. As amostras foram compostas de seis subamostras coletadas em pontos aleatórios, em cada lateral da leira. As amostras após serem homogêneas foram acondicionadas em sacos plásticos de 2 L e mantidas a, aproximadamente, 10 °C durante o tempo de transporte até o Laboratório de Microbiologia Agrícola e Fitopatologia da Universidade de Taubaté (UNITAU).

A quantificação do CO₂ foi determinada nas amostras do composto coletadas, usando 50 g do composto que foram colocados dentro de um jarro de vidro (1,5 L) fechado hermeticamente, contendo, em seu interior, um cadinho de vidro com 10 mL de NaOH (0,5 molc L⁻¹). Os jarros de vidro, depois de fechados, foram levados para a incubação em uma sala climatizada à temperatura de ± 28 °C, por um período de sete dias. Em intervalos de dois dias, foram realizadas as determinações do CO₂ desprendido pelas amostras do composto que foi capturado pelo hidróxido de sódio contido nos cadinhos de vidro. Aos cadinhos, contendo o hidróxido de sódio, foram adicionados 1 mL de BaCl₂ (50%) e três gotas do indicador fenolftaleína (3%) e, depois, foi efetuada a titulação com HCl (0,5 molc L⁻¹), para quantificação da massa liberada de CO₂ por amostra do composto (mg C-CO₂ 50g⁻¹), conforme a metodologia descrita por Stotzky (1965).

A determinação da relação C/N foi realizada em amostras de composto coletadas no 7º, 30º, 60º, 90º e 120º dia de compostagem. As análises de carbono orgânico e nitrogênio total foram efetuadas conforme a metodologia preconizada por Tedesco et al., (1995) e o cálculo da relação C/N conforme indicação de Kiehl (2004).

A caracterização da composição química do composto aos 90 dias de compostagem foi realizada por meio das determinações do pH, matéria orgânica, umidade, carbono orgânico, fósforo, nitrogênio total, potássio, enxofre, cálcio, magnésio, ferro, cobre, cádmio, cromo, chumbo, níquel e zinco (LINDSAY e NOVELL, 1978; TEDESCO et al., 1995). A composição do composto de lixo urbano utilizado no experimento para avaliar a fertilidade solo e a produção de matéria seca e altura do rabanete (*Raphanus sativus*) esta apresentado na Tabela 1.

O solo utilizado no experimento para avaliar o rendimento do rabanete (*Raphanus sativus*) foi analisado de acordo com Raij e Quaggio (1987) e apresentou os seguintes resultados: pH (CaCl₂) de 4,5; 11 mg.dm⁻³ de P; 3,5 mmolc.dm⁻³ de K; 23,0 mmolc.dm⁻³ de Ca; 12,0mmolc.dm⁻³ de Mg; 35,0 mmolc.dm⁻³ de H+Al; 74,5 mmolc.dm⁻³ de CTC e 17,3 g.kg⁻¹ de M.O.

No experimento para avaliar o rendimento do rabanete (*Raphanus sativus*) fertilizado com doses de composto de lixo urbano foi adotado o delineamento de blocos casualizados com cinco

tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram distribuídos em cinco doses de composto (base seca): $T_1 = 0 \text{ mg.ha}^{-1}$; $T_2 = 30 \text{ mg.ha}^{-1}$; $T_3 = 60 \text{ mg.ha}^{-1}$; $T_4 = 90 \text{ mg.ha}^{-1}$ e $T_5 = 120 \text{ mg.ha}^{-1}$.

O composto, nas dosagens correspondentes aos tratamentos, foi misturado a 2 kg de solo e depois colocado em vasos de polietileno (3 L), após o preparo dos vasos efetuou-se a semeadura com o cultivar Early Scarlet Globe. Foram semeadas quatro sementes por vasos e depois de 40 dias foi determinada a produção de matéria seca da parte aérea e a altura do rabanete.

Tabela 1. Característica química do composto de lixo urbano domiciliar, aplicados no experimento para avaliar a qualidade agronômica.

Atributos ⁽¹⁾	Composto de lixo urbano
pH (H ₂ O)	6,9
Matéria Orgânica (g.kg ⁻¹)	321,80
Nitrogênio total (g.kg ⁻¹)	13,30
Umidade total (g.kg ⁻¹)	286,60
Relação C/N	15/1
Fósforo total (g.kg ⁻¹)	5,60
Potássio total (g.kg ⁻¹)	2,80
Enxofre total (g.kg ⁻¹)	1,20
Cálcio total (g.kg ⁻¹)	24,70
Magnésio total (g.kg ⁻¹)	2,40
Carbono orgânico (g.kg ⁻¹)	156,00
Ferro (g.kg ⁻¹)	13,88
Cobre (g.kg ⁻¹)	0,15
Cádmio (g.kg ⁻¹)	0,005
Cromo (g.kg ⁻¹)	0,034
Chumbo (g.kg ⁻¹)	0,158
Níquel (g.kg ⁻¹)	0,012
Zinco (g.kg ⁻¹)	0,225

⁽¹⁾ Valores de concentração são dados em base na matéria seca

O teor de matéria seca foi determinado pela razão, expressa em porcentagem, entre a matéria fresca e seca das folhas, após secagem em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 60°C, até massa constante. A altura das plantas foi avaliada em centímetros, mediante a tomada da medida entre o colo e o ápice da folha com maiores dimensões. Depois de coletados os rabanetes efetuou-se a coleta de amostras de solo para ser determinada a composição química conforme a metodologia estabelecida por Rajj e Quaggio (1987).

