

## QUALIDADE DO COMPOSTO DE RESÍDUO SÓLIDO URBANO

Luciana Pranzetti Barreira  
Adriana M. M. Pires  
Aline Renee Coscione  
Cássio Hamilton Abreu Junior

### RESUMO

O sucesso do uso agrícola e florestal de composto de resíduo sólido urbano é dependente da garantia de qualidade do produto, tanto em relação aos benefícios como aos possíveis prejuízos que estes podem trazer ao solo. Fatores como o teor de matéria orgânica, a concentração de nutrientes, a presença de metais pesados e patógenos humanos, devem ser avaliados antes de adicionar o composto aos solos agrícolas e florestais. A qualidade do composto está diretamente ligada ao tipo de matéria prima utilizada e à condução do processo de compostagem. Portanto, neste capítulo tem-se como objetivo discutir a importância da coleta seletiva e de um processo de compostagem bem conduzido para a qualidade do produto final, além dos métodos de análise utilizados para avaliar a qualidade do composto.

## INTRODUÇÃO

Uma das grandes discussões em torno da compostagem e seus produtos é a qualidade do composto gerado e sua aplicação em solo agrícola, devido à sua importância não só na agregação do solo e como fonte de nutrientes, mas também pelo possível impacto negativo no ambiente que sua aplicação a curto e longo prazo pode causar.

Antigamente, o resíduo orgânico mais utilizado para a produção de composto era basicamente restos de cultura e dejetos em geral. Mais recentemente, com o aumento populacional e a diversificação de indústrias e, conseqüentemente, a constante geração de resíduo, tem-se empregado outros produtos como matéria-prima, como por exemplo, os provenientes de resíduo sólido urbano, lodo de esgoto, restos de indústrias alimentícias, resíduo da fabricação de papel e de agroindústrias. Esses resíduos, geralmente, são excelentes matérias-primas para a compostagem, apresentando alto teor de matéria orgânica e/ou altos teores de macro e micronutrientes. Entretanto, esses materiais podem apresentar contaminantes em sua composição, resultando em restrições na recomendação de seu uso agrícola para fertilização (Kiehl, 1998).

A fração orgânica contida no resíduo sólido urbano (RSU) tem enorme potencial de aproveitamento para a produção de composto, entretanto, por não haver coleta seletiva, esse material chega às usinas de forma misturada, comprometendo a qualidade do produto final, devido à possível presença de inertes e outros contaminantes, como os metais pesados.

Neste capítulo serão discutidos: a qualidade do composto produzido a partir de resíduo sólido urbano, a importância da coleta seletiva e de um processo de compostagem bem conduzido para a qualidade do produto final e os métodos de análise dos compostos.

## COMPOSTO DE RESÍDUO SÓLIDO URBANO (CRSU)

O uso da decomposição de resíduo com o intuito de produzir um material mais estabilizado, adequado para a aplicação em solo agrícola, não é uma novidade. Esse processo ocorre também espontaneamente na natureza, sendo similar ao fracionamento, decomposição e estabilização de resíduo orgânico (De Bertoldi, Vallini e Pera, 1983; Witter e Lopez-Real, 1987), com a diferença primordial de que a decomposição no solo ocorre por tempo indeterminado, variando de acordo com as condições apresentadas (Kiehl, 1998).

Na compostagem existem muitos fatores que influenciam os processos de decomposição, maturação e a qualidade do produto final. Particularmente para o composto produzido a partir de resíduo sólido urbano, o ponto mais importante em relação à qualidade do composto é a separação adequada da fração orgânica, indicando a importância e a necessidade de que a coleta do lixo seja seletiva. Dessa forma, obtém-se um produto de boa qualidade e que pode ser utilizado sem maiores preocupações pelos agricultores.

Lopez-Real (1994) afirma que a qualidade do composto - e seu consequente apelo mercadológico - é absolutamente dependente da qualidade da matéria-prima básica, portanto, do resíduo utilizado, seja ele de origem agrícola, urbana ou industrial. Complementando Lopez-Real (1994), Savage (1996) argumenta que a qualidade do composto produzido de resíduo sólido urbano é determinada não só pelas características da matéria-prima, mas também pelos métodos de processamento. Segundo este autor, estes dois parâmetros devem ser levados em conta quando há o intuito de produzir um composto com determinadas especificações. Para tanto, as características do resíduo a ser compostado pode ser manipuladas no ponto de coleta, por exemplo, pela coleta separada de resíduo biodegradável e durante o processo subsequente.

Concordando com Lopez-Real (1994) e Savage (1996), Merillot (1996) afirma que a avaliação da compostagem de diferentes tipos de resíduos mostra que as características do composto são essencialmente herdadas do resíduo-base, mesmo sofrendo influência de parâmetros, como conteúdo e qualidade dos componentes orgânicos, umidade, tamanho das partículas, concentração de N, pH, potencial patogênico e condutividade.

Embora inúmeros autores afirmem que o resíduo urbano com origem na coleta seletiva produza um composto com menor carga de metais pesados que o resíduo misturado, alguns autores como Epstein et al. (1992), Woodbury (1992), Chaney e Ryan (1993) argumentam que devido à baixa fitodisponibilidade e mobilidade desses metais em condições de pH acima de 5, não há evidência científica de risco para a saúde humana ou para o ambiente. Por outro lado, mesmo que os metais pesados não estejam disponíveis, não é desejável promover o acúmulo desses elementos tóxicos no solo.

No Brasil, a coleta separada dos materiais ainda é pouco executada em função de uma política ineficiente de gerenciamento de resíduo e pelas inúmeras dificuldades de ordem econômica e de logística. Contando com algumas usinas espalhadas pelo país e conhecendo a dificuldade de gerenciar adequadamente o resíduo sólido urbano produzido pela população brasileira, a questão se torna mais complexa devido à baixa qualidade dos compostos produzidos tanto em termos de conteúdo de nutrientes, maturação completa, assim como pela presença de contaminantes, como os metais pesados.

### **Controle da qualidade do composto: matéria-prima e compostagem**

Para que o composto de resíduo sólido urbano seja utilizado de maneira segura e eficiente, a matéria orgânica base deve ser transformada e estabilizada. Além disso, deve estar livre de patógenos de plantas e animais e contaminantes em geral (Parr e Papendick, 1982; Zucconi e De Bertoldi, 1996; Senesi, 1989; Lopez-Real, 1990; Dick e McCoy, 1993; Brinton, 2000).

A qualidade do composto deve satisfazer tanto às agências regulatórias, quanto às especificações do mercado (Savage, 1996). Kiehl (1998, 2004) sugere que a qualidade do composto pode ser