

Uso de composto de resíduo sólido urbano na agricultura

Márcia Antonia Bartolomeu Agustini^{1, 2}, Angela Laufer Rech^{1, 2}, Juliana Casarin³, Bruna Souza Santos², Affonso Celso Gonçalves Júnior¹

¹Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Agronomia – PPGA. Rua Pernambuco n. 1777, CEP 85.960-000, Centro, Marechal Cândido Rondon, PR

²Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Avenida Brasil, 4232, CEP 85884-000, Bairro Parque Independência, Medianeira, PR

marciaagustini@utfpr.edu.br, angelalaufer@yahoo.com.br, juh_casarin@hotmail.com,
brusouzasantos@hotmail.com, affonso133@hotmail.com

Resumo: O crescimento populacional, os avanços tecnológicos e as mudanças nos hábitos de vida têm agravado a problemática dos resíduos sólidos urbanos. A disposição inadequada destes resíduos afeta diretamente a qualidade do meio ambiente e a saúde pública. Consequentemente deve-se buscar alternativas para minimizar os impactos causados ao meio, e, o processo de compostagem surge como uma opção, pois converte resíduos orgânicos, de forma eficaz, em matéria orgânica estável, possibilita a redução da massa e volume do resíduo e destruição de patógenos. É benéfico para solos agrícolas receberem a matéria orgânica presente no resíduo sólido urbano, uma vez que causa melhoria das características químicas e biológicas do solo. Entretanto, recomenda-se que o composto orgânico seja produzido de resíduo sólido oriundo de coleta seletiva e sempre devidamente estabilizado pela compostagem. A presente revisão objetivou avaliar o uso do composto de resíduo sólido urbano na agricultura como forma de tratamento deste resíduo.

Palavras - chave: gestão ambiental, compostagem, sustentabilidade.

Use of composted municipal solid waste in agriculture

Abstract: The population growth, the technological advances and the changes in lifestyle and consumption have compounded the problem of solid urban waste. The inadequate disposal of these wastes directly affects the quality of the environment and public health. Therefore one should seek alternatives to minimize the impacts to the environment, and the composting process appears as an option, for converting organic waste in an efficient, in-stable organic matter, allows to reduce the mass and volume of waste and destruction of pathogens. It is beneficial to receive agricultural soil organic matter present in municipal solid waste, since it causes improved chemical and biological characteristics of the soil. However, it is recommended that the organic compound is produced solid waste originating from selective collection and always adequately stabilized by composting. This review aimed to evaluate the use of the compound of municipal solid waste in agriculture as a treatment of this waste.

Key-words: environmental management, composting, sustainability.

Introdução

Devido ao moderno modo de vida, ao aumento das atividades humanas e ao consumo, a quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados aumenta ao longo dos anos (Alzate-Gaviria *et al.*, 2007; Gentil *et al.*, 2011). A produção destes resíduos no ambiente urbano é de tal intensidade que não é possível conceber uma cidade sem considerar a problemática gerada pelos mesmos, desde a geração até a disposição final (Mucelin e Bellini, 2008).

Prado Filho e Sobreira (2007) afirmam que os resíduos sólidos urbanos se caracterizam como importantes agentes causadores de degradação do ambiente urbano e natural. Assim, estes resíduos vêm ganhando destaque como um grave problema contemporâneo, uma vez que, a gestão inadequada gera diretamente impactos importantes, tanto ambientais, quanto na saúde pública (Gouveia, 2012). Perante os efeitos negativos causados pelos resíduos sólidos urbanos surge à necessidade de opções para o tratamento destes resíduos que garanta benefícios, além dos obtidos com a disposição final adequada (Castillo *et al.*, 2006). Logo, os métodos de tratamento devem contemplar aspectos técnicos, econômicos, sociais e políticos visando à sustentabilidade.

O tratamento dos resíduos sólidos orgânicos torna-se possível por meio do processo de compostagem, um método menos dispendioso e eficaz na redução da quantidade de material a ser disposta em aterros (Barreira *et al.*, 2008; Troschinetz e Mihelcic, 2009). Este método promove a estabilização destes resíduos, gerando como produto um composto orgânico que pode ser utilizado na agricultura como fonte de adubo orgânico.

As vantagens da compostagem podem ser mensuradas pelo baixo custo operacional do processo de transformação do resíduo em produto de valor agregado, uso do composto orgânico na fertilização do solo para a agricultura, uma vez que, o composto promove a melhoria das características físicas, físico-químicas e biológicas do solo, e a conseqüente redução dos impactos causados pela diminuição da fração orgânica presente no montante de resíduos sólidos urbanos, contribuindo assim, para a melhoria das condições ambientais e da saúde da população. Porém, para a aplicação segura e técnica do composto orgânico no solo agrícola, é necessário adotar os critérios de produção recomendados para que o material esteja bioestabilizado, o que, conseqüentemente, remete a necessidade de produção de um composto de boa qualidade (Silva *et al.*, 2002; Oliveira *et al.*, 2005).