Os resultados de liberação de CO₂, relação C/N, produção de matéria seca e altura do rabanete foram submetidos à ANOVA (Teste F) e a comparação entre as médias foi realizada pelo teste de Tukey a 5%. Também foi realizada a análise de regressão entre a composição química do solo com as doses de composto de lixo urbano.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Liberação de C-CO₂

Na Figura 1 estão apresentadas as quantidades de C-CO₂ liberado das amostras de composto coletadas nos períodos de 7^o, 30^o, 60^o, 90^o e 120^o dias de compostagem. Observou-se uma tendência significativa na diminuição da quantidade de C-CO₂ liberado pelas amostras do composto na medida em que se aumentou o período de compostagem. Os valores de C-CO₂ variaram de 0,024 mg.hora⁻¹.g⁻¹ no 120^o dia para 0,35 mg.hora⁻¹.g⁻¹ no 7^o dia compostagem. Os resultados sobre liberação de C-CO₂ apresentados na Figura 1 demonstraram a relação existente entre produção de C-CO₂ e o consumo de material energético e/ou carbono de fácil decomposição para os microrganismos durante os períodos de compostagem. Verificou-se que a liberação de CO₂ apresentou três fases bem distintas para a biodegradação da matéria orgânica durante a compostagem.

A primeira ocorre entre o 7^o e 30^o dia, nesta fase a produção de CO₂ foi mais acentuada, devido à presença e o predomínio de substratos orgânicos de fácil decomposição microbiológica. A segunda fase ocorre entre o 60^o e 90^o dia com a produção CO₂ apresentando uma tendência de estabilidade durante a decomposição do carbono orgânico, este comportamento indica que neste período ainda estão presentes de forma residual frações orgânicas de fácil decomposição para os microrganismos.

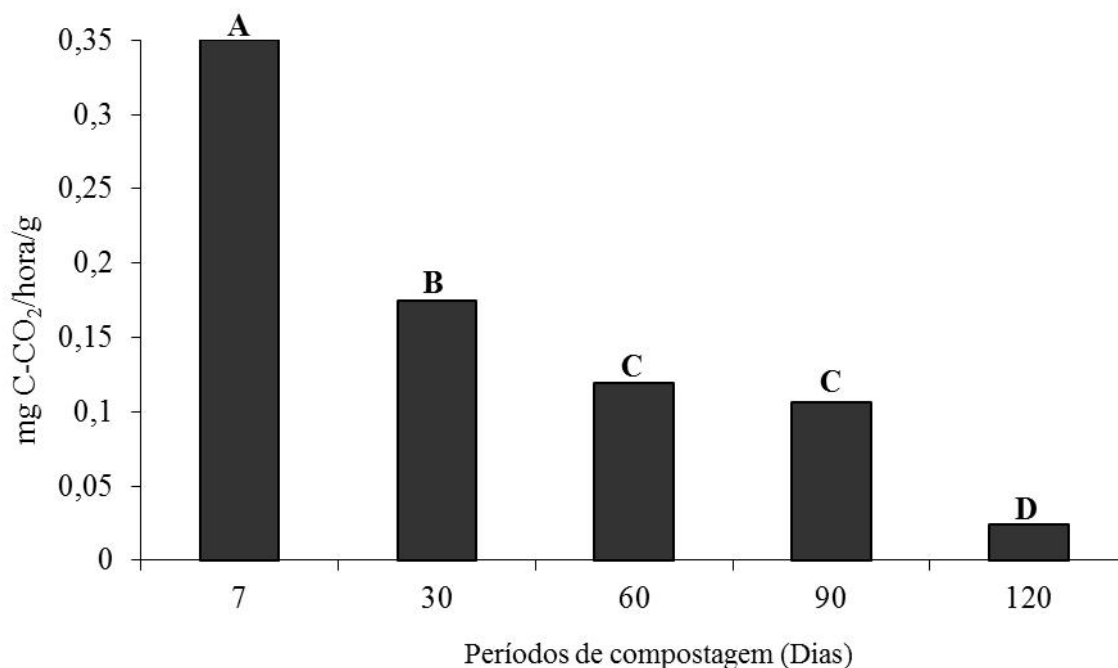


FIGURA 1. Quantidade de CO₂ determinada em amostras de composto coletadas aos 7^o, 30^o, 60^o, 90^o e 120^o dias de compostagem. (Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%).

Após a fase de estabilização, ocorreu a terceira fase no 120^o dia apresentando menor produção de CO₂. Esta redução observada na atividade microbiana está indicando que nesta fase a maior parte das substâncias biodegradáveis foi consumida pelos microrganismos. Após o consumo do carbono prontamente disponível, iniciou-se a degradação de substâncias mais complexas, como celulose e hemicelulose, resultando em queda dos valores de C-CO₂, segundo vários autores

(BIDDLESTONE e GRAY, 1985; JAHNEL et al., 1999; FONG et al., 1999; HAO et al., 2004; KIEHL, 2004; SAID-PULLICINO et al., 2007).