Neste contexto, este artigo apresenta considerações referentes ao uso de composto de resíduo sólido urbano na agricultura, contemplando também a questão dos impactos

ambientais causados pelos resíduos sólidos urbanos, o processo de compostagem e a legislação ambiental pertinente ao assunto tratado.

Resíduos Sólidos Urbanos x Impacto Ambiental

A Lei nº12.305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), define resíduo sólido como “material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semisólido”. Esta mesma Lei considera ainda que, os resíduos sólidos urbanos englobam os resíduos domiciliares, isto é, aqueles originários de atividades domésticas em residências urbanas e os resíduos de limpeza urbana, quais sejam, os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas, bem como de outros serviços de limpeza urbana (Brasil, 2010).

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil, aumenta de maneira gradativa, sendo que, de 2010 para 2011 ocorreu um aumento de 1,8%. Esse valor corresponde a uma geração de 61.936.368 Megagrama ano⁻¹ de resíduos em 2011, sendo que a geração per capita nesse ano equivaleu a 381,6 kg hab ano⁻¹, ou seja, cada brasileiro gera em média um quilograma de resíduo sólido por dia.

Consequentemente, com a geração de resíduos sólidos urbanos, torna-se necessário, em termos de gestão ambiental, fazer a destinação adequada dos mesmos, porém no atual cenário brasileiro, a destinação final ocorre em sua maior parte de maneira inadequada. Dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, realizada em 2008, pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), revelam que do total de resíduos sólidos urbanos gerados, 50,7% são destinados a lixões, 22,5% a aterros controlados e 27,7% a aterros sanitários.

Assim, este cenário remete ao fato de que a disposição inadequada afetará a qualidade do meio ambiente e a saúde pública, proporcionando impactos negativos. Ayomoh *et al.* (2008) e Lino e Ismail (2011) enfatizam que os resíduos sólidos urbanos constituem um produto resultante das atividades humanas, caracterizados pelos impactos negativos que podem causar ao meio ambiente e a saúde pública, quando descartados de maneira inadequada.

Segundo Brasil (1986), impacto ambiental representa “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais”.

Montaño *et al.* (2012) citam como principais impactos potenciais gerados pela disposição final de resíduos sólidos urbanos, a contaminação do solo e do subsolo, a contaminação das águas superficiais, subsuperficiais e subterrâneas, a geração de gases e odores e a possibilidade de intensificação de processos erosivos no solo.

No caso da destinação final destes resíduos em lixões, a decomposição da matéria orgânica resulta na formação de um líquido de cor escura, o chorume, que pode contaminar o solo e as águas superficiais ou subterrâneas, além disso, há liberação de odores e gases tóxicos para a atmosfera, presença de vetores transmissores de doenças e catadores nestes locais, evidenciando o impacto ambiental e os riscos para a saúde pública (Gouveia, 2012).

A disposição final de resíduos sólidos urbanos em aterros é o método mais amplamente empregado em todo o mundo (Zhao *et al.*, 2012). A decomposição microbiológica da massa de resíduos aterrada produz um líquido de cor escura e de alto potencial poluidor, denominado lixiviado (Queiroz *et al.*, 2011). Este líquido pode conter altas concentrações de metais pesados, sólidos suspensos e compostos orgânicos, logo, se estas substâncias solúveis atingirem as águas superficiais e subterrâneas haverá comprometimento da qualidade e dos usos potenciais dos recursos hídricos (Celere *et al.*, 2007). O controle e o tratamento do lixiviado gerado tornam-se imprescindíveis para não ocorrer impactos no meio ambiente e na saúde pública (Castilhos Jr. *et al.*, 2010).

Nos países em desenvolvimento, a fração orgânica contida nos resíduos sólidos urbanos representa a maior parcela, cerca de 55% (Troschinetz e Mihelcic, 2009). Porém, Gómez *et al.* (2009), destacam que fatores econômicos e atividades sociais determinam a composição de resíduos gerados em diferentes épocas e locais, sendo que, o conhecimento da composição dos resíduos sólidos urbanos é base para a aplicação de métodos de tratamento eficazes.

O tratamento adequado de resíduos sólidos orgânicos é um desafio enfrentado por qualquer nação em desenvolvimento, uma vez que, o gerenciamento inadequado destes resíduos, gera impactos ambientais adversos (Khoo *et al.*, 2010). A disposição de resíduos sólidos orgânicos em aterros deve ser progressivamente reduzida, sendo que, tal mudança implica diretamente na redução dos impactos ambientais causados por este método de disposição final de resíduos sólidos urbanos (Manfredi *et al.*, 2010).