De acordo com Said-Pullicino et al. (2007) a diminuição na liberação de C-CO₂, durante a compostagem, indica como os microrganismos conduzem a estabilização do teor de matéria orgânica existente na mistura compostada. A redução na emissão do C-CO₂ está associada à diminuição de carbono prontamente disponível para os microrganismos, pois durante a compostagem a degradação da matéria orgânica leva a uma redução do carbono orgânico e consequentemente diminuição na liberação de dióxido de carbono (MARAGNO et al., 2007; LIMA et al., 2009). Esta perda de carbono na forma de C-CO₂ é devido ao processo de respiração microbiana e corresponde a cerca de dois terços de todo carbono presente no início da compostagem, ou seja, durante a decomposição os microrganismos absorvem carbono e nitrogênio da matéria orgânica na proporção de 30/1, sendo que das 30 partes de carbono assimiladas, 20 são eliminadas na atmosfera na forma de gás carbônico e 10 são imobilizadas e incorporadas ao protoplasma celular (GORGATI, 2001; KIEHL, 2004).

As perdas de carbono ocasionadas pela respiração dos microrganismos também foram observadas por Tiquia e Tan (2002) durante a compostagem de cama de frango e por Costa et al. (2006) em trabalho realizado com compostagem de carcaças avícolas e cama de aviário. Estudos realizados por Gorgati (2001) avaliando o processo de compostagem com resíduos sólidos urbanos, constataram redução de 47% no peso do material após a compostagem. Já Amorim (2002) compostando esterco de caprino constatou reduções variando entre 64,1% a 68,0% em amostras de material orgânico coletado antes e após a compostagem. Deve-se ressaltar que a perda de peso do material é devida também a perda de água, pois a compostagem se caracteriza pela liberação de C-CO₂ e água como produto final do processo de respiração microbiana (KIEHL, 2004; COSTA et al., 2005).

Relação C/N

Os valores da relação C/N determinados nas amostras coletadas nas leiras aos 7°, 30°, 60°, 90° e 120° dias de compostagem estão apresentados na Figura 2, verificando-se que a relação C/N tende a diminuir na medida em que se aumenta o período de compostagem. Os valores da relação C/N variam de 29/1 no 7° dia para 12/1 no 120° dia de compostagem, sendo que esta variação na relação C/N está dentro dos valores considerados como ideais para iniciar o processo em estudo (C/N = 30/1) e finalizar a compostagem (C/N = 12/1) (FONG et al., 1999; KIEHL, 2004).

Comparando-se as Figuras 1 e 2 observa-se que a redução na emissão C-CO₂ proporcionou uma diminuição na relação C/N durante a compostagem, isto ocorreu em decorrência da oxidação da matéria orgânica pelos microrganismos, que liberam C-CO₂ através da sua respiração, diminuindo assim a concentração de carbono (JAHNEL et al., 1999; KIEHL, 2004; SARDÁ et al., 2010).

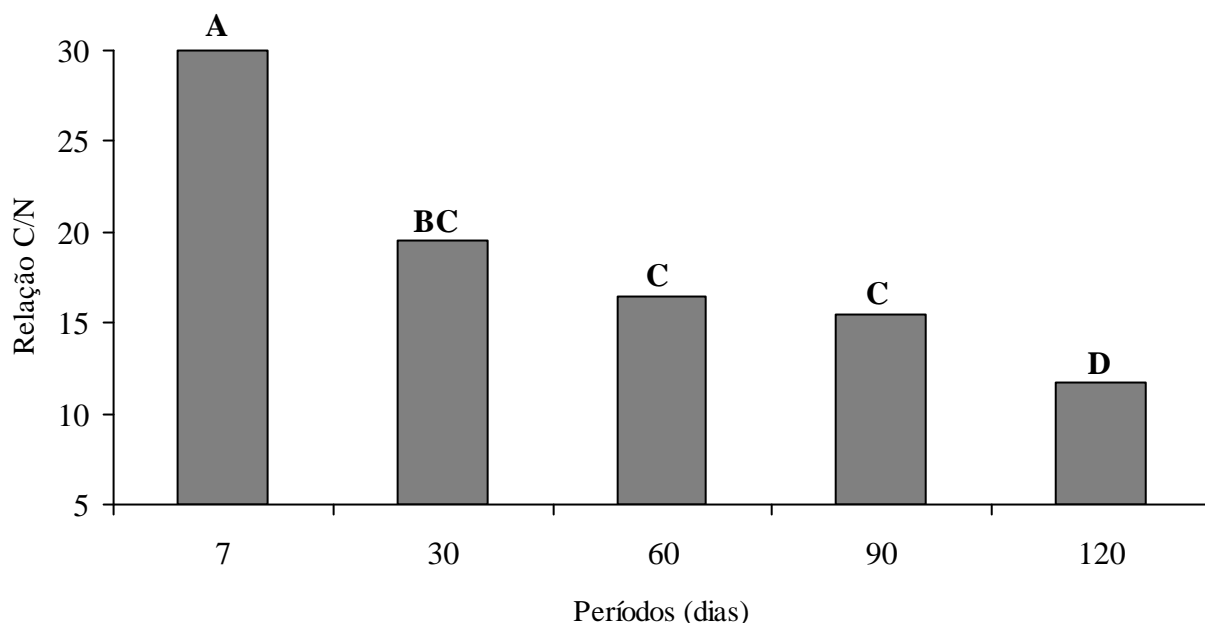


FIGURA 2. Evolução da relação C/N nos períodos de 7, 30, 60, 90 e 120 dias de compostagem (Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%).