Dados da ABRELPE (2011) e do IBGE (2011) revelam que, em termos de composição gravimétrica de resíduos sólidos urbanos, no Brasil, a maior parcela corresponde a resíduos orgânicos, cerca de 51,4%, sendo que, cerca de 3% destes resíduos são

reaproveitados pelo processo de compostagem, existindo no País apenas 211 unidades de compostagem, o que equivale ao tratamento de 45.710 Mg dia⁻¹ destes resíduos.

Giusti (2009) afirma que, a compostagem representa o método de tratamento de resíduos sólidos urbanos que causa menor impacto ambiental, em termos de gestão destes resíduos, quando comparada a métodos tradicionais como aterros sanitários, aterros controlados, incineração e reciclagem, os quais podem causar impactos na água, no ar, no solo, bem como, poluição visual.

Em virtude de seus benefícios, a compostagem constitui-se em um elemento fundamental para a sustentabilidade das ações voltadas para a gestão de resíduos sólidos urbanos, reduzindo as quantidades e o potencial de impacto do fluxo destes resíduos, além de contribuir para a manutenção e recuperação da fertilidade do solo reincorporando matéria orgânica aos ciclos da natureza na forma de fertilizante orgânico (Silva *et al.*, 2005).

Compostagem

A escassez de terras para a eliminação de resíduos, na maioria das populações urbanas, impulsiona os ambientalistas na busca por um processo adequado, que vise a reciclagem e a destinação final dos resíduos sólidos urbanos como parte importante e integrante de um sistema de gestão de resíduos sólidos (Petric *et al.*, 2012). A compostagem abrange estes aspectos, pois, além de ser uma forma eficaz para a redução da massa e volume dos resíduos, esta prática viabiliza a destruição de patógenos e estabilização de nutrientes e matéria orgânica (FAO, 2003).

No processo de compostagem os microorganismos convertem o substrato orgânico em dióxido de carbono (CO₂), água e nutrientes inorgânicos, e o resultado final é uma mistura estabilizada, também chamada de húmus (Baldwin e Greenfield, 2006).

Existem dois tipos de compostagem, a anaeróbica e a aeróbica. A compostagem aeróbica é realizada por organismos que só vivem na presença de oxigênio, os resíduos sólidos orgânicos são dispostos em leiras, o tempo de processamento é mais curto e o composto resultante tem pouco risco de fitotoxicidade, isto porque a temperatura pode chegar a mais de 70°C eliminando muitos patógenos e semente de ervas daninhas (Ryckeboer *et al.*, 2003; Cariello *et al.*, 2007).

Todos os fatores citados anteriormente tornam a compostagem aeróbica mais eficiente e útil do que a compostagem anaeróbica para a utilização agrícola, visto que, apesar da decomposição anaeróbica envolver pouco trabalho e perda de poucos nutrientes durante o processo, já que os resíduos sólidos orgânicos estão armazenados em compartimentos

fechados, leva mais tempo até que a matéria orgânica se estabilize, e por ser um processo de baixa temperatura deixa sementes de ervas daninhas e patógenos intactos (FAO, 2003; Ryckeboer *et al.*, 2003; Zhang *et al.*, 2012).

Durante a compostagem ocorrem duas fases de ação microbiológicas: a bioestabilização e maturação (Saha *et al.*, 2010). O processo de bioestabilização é caracterizado por reações bioquímicas mais intensas. Nesta etapa ocorre a fase inicial mesofílica (temperatura 10 - 40 °C). Como consequência da rápida decomposição, da matéria orgânica disponível, por microorganismos termofílicos, a temperatura do composto aumenta (40°C a 60°C) e dá-se início então a fase termofílica, onde a temperatura pode chegar a 70 °C (Zhang *et al.*, 2012).

A segunda fase ou fase de maturação acontece quando ocorre processo de humificação e mineralização da matéria orgânica. À medida que a matéria orgânica se estabiliza, a atividade microbiana, a taxa de decomposição da matéria orgânica e a temperatura diminuem gradualmente para todos os níveis ambientais, por fim o composto gerado estável, também chamado de húmus, é formado (Cariello *et al.*, 2007; Saha *et al.*, 2010).

Em estudos conduzidos por Cariello *et al.* (2007) a temperatura da mistura de composto diminuiu imediatamente depois de atingir o máximo. Segundo os autores este resultado provavelmente deve-se ao menor teor de umidade e, por conseguinte, o maior espaço de ar livre no meio, pois havia poros maiores no interior da mistura de composto. Portanto, neste trabalho a matéria degradável não foi consumida completamente por microorganismos termofílicos.

Na compostagem, os resíduos sólidos orgânicos sofrem a ação de uma comunidade microbiana mista, podendo esta ser aeróbia ou anaeróbia, que biodegradam a matéria gerando um auto-aquecimento (Hasan *et al.*, 2012). O aquecimento é devido à liberação de calor metabólico da atividade microbiana que depende do conteúdo de energia dos substratos, a disponibilidade de oxigênio e de umidade (Ryckeboer *et al.*, 2003).