Analisando os valores da relação C/N da Figura 2 verifica-se a ocorrência de duas fases que caracterizam o processo de compostagem. A fase de bioestabilização ocorrendo entre o período de 7^o aos 60^o dias com os valores da relação C/N variando entre 29/1 a 16/1 e a fase de humificação entre os 60^o e 120^o dias com relação C/N entre 16/1 a 11/1 (JAHNEL et al., 1999; FONG et al., 1999; KIEHL, 2004; GABRIELLE et al., 2004). Os resultados da relação C/N (Figura 2) estão de acordo com os valores observados por outros autores que também estudaram a compostagem de resíduo sólido domiciliar (JAHNEL et al., 1999; KIEHL, 2004; GABRIELLI et al., 2004; BARREIRA et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2012). Convém ressaltar, porém, que as fases de bioestabilização e humificação podem apresentar variação nos períodos de compostagem em função dos tipos de resíduos orgânicos, composição da relação C/N e do manejo adotado na compostagem.

Assim, Imbar et al. (1993) observaram que nos primeiros 60 dias de compostagem de resíduos das indústrias de alimentos, a relação C/N diminuiu rapidamente de 27/1 para 10/1. Costa et al. (2005), avaliando a compostagem de carcaças de aves, verificaram a relação C/N igual a 10/1 aos 90^o dias de compostagem. Já Lima et al. (2009), estudando a compostagem da mistura de diversos materiais como o bagaço de cana, a cinza de bagaço de cana e o esterco de galinhas poedeiras, verificou que ao final de 120 dias de compostagem, os tratamentos apresentaram relação C/N variando entre 11/1 e 14/1. Verifica-se nestes estudos que a concentração de carbono diminui ao longo do período de compostagem, porém o tempo para que ocorra a estabilização ou humificação dos resíduos orgânicos, está diretamente relacionado à relação C/N inicial dos materiais utilizados como substratos (VALENTE et al., 2011). O valor da relação C/N determinada aos 120^o dias de compostagem está de acordo com o valor estipulado por Kiehl, (2004) para composto orgânico curado e com possibilidade de ser utilizado na fertilização das culturas agrícolas.

Composição química do solo

Quanto às características químicas do solo fertilizado com doses de composto orgânico, observa-se na Figura 3 que as variáveis químicas apresentaram variações em função das doses de composto aplicado ao solo. Analisando estes resultados, constatou-se a ocorrência de duas fases na variação do pH em função das doses aplicadas no solo: a primeira com elevação no pH entre as doses de 0 mg.ha⁻¹ e 60 mg.ha⁻¹; a segunda com a estabilização do pH entre as doses de 60 mg.ha⁻¹ e 120 mg.ha⁻¹ de composto. Provavelmente, esse comportamento na curva do pH esteja relacionado na primeira fase a reação de adsorção do H⁺ na solução pelos ânions orgânicos solúveis (R-COO⁻ e R-O⁻) liberados durante a decomposição do composto orgânico (PAVAN et al., 1997). A estabilização do pH verificada na segunda fase deve-se provavelmente a reação de equilíbrio entre a adsorção e liberação de H⁺, ou seja, o aumento das doses partir de 60 mg.ha⁻¹ proporcionou o aporte de quantidade elevada de amônio, e que, ao ser convertido em nitrato liberam íons H⁺, que ao mesmo tempo são adsorvidos pelos ânions orgânicos solúveis disponibilizados pela decomposição do composto orgânico (MANTOVANI et al., 2005; RAMOS et al., 2009). Resultados similares no pH do solo com a aplicação de composto de lixo urbano também foram observados por Mazur et al. (1983), Wong et al. (1998), Abreu Júnior et al. (2002) e Oliveira et al. (2002).

O comportamento do fósforo no solo refletiu a relação existente entre seu teor na composição química do composto e as doses aplicadas no solo, pois as quantidades deste aumentaram com a elevação das doses de composto incorporada ao solo. Observa-se na Figura 3 que os teores variaram de 23 mg.dm⁻³ no solo sem composto (0 mg.ha⁻¹) para 230 mg. dm⁻³ no solo fertilizado com 120 mg.ha⁻¹.

Como não houve aplicação de fósforo na forma mineral nas parcelas com composto orgânico é razoável presumir que o incremento de fósforo no solo foi devido à mineralização do fósforo orgânico durante a decomposição do composto e à redução da fixação do mesmo na fração mineral, promovida pela competição dos ânions orgânicos pelos sítios de adsorção na superfície dos oxi-hidróxidos de Fe e Al (ALVES et al., 1999; CAVALLET et al., 2004). Isso está de acordo com os resultados apresentados por Abreu Júnior et al. (2002) e Mantovani et al. (2005), que também relataram aumento na disponibilização de fósforo no solo com aplicação de composto de lixo urbano em doses acima de 60 Mg ha⁻¹. Outros estudos com composto de lixo urbano também têm mostrado resultados positivos relacionados com a disponibilização de fósforo no solo (MAZUR et al., 1983; ABREU JÚNIOR et al., 2002; CAVALLET et al., 2004; NÓBREGA et al., 2008; KROB et al., 2011).

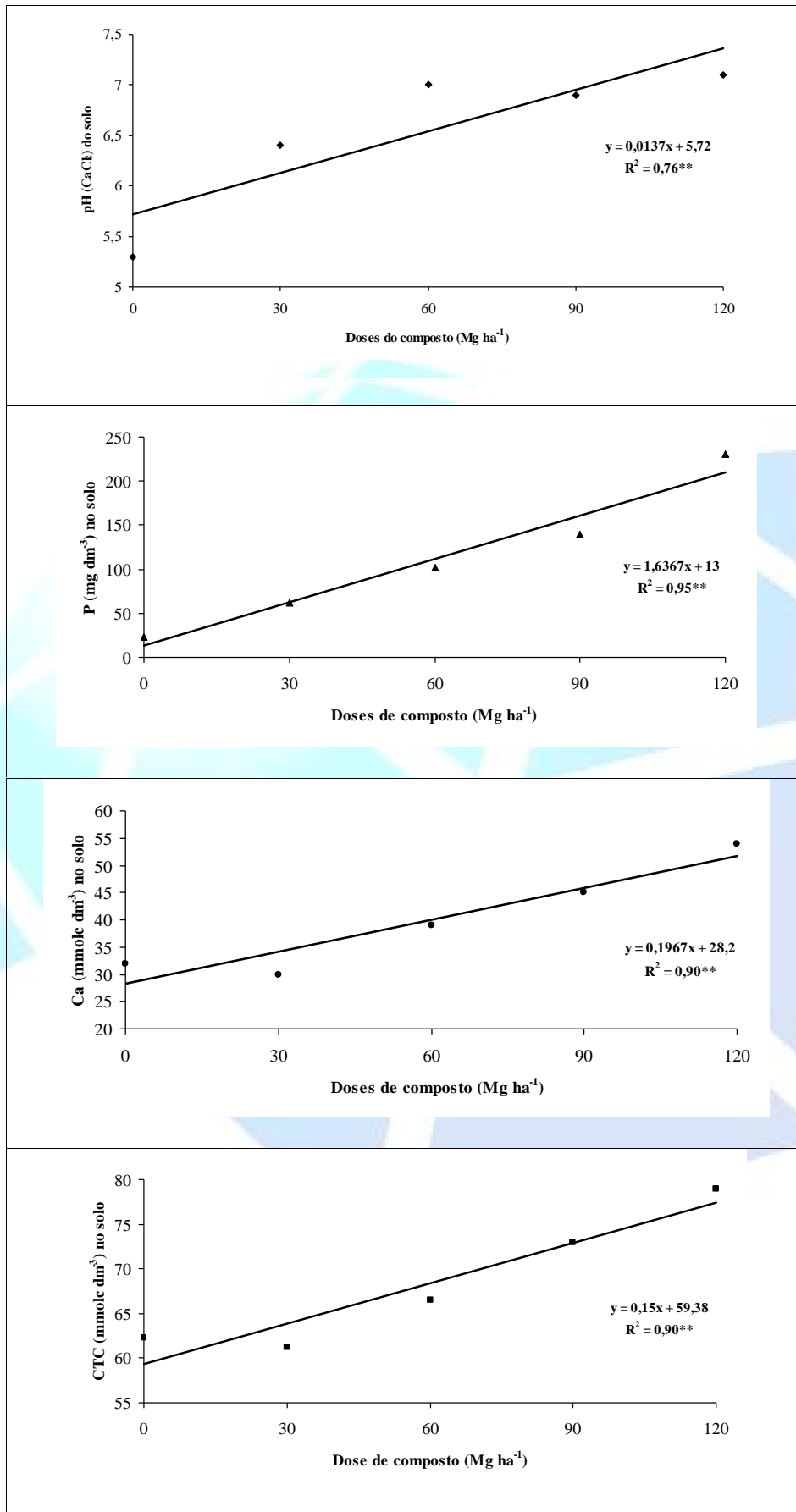


Figura 3. O pH e os teores de fósforo, cálcio e CTC do solo fertilizado com doses de composto de lixo

Em relação aos teores de cálcio no solo, constata-se na Figura 3 um incremento linear do cálcio variando entre $32 \text{ mmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ no solo sem aplicação do composto ($0 \text{ mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) e $54 \text{ mmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ no solo com a adição de $120 \text{ mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de composto. Resultados semelhantes também foram observados por Mantovani et al. (2005) que ao avaliarem amostras de solo incubadas com composto de lixo verificaram aumento linear nos teores de cálcio no solo. Krob et al. (2011) estudando a aplicação de doses sucessivas de composto de lixo em um Argissolo, verificaram que o aumento no teor de cálcio foi proporcional as doses do composto e as sucessivas aplicações no solo.

Para os valores da CTC do solo, verificou-se uma tendência de aumento mais acentuada a partir da dose com $90 \text{ mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de composto quando comparado com os valores da CTC determinados nas amostras de solo sem composto e incubadas com $30 \text{ mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ e $60 \text{ mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de composto. Estes resultados sugeriram que somente aplicações elevadas e sucessivas de doses de composto poderão proporcionar aumentos significativos na CTC do solo, pois a porção orgânica do composto tende a influenciar o complexo coloidal do solo (ABREU JÚNIOR et al., 2001; KROB et al., 2011). A este respeito Bovi et al. (2002) e Trannin et al. (2008) verificaram que a adição de lodo de esgoto em dose acima de $20 \text{ mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ aumentou o teor de matéria orgânica e a CTC do solo. Abreu Junior et al. (2001) e Almeida (2003) verificaram que a aplicação do composto aumentou a CTC do solo e do substrato para produção de mudas frutíferas. Esses autores atribuíram o aumento da CTC ao acréscimo de cargas negativas provenientes da matéria orgânica contida no composto. Outro fator relevante no aumento da CTC no solo foi provavelmente o aporte de cálcio proveniente da decomposição do composto no solo. Pois, neste estudo, a CTC foi calculada pela soma de bases, o que, segundo Oliveira et al. (2002) a presença de cálcio poderá influenciar nos valores da CTC do solo. Esta interação pode ser observada na Figura 3 quando comparamos os teores de cálcio com os valores da CTC, nota-se que os maiores valores de cálcio e CTC foram determinados nas amostras de solo incubadas com 90 Mg ha^{-1} e 120 Mg ha^{-1} de composto de lixo urbano.