Cariello *et al.* (2007) inocularam microorganismos em pilhas de compostagem de resíduos sólidos orgânicos para acelerar o processo. Os mais eficientes foram bactérias *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens* e cepas de fungos *Aspergillus fumigatus*. O produto final apresentou os parâmetros de qualidade necessários, gerando um composto de qualidade, relativamente estável, minimizando assim risco de efeitos negativos sobre o meio ambiente.

Compostos de Carbono servem como fonte de energia para a manutenção e crescimento dos microorganismos. O coeficiente de rendimento é a quantidade de Carbono

incorporado para dentro das células por unidade de Carbono degradado, varia de 10% a 35%, dependendo do substrato, conteúdo de energia, organismo degradante e condições ambientais (Getahun *et al.*, 2012).

Além da fonte de carbono, os microrganismos necessitam de macronutrientes tais como Nitrogênio, Fósforo, Potássio e outros elementos para o seu crescimento, sendo que a relação C/N inicial ótima do substrato tem sido relatado a variar entre 25/1 a 35/1. Caso o Nitrogênio for limitado durante o processo de compostagem a degradação será lenta, e em excesso de oferta podem ser perdido a partir do sistema como gás de amoníaco ou por meio de lixiviação como o Nitrato (Sun *et al.*, 2011).

A aeração é considerada um fator limitante da compostagem, isto porque pode afetar a velocidade de decomposição tão bem como da qualidade do composto (Ogunwande *et al.*, 2008). Getahun *et al.*, (2012) realizaram um estudo com o objetivo de investigar os efeitos da frequência de viragem em propriedades físicas, químicas e biológicas do composto de resíduos sólidos orgânicos e observaram que, a baixa frequência de viragem é a melhor estratégia para gerenciar a compostagem e impulsionar produtividade agrícola.

Alguns trabalhos experimentais sobre a degradabilidade de diferentes misturas orgânicas, como uma função da respectiva composição inicial e propriedades bioquímicas (Francou *et al.*, 2008; Doubleta *et al.*, 2011). Estes estudos têm mostrado que a evolução da degradabilidade está diretamente correlacionada com as propriedades iniciais bioquímicas da matéria-prima.

O processo de compostagem deve ser monitorado para garantir que a aplicação do produto final (composto) na agricultura esteja livre de efeitos fitotóxicos e outros resíduos prejudiciais às plantas e ao solo (Hargreaves *et al.*, 2008).

O processo de compostagem converte resíduos em matéria orgânica higienizada e estável que é valiosa para a agricultura. É por este motivo que se faz necessário o estudo da aplicação destes compostos na agricultura.

Aplicações de composto na agricultura

Tendo em vista que a problemática da disposição dos resíduos sólidos urbanos é preocupante sob o ponto de vista ambiental, social e econômico, a Agenda 21 Global apontou para o incentivo às políticas de gerenciamento de resíduos sólidos, com ênfase em coleta seletiva e compostagem (Pires, 2006). Assim, o uso do composto de resíduo sólido urbano em solos agrícolas objetiva promover a reciclagem da matéria orgânica, dos nutrientes, e reduzir a

contaminação com patógenos humanos por usar o solo como meio favorável ao consumo da carga orgânica potencialmente poluidora.

A utilização do composto de resíduo sólido urbano (CRSU) em solos agrícolas tem acarretado alterações nos atributos de fertilidade do solo. Resultados positivos foram obtidos por Lima *et al.*, (2011) ao incorporarem quatro doses do composto (0, 10, 20 e 40%) a um Neossolo Regolítico Arenoso. Ao final do experimento, observaram efeito linear das doses de CRSU para os íons cálcio, magnésio e potássio no solo, bem como para o teor de matéria orgânica, a capacidade de troca catiônica e soma das bases trocáveis. Resultados similares foram obtidos por Mantovani *et al.* (2005), que avaliaram os teores de matéria orgânica, P, Ca^{2+} e Mg^{2+} ao aplicarem o CRSU em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, nas doses de 0, 30, 60, 90 e 120 t ha⁻¹. Os aumentos de P, Ca e Mg possivelmente foram obtidos devido à mineralização de parte destes elementos que estavam na forma orgânica.

Quanto ao íon sódio, foi observado efeito quadrático, com ponto de máximo estimado em 46,25% de CLU (Lima *et al.*, 2011). É importante ressaltar, que o sódio exerce prejuízos ao ambiente celular, além de trazer uma série de efeitos deletérios como desidratação e conseqüente morte celular em folhas e ramos (Marschner, 2002), assim, ao utilizar o CRSU como fonte de minerais, faz-se necessário avaliar os teores deste íon, a fim de não prejudicar a cultura.

Alterações no pH do solo também são constatadas após a incorporação do CRSU. Lima *et al.* (2011) obtiveram um incremento de 7,3% ao comparar o tratamento sem aplicação de composto (0%) com aquele que recebeu a maior dose testada (40%). Esta elevação do pH ocorre devido aos ânions orgânicos solúveis ($\text{R-COO}^-\text{R-O}^-$) dos compostos orgânicos poderem adsorver H^+ da solução do solo por meio de reação de troca (Mantovani *et al.*; 2005). Resultados similares foram encontrados nos experimentos de Artur *et al.* (2007) e Pires *et al.* (2008).

O composto de resíduo sólido urbano, quando oriundo de matéria-prima de má qualidade e processos de compostagem mal conduzidos (Pires, 2006) pode apresentar riscos potenciais de contaminação do solo, das plantas e do lençol freático com metais pesados (Silva *et al.*, 2003). E, como cada planta difere em relação à quantidade e especificidade na absorção de metais, faz-se necessário o estudo do impacto do uso de CRSU sobre a concentração de metais pesados, principalmente em hortaliças de raiz, mais susceptíveis a contaminação (Sampaio *et al.*; 2008).

Em experimentos realizados por Sampaio *et al.* (2008) no uso do CRSU em plantas de beterraba, foram constatadas doses acima do valor máximo tolerável (ABIA, 1985) para

níquel e chumbo na raiz de beterraba. Para os demais metais avaliados (Cobre e Cádmio) os valores mantiveram-se dentro do limite permitido pela legislação. Quanto aos teores de Zinco, o metal ultrapassou o limite considerado fitotóxico para planta (Marques *et al.*, 2002). Já, para Mesquita Filho *et al.* (2002) o uso de CRSU alterou os teores de Cobre e Zinco na cenoura, porém seus teores estiveram abaixo dos permitidos pela legislação brasileira de alimentos. Este resultado corrobora com Carbonell *et al.* (2011) que encontraram ligeiro aumento nos teores de Cobre, Zinco e Chumbo em solo areno-argiloso ao usar CRSU em plantas de milho. No entanto, para Cromo, Níquel, Chumbo e Mercúrio os valores encontrados nas partes aéreas do vegetal foram baixas devido à barreira formada pelo sistema radicular.

O composto de lixo possui vários micronutrientes, como Zinco, Manganês e Cobre, que podem ser liberados para as plantas com o tempo, reduzindo ou mesmo substituindo o uso de fertilizante. Entretanto, o composto de má qualidade pode conter outros metais tóxicos como Chumbo, Cromo, Cádmio e Níquel, que uma vez adicionados ao solo podem ser absorvidos pela planta, entrando assim na sua cadeia alimentar (Silva *et al.*, 2002).

É notável a relativa atenção às pesquisas com metais pesados em solos adubados com CRSU, no entanto, os riscos ao ambiente devido à mineralização do nitrogênio orgânico e a possibilidade de percolação de nitratos tem sido pouco estudadas. A grande mobilidade do íon nitrato no solo, aliada à crescente utilização de fertilizantes minerais nitrogenados, e a necessidade cada vez maior de disposição de resíduos urbanos, principalmente GRSU e lodo de esgoto, estão contribuindo para o agravamento, dos problemas de eutrofização de águas subterrâneas, as quais, muitas vezes, são a principal ou única fonte de água potável de grandes populações (Hue, 1995).

Certos alimentos, como as hortaliças folhosas tendem a acumular mais nitrato, e, sua ingestão em doses elevadas pode resultar na formação de compostos carcinogênicos. Assim, a fim de avaliar os efeitos do CRSU no acúmulo de nitrato em alface, na mobilidade no solo e nas perdas por lixiviação em dois cultivos sucessivos, Mantovani *et al.* (2005) conduziram experimentos que resultaram em efeito quadrático para nitrato na parte aérea da alface (matéria seca) para primeiro cultivo (0,47 a 0,86 g kg⁻¹), e linear para o segundo (0,31 a 0,52 g kg⁻¹), apresentando-se inferiores quando comparados ao limite estabelecido pela Comunidade Européia (2,50 e 3.50 g kg⁻¹).

Quanto ao nitrato no solo para as profundidades de 0-20 e de 20-40 cm, os teores encontrados foram baixos (menores que 5 mg kg⁻¹) e não variaram com a aplicação do CRSU, ao passo que, na camada de 40-60 cm, os teores aumentaram com a aplicação de adubo orgânico até a dose de 107 t há⁻¹ e variaram de 19 a 39 mg kg⁻¹. Em todos os tratamentos, o

nitrito se concentrou na profundidade 40-60cm, o que indica alta mobilidade do íon no solo. E, houve aumento linear com aplicação de CRSU nos teores de nitrito lixiviado, sendo verificado aumento de 115% e de 63% nas colunas que receberam um e dois cultivos de alface, respectivamente. Assim, para Mantovani *et al.* (2005) há risco potencial de contaminação do lençol freático causada pelas perdas do íon nitrito por lixiviação em áreas adubadas com composto de lixo urbano. Já, para Wolkowski (2003) não foi observado aumento nos teores de nitrito em profundidade com a aplicação do composto, que possuía relação C/N alta (35/1), e a planta-teste empregada foi o milho, que tem sistema radicular muito mais profundo que a alface.