Produção de matéria seca e altura da planta

A produção de matéria seca da parte aérea e altura do rabanete fertilizado com doses de composto de lixo urbano estão apresentadas nas Figuras 4 e 5, verifica-se de uma maneira geral que o peso da matéria seca e a altura do rabanete foram influenciados significativamente pelas doses de composto incorporadas ao solo. Os valores da produção de matéria seca variou de $1,2 \text{ g planta}^{-1}$ na dose com $30 \text{ mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ para $3,3 \text{ g} \cdot \text{planta}^{-1}$ na dose com $120 \text{ mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de composto, verifica-se que a máxima produção de matéria seca foi obtida somente com a incorporação de $120 \text{ mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de composto.

Os resultados da altura das plantas apresentam valores variando entre 13 cm com a adição de $30 \text{ mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ a 20,4 cm com a aplicação de $120 \text{ mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ e também difere estatisticamente das demais doses a partir da incorporação de desta quantidade de composto.

Os efeitos positivos observados na produção de matéria seca e altura do rabanete no solo fertilizado com $120 \text{ mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de composto, deve-se provavelmente a elevada CTC e aos maiores teores de cálcio e fósforo determinados no solo (Figura 3). Vários autores têm relatado que a resposta das plantas a incorporação de adubos orgânicos está relacionado à disponibilidade dos nutrientes, elevação da CTC e melhoria no pH do solo (FARIAS, 2004; HERMANS et al., 2006; NÓBREGA et al., 2008).

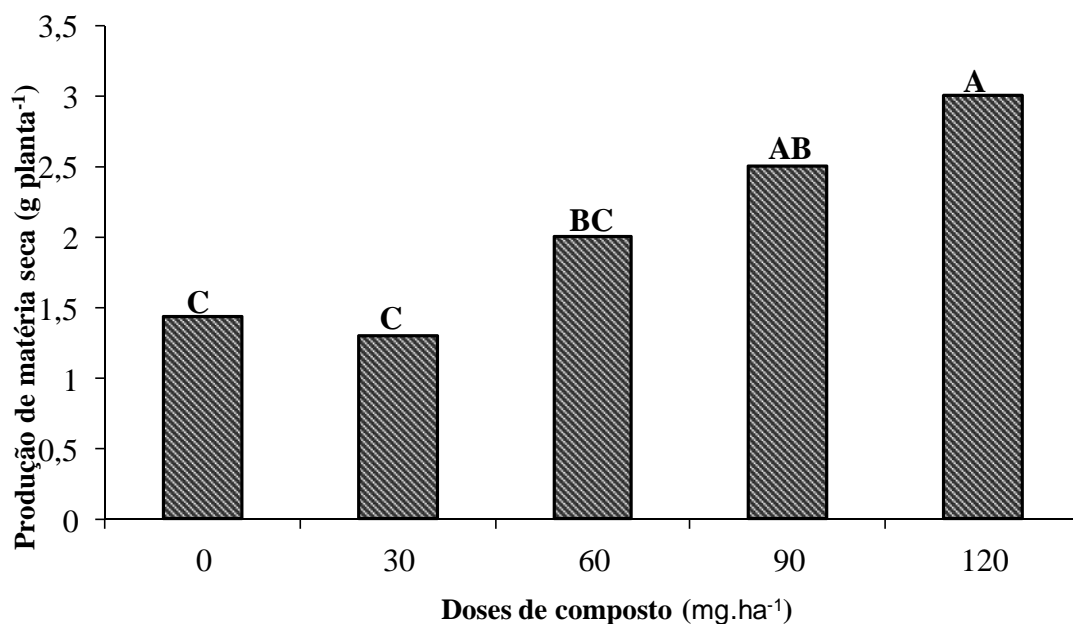


Figura 4. Produção da matéria seca da parte aérea do rabanete fertilizado com doses e composto de lixo urbano (Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%).