Em relação aos aspectos legais referentes ao uso dos resíduos sólidos na agricultura, como composto orgânico, a Lei nº 6.894/80, e a sua regulamentação por meio do Decreto nº 86.955/82, foi a primeira Lei específica que regulamentou a inspeção e fiscalização da produção e comércio de fertilizantes e corretivos agrícolas destinados à agricultura. Esta mesma Lei prevê a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura, serão realizadas pelo Ministério da Agricultura. A legislação em vigor em países europeus regulamenta a presença de metais pesados no composto de lixo estabelecendo um limite máximo desses elementos para que esse adubo orgânico possa ser empregado na agricultura. Esse conceito permite o acúmulo de metais pesados no solo, até um limite máximo previamente estabelecido pela legislação (Silva *et al.*, 2002).

Conclusões

A crescente geração de resíduos sólidos urbanos necessita de um destino final sustentável, ambientalmente adequado e economicamente viável. Neste contexto, uma alternativa de tratamento é a compostagem do material orgânico existente nesse resíduo urbano, que gera, através da decomposição, um composto que pode ser utilizado na agricultura como fonte de adubo orgânico.

A reposição da matéria orgânica promovida pela adição de CRSU é importante para melhorar a fertilidade e promover a adição de nutrientes ao solo. No entanto, metais potencialmente tóxicos podem estar presentes, prejudicando a cultura e a cadeia alimentar. Assim, deve-se observar os critérios recomendáveis e legislações vigentes para a produção de um composto de boa qualidade, afim de evitar impactos ambientais e riscos para a saúde pública.

Em termos de gestão de resíduos sólidos urbanos, a transformação de um resíduo sólido em um produto de valor agregado torna-se essencial para a sustentabilidade de um sistema de produção.

Referências

ABIA. **Compêndio da legislação dos alimentos: consolidação das normas e padrões de alimentos**. São Paulo: Associação Brasileira das indústrias da alimentação, 1985. 185p.

ABRELPE. **Panorama de resíduos sólidos no Brasil - 2011**. São Paulo: ABRELPE, 2011. 186 p. Disponível em: http://www.jbrj.gov.br/a3p_site/pdf/ABRELPE%20panorama%202001%20RSU-1.pdf. Acesso em: 08 out. 2012.

ALZATE-GAVIRIA, L.M.; SEBASTIANA, P.J.; PÉREZ-HERNÁNDEZ, A.; EAPEN, D. Comparison of two anaerobic systems for hydrogen production from the organic fraction of municipal solid waste and synthetic wastewater. **International Journal of Hydrogen Energy**, Miami, v.32, p.3141-3146, 2007.

ARTUR, A.G.; CRUZ, M.C.P.; FERREIRA, M.E.; BARRETO, V.C.M.; YAGI, R. Esterco bovino e calagem para formação de mudas de Guanandi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, p.843-850, 2007.

AYOMOH, M.K.O.; OKE, S.A.; ADEDEJI, W.O.; CHARLES-OWABA, O.E. An approach to tackling the environmental and health impacts of municipal solid waste disposal in developing countries. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v.88, p.108–114, 2008.

BALDWIN, K.R.; GREENFIELD, J. K. **Composting on organic farms**. Center for environmental farming systems. 2006. Disponível em: <http://www.georgiaorganics.org/forfarmers/cropproduction/FertilityNutrient/CompostingOnOrganicfarms.pdf>. Acesso em 05 nov. 2012.

BARREIRA, L.P.; PHILIPPI JR.; A., RODRIGUES, M.S.; TENÓRIO, J.A.S. Physical analyses of compost from composting plants in Brazil. **Waste Management**, Amsterdam, v.28, p.1417–1422, 2008.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 01**, Brasília, DF, 1986.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 12.305**, Brasília, DF, 2010.

CARBONELL, G.; IMPERIAL, R.M.; TORRIJOS, M.; DELGADO, M.; RODRIGUEZ, J.A. Effects of municipal solid waste compost and mineral fertilizer amendments on soil properties and heavy metals distribution in maize plants (*Zea mays* L.). **Chemosphere**, Spain, v.85, n.10, p.1614-1623, 2011.

CARIELLO, M. E.; CASTAÑEDA, L.; RIOBO, I.; GONZÁLEZ, J. Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos. **Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal**, Temuco, v.7, n.3, p. 26-37, 2007.