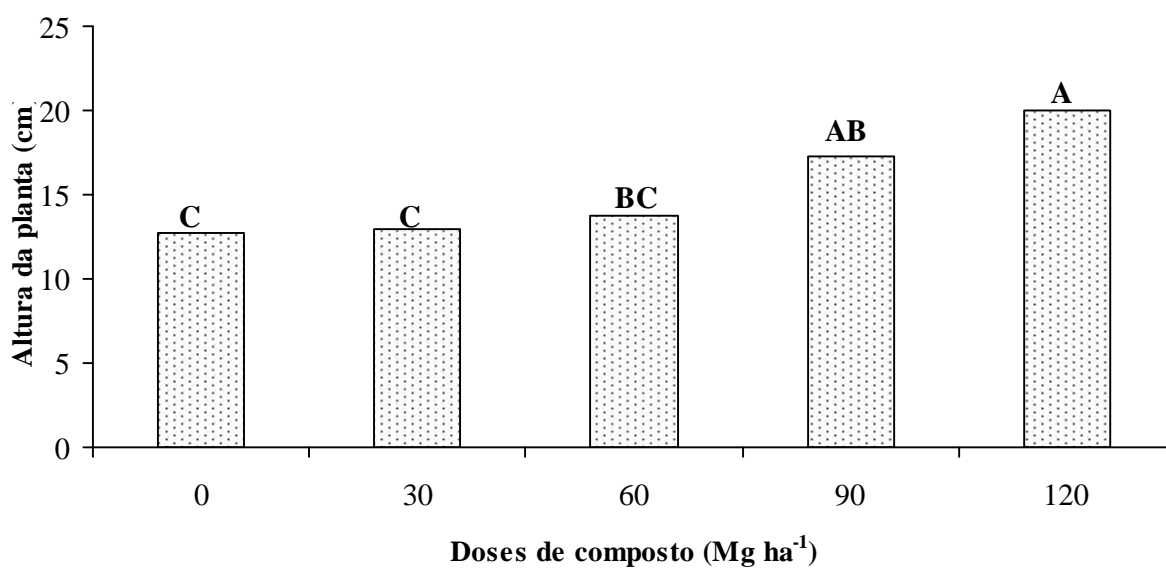


Figura 5. Altura do rabanete fertilizado com doses e composto de lixo urbano (Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%).

4. CONCLUSÕES

-As medidas de liberação de C-CO₂ e relação C/N se mostraram promissoras como indicadoras do grau de maturidade para o composto de lixo urbano;

-Pela relação C/N o composto atingiu o ponto de cura no 90º dia de compostagem e poderá ser utilizado fertilizante orgânico;

-O composto com 90 dias de compostagem não inibiu o desenvolvimento da cultura do rabanete;

-A aplicação de doses acima de 60 mg.ha⁻¹ de composto de lixo melhorou os atributos químicos do solo.

5. REFERÊNCIAS

ABREU Junior, C.H.; MURAOKA, T.; OLIVEIRA, F.C. Carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre e solos tratados com composto de lixo urbano. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.769-780, 2002.

AMORIM, A.C. **Caracterização dos dejetos de caprinos: reciclagem energética e de nutrientes**. 2002. 108p. Dissertação (Mestrado)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2002.

ALMEIDA, A. Composto de lixo urbano na composição química do solo e seus efeitos no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa* L.). **Revista de Biociência**, Taubaté, v.9, p.7-15, 2003.

ALVES, W.L.; MELO, W.J.; FERREIRA, M.E. Efeito do composto de lixo urbano em um solo arenoso e em plantas de sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.729-736, 1999.

BARREIRA, L.P.; PHILIPPI JÚNIOR, A.; RODRIGUES, M.S. Usinas de compostagem do Estado de São Paulo: Qualidade dos compostos e processos de produção. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.11, n.4 p.385-393, 2006.

BIDDLESTONE, A.J.; GRAY, K.R. **Composting**. In: MOO-YOUNG, M. (ed.). *Comprehensive Biotechnology*, v. 4. Pergamon Press, Oxford, 1985, 1059 p.

BOVI, M.L.A.; GODAY JÚNIOR, G.; COSTA, E.A.D. da; BERTON, R.S.; SPIERING, S.H.; VEGA, F.V.A.; CEMBRANELLI, M.A.R.; MALDONADO, C.A.B. Lodo de esgoto e produção de palmito em pupunheira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.1, p.153-166, 2007.

CAVALLET, L.E.; VILLAS-BOAS, M.; KHUN, D.J.; RICHART, A. Aplicação de composto de lixo urbano em Latossolo Vermelho eutroférico-alterações da percentagem de agregados e níveis de fósforo, potássio, carbono orgânico. **Scientia Agraria Paranaensis**, Cascavel, v.2, p.7-13, 2004.

COSTA, M.S.S.M.; COSTA, L.A.M.; SESTAK, M.; OLIBONE, D.; SETAK, D.; KAUFMAUNN, A.V.; ROTTA, S.R. Compostagem de resíduos da indústria de desfibração de algodão. **Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.25, n.2, p.540-548, 2005.

COSTA, M. S. S. DE M.; COSTA, L. A. DE M.; PELÁ, A.; SILVA, C. J. DA.; DECARLI, L. D.; MATTER, U. F. Desempenho de quatro sistemas para compostagem de carcaça de aves. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, p.692–698, 2006.

FARIAS, A.P. Componentes de produção da H. Golden Torch (*Helicônia psittacorum* x *H. spathorcinada*) influenciada pela adubação mineral e orgânica. 2004. 93p. **Dissertação (Mestrado)** – Centro de Ciências Agrárias, UFAL, Rio Largo, 2004.

FONG, M.; WONG, J.W.C.; WONG, M.H. Review on evaluation of compost maturity and stability of solid waste. **Shanghai Environmental Science**, Shanghai, v.18: p.91-93, 1999.

GABRIELLE, B.; SILVEIRA, J.D.; FRANCO, C.S.H. Simulating urban waste compost effects on carbon and nitrogen dynamics using a biochemical index. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 33, p.2333-2342, 2004.

GORGATI, C.Q. **Resíduos sólidos urbanos em área de proteção aos mananciais – município de São Lourenço da Serra – SP: compostagem e impacto ambiental**. 2001. 82p. Tese (Doutorado)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu: UNESP, 2001. 82p.

HAO, X.; CHANG, C.; LARNEY, F.J. Carbon, nitrogen balances and greenhouse gas emission during cattle feedlot manure composting. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 33, n. 1, p. 37-44, 2004.