CASTILLO M.E.F.; CRISTANCHO, D.E.; ARELLANO, V.A. Study of the operational conditions for anaerobic digestion of urban solid wastes. **Waste Management**, Amsterdam, v.26, p.546-556, 2006.

CASTILHOS JR., A.B.; DALSSASSO, R.L.; ROHERS, F. Pré-tratamento de lixiviados de aterros sanitários por filtração direta ascendente e coluna de carvão ativado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.15, n.4, p.385-392, 2010.

CELERE, M.S.; OLIVEIRA, A.S.; TREVILATO, T.M.B.; SEGURA-MUÑOZ, S.I. Metais presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e sua relevância para saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.23, n.4, p.939-947, 2007.

DOUBLETA, J.; FRANCOUB C.; POITRENAUD M.; HOUOTA S. Influence of bulking agents on organic matter evolution during sewage sludge composting; consequences on compost organic matter stability and N availability. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v.102, n.2, p.1298–1307, 2011.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **On-Farm Composting Methods**. 2003. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/007/y5104e/y5104e00.htm#Contents>. Acesso em: 08 out. 2012.

FRANCOU, C.; LINÈRES, M.; DERENNE, S. Influence of green waste, biowaste and paper-cardboard initial ratios on organic matter transformations during composting. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v.99, p.8926-8934, 2008.

GENTIL, E.C.; GALLO, D.; CHRISTENSEN, T.H. Environmental evaluation of municipal waste prevention. **Waste Management**, Amsterdam, v.31, p.2371–2379, 2011.

GETAHUNA, T.; NIGUSIEA, A.; ENTELEA T.; VAN GERVEN, B.; VAN DER BRUGGENB T.B. Effect of turning frequencies on composting biodegradable municipal solid waste quality. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v.65, p.79– 84, 2012.

GIUSTI, L. A review of waste management practices and their impact on human health. **Waste Management**, Amsterdam, v. 29, p. 2227-2239, 2009.

GÓMEZ, G.; MENESES, M.; BALLINAS, L; CASTELLS, F. Seasonal characterization of municipal solid waste (MSW) in the city of Chihuahua, Mexico. **Waste Management**, Amsterdam, v.29, p.2018–2024, 2009.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v.17, n.6, p.1503-1510, 2012.

HARGREAVES, J.C.; ADL, M.S.; WARMAN, P.R. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. **Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.123. p.1–14, 2008.

HASAN, K.M.M.; SARKAR, G.; ALAMGIR, M.; BARI, Q.H.; HAEDRICH, G. Study on the quality and stability of compost through a Demo Compost Plant. **Waste Management**, Amsterdam, v.32, n.11, p. 2046–2055, 2012.

HUE, N.V. Sewage sludge. In: RECHCIGL, J.E., ed. **Soil amendments and environmental quality**. Boca Raton, LewisPublishers, 1995. p.199-247.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. 219 p. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf. Acesso em: 08 out. 2012.

IBGE. **Atlas de saneamento – 2011**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. 268 p. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.shtm. Acesso em: 08 out. 2012.

KHOO, H.H.; LIM, T.Z.; TAN, R.B.H. Food waste conversion options in Singapore: Environmental impacts based on an LCA perspective. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.408, p.1367–1373, 2010.

LIMA, R.L.S.; SEVERINO, L.S.; SOFIATTI, V.; GHEYI, H.R.; ARRIEL, N.H.C. Atributos químicos de substrato de composto de lixo urbano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.2, p.185-192, 2011.

LINO, F.A.M.; ISMAIL, K.A.R. Energy and environmental potential of solid waste in Brazil. **Energy Policy**, Amsterdam, v.39, p.3496–3502, 2011.

MANFREDI, S.; TONINI, D.; CHRISTENSEN, T.H. Contribution of individual waste fractions to the environmental impacts from landfilling of municipal solid waste. **Waste Management**, Amsterdam, v.30, p.433-440, 2010.

MANTOVANI, J.R.; FERREIRA, M.E.; DA 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.29, n.5, p.817-824, 2005.

MARQUES, M.O.; MELO, W.J.; MARQUES, T.A. Metais pesados e o uso de biossólidos na agricultura. In: **Biossólidos na agricultura**. 2. ed., São Paulo: ABES/USP/UNESP, p.365-403. 2002.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic, 2002. 889p.

MESQUITA FILHO, M.V.; SOUZA, A.F.; MOITA, A.W.; RAMAGEM, R.D. Produção comercializável e teores de Cu e Zn em cenoura em decorrência da ação residual de fósforo e composto de lixo em solo sob cerrado. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n.2, p.153-157, 2002.

MONTAÑO, M.; RANIERI, V.E.L.; SCHALCH, V.; FONTES, A.T.; CASTRO, M.C.A.; SOUZA, M.P. Integração de critérios técnicos, ambientais e sociais em estudos de alternativas locais para implantação de aterro sanitário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.17, n.1, p.61-70, 2012.

MUCELIN, C. A.; BELLINI, M. Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v.20, n.1, p.111-124, 2008.

OGUNWANDE, G.A.; OSUNADE, J.A.; ADEKALU, K.O.; OGUNJIMI, L.A.O. Nitrogen loss in chicken compost as affected by carbon to nitrogen ratio and turning frequency. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v.99, n.16, p.7495–503, 2008.

OLIVEIRA, A.M.G.; AQUINO, A.M.; NETO, M.T.C. **Compostagem caseira de lixo orgânico doméstico**. Cruz das Almas: Embrapa Bahia. Circular Técnica, n.76, 2005. 6p.

PETRIC, I.; AZRA HELIC, A.; AVDIC, E.A. Evolution of process parameters and determination of kinetics for co-composting of organic fraction of municipal solid waste with poultry manure. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v.117, p.107–116, 2012.

PIRES, A.M.M. **Uso agrícola de composto de lixo urbano: benefício ou prejuízo?**. Jaguariúna: EMBRAPA, 2006. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Pires_compostoID-CuG2uuX4Ti.pdf. Acesso em: 9 out. 2012.

PIRES, A.A.; MONNERAT, P.H.; MARCIANO, C.R.; PINHO, L.G.R.; ZAMPIROLI, P.D.; ROSA, R.C.C.; MUNIZ, R.A. Efeito da adubação alternativa do maracujazeiro amarelo nas características químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1997-2005, 2008.

PRADO FILHO, J.F.; SOBREIRA, F.G. Desempenho operacional e ambiental de unidades de reciclagem e disposição final de resíduos sólidos domésticos financiadas pelo ICMS Ecológico de Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.12, n.1, p.52-61, 2007.

QUEIROZ, L.M.; AMARAL, M.S.; MORITA, M.D.; YABROUDI, S.C.; SOBRINHO, P.A. Aplicação de processos físico-químicos como alternativa de pré e pós-tratamento de lixiviados de aterros sanitários. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.16, n.4, p.403-410, 2011.

RYCKEBOER J.; MERGAERT, J.; VAES K.; KLAMMER, S.; CLERCQ, D.; COOSEMANS, J.; INSAM, H.; SWINGS, J. A survey of bacteria and fungi occurring during composting and self-heating processes. **Annals of Microbiology**, Amsterdam, v.53, n.4, p.349-410, 2003.

SAHA, J.K.; PANWAR, N.; SINGH, M.V. An assessment of municipal solid waste compost quality produced in different cities of India in the perspective of developing quality control indices. **Waste Management**, Amsterdam, v.30, p.192–201, 2010.

SAMPAIO, R.A.; GUIVARA, L.; FERNANDES, L.A.; COSTA, C.A.; GUILHERME, D.O. Produção e concentração de metais pesados em plantas de beterraba adubadas com composto de lixo urbano. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.21, n.5, p.83-88, 2008.

SILVA, F.C.; BERTON, R.S.; CHITOLINA, J.C.; BALLESTERO, S.D. **Recomendações técnicas para o uso agrícola do composto de lixo urbano no Estado de São Paulo**. Campinas: Embrapa São Paulo. Circular Técnica, n. 3, 2002. 17p.

SILVA, F.C.; SILVA, C.A.; BERGAMASCO, A.F.; RAMALHO, A.L. Efeito do período de incubação e de doses de composto de lixo urbano na disponibilidade de metais pesados em diferentes solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.3, p.403-412, 2003.

SILVA, F.C.; CHITOLINA, J.C.; BALLESTERO, S.D.; VOIGTEL, S.D.S.; MELO, J.R.B. Processos de produção de composto de lixo e sua qualidade como fertilizante orgânico. **HOLOS Environment**, Rio Claro, v.5, n.2, p.121-136, 2005.

SUN, W.; HUANG, G.H.; ZENG, G.; QIN, X.; YU, H. Quantitative effects of composting state variables on C/N ratio through GA-aided multivariate analysis. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.409, p.1243–1254, 2011.

TROSCHINETZ, A.M.; MIHELICIC, J.R. Sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries. **Waste Management**, Amsterdam, v.29, p.915-923, 2009.

WOLKOWSKI, R.P. Nitrogen management considerations for landspreading municipal solid waste compost. **Journal of Environmental Quality**, v.32, p.1844-1850, 2003.

ZHANG, Y.; LASHERMES, G.; HOUOT, S.; DOUBLET, J.; STEYER, J.P.; ZHU, Y.G.; BARRIUSO, E.P. GARNIER, P. Modelling of organic matter dynamics during the composting process. **Waste Management**, v.32, p.19–30, 2012.

ZHAO, R., NOVAK, C., GOLDSMITH, D. Evaluation of on-site biological treatment for landfill leachates and its impact: A size distribution study. **Water research**, Amsterdam, v.46, p.3837-3848, 2012.