HERMANS, C.; HAMMOND, J.P.; WHITE, P.J.; VERBRUGGEN, N. How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation. **Trends in Plant Science**, London, v.11, n.3, p.610-617, 2006.

IMBAR, Y., HADAR, Y.; CHEN, Y. Recycling of cattle manure, the composting process and characterization of maturity. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v, 22: 857–863, 1993.

JAHNEL, M.C.; MELLONI, R.; CARDOSO, E.J.B.N. Maturidade de composto de lixo urbano. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.56, n. 2, p. 1-6, 1999.

KIEHL, E.J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 4ª ed. E. J. Kiehl. Piracicaba, 2004.173 p.

KROB, A.D.; MORAES, S.P.; SELBACH, P.A.; BENTO, F.M.; CAMARGO, F.A.O. Propriedades químicas de um Argissolo tratado sucessivamente com composto de lixo urbano. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.3, p.433-439, 2011.

LIMA, C.C.; MENDONÇA, E.S.; SILVA, I.R.; SILVA, L.H.M.; ROIG, A. Caracterização química de resíduos da produção de biodiesel compostados com adição mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.3, p.334-340, 2009.

LINDSAY, W.L.; NORWELL, W.A. Development of a DTPA soil tests for zinc, iron, manganese and cooper. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v 42, p.421-428, 1978.

MANTOVANI, J.R.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; BARBOSA, J.C. Alterações nos atributos de fertilidade em solo adubado com composto de lixo urbano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.817-824, 2005.

MARAGNO, E.S.; TROMBIN, D.F.; VIANA, E. O uso da serragem no processo de minicompostagem. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.12, p.355-360, 2007.

MAZUR, N.; SANTOS, G.A.; VELLOSO, A.C.X. Efeito do composto de resíduo urbano na disponibilidade de fósforo em solo ácido. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Campinas, v.7, p.153-156, 1983.

NÓBREGA, R.S.A.; FERREIRA, P.A.A.; SANTOS, J.G.D.; VILAS BOAS, R.C.; NÓBREGA, J.C.A.; MOREIRA, F.M.S. Efeito do composto de lixo urbano e calagem no crescimento inicial de Mudanças de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell) Morgon. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 36, n.7, p.181-189, 2008

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R. & ABREU Jr., C.H. Alterações em atributos químicos de um Latossolo pela aplicação de composto de lixo urbano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p.529-538, 2002.

OLIVEIRA, L.P.; ACCIOLY, A.M.A.; MENEZES, R.S.C.; ALVES, R.N.; BARBOSA, F.S.; SANTOS, C.L.R. Parâmetros indicadores do potencial de mineralização do nitrogênio de compostos orgânicos. **IDESIA**, Chile, v.30, n.1, p.65-73, 2012.

PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D.; SIQUEIRA, R.; ANDROCIOLI FILHO, A. Cultura do cafeeiro: O sistema de plantio densado e a melhoria da fertilidade do solo. **Informe Agrônomo**, Carambeí, n. 80 p.1-7, 1997.

RAMOS, S.J.R.; ALVES, D.S.; FERNANDO, L.A.; COSTA, C.A. Rendimento do feijão e alteração no pH e na matéria orgânica do solo em função de doses de composto de resíduos de algodão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.5, p.1572-1576, 2009.

RAIJ, B. Van; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análises de solos para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1987. 31p. (IAC. Boletim Técnico, 81).

SAID-PULLICINO, D., ERRIQUENS, F.G., GIGLIOTTI, G. Changes in the chemical characteristics of water-extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity. **Bioresource Technology**. Oxford, 98, 1822–1831, 2007

SARDÁ, L.G.; HIGARASHI, M.M.; MULLER, S.; OLIVEIRA, P.A.; COMIN, J.J. Redução da emissão de CO₂, CH₄ e H₂S através da compostagem de dejetos suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n. 9, p.1008-1013, 2010.

STOTZKY, G. Microbial respiration. In: BLACK, C. A.; EVANS, D. D.; WHITE, J. L.; ENSMINGER, L. E.; CLARK, F. E. (Eds.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society Agronomy, 1965. p 1550-1570.

TRANNIN, I.C. de; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. Atributos químicos e físicos de um solo tratado com lodo de esgoto industrial e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.3, p.223-230, 2008.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; VOLKWEISS, J.S. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 188p. (Boletim Técnico, 5).

TIQUIA, S. M.; TAM, N. F. Y. Characterization and composting of poultry litter in forced aeration piles. **Process Biochemistry**, Elsevier, v.37, n.8, p.869–880, 2002.

VALENTE, B.S.; XAVIER, E.C.; MORAES, P.O.; MANZKE, N.E.; ROLL, V.F.B. Eficiência do SISCODE e da aeração passiva no tratamento de resíduos da produção animal no município do Capão do Leão/RS. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.16, n.3, p.231-236. 2011.

WONG, M.T.F.; NORTCLIFF, S.; SWIFT, R.S. Method for determining the acid ameliorating capacity of plant residue compost, urban waste compost, farmyard manure and peat applied to tropical soils. **Communications Soil Science and Plant Analysis**, v.29, p.2927-2937, 1998.

WEI, Z.; XI, B.; ZHAO, Y.; WANG, S.; LIU, H., JIANG, Y. Effect of inoculating microbes in municipal solid waste composting on characteristics of humic acid. **Chemosphere**, Amsterdam, v.68, p.368-374, 2007.

Manuscrito recebido em: 06/04/2013
Revisado e Aceito em: 30/04/2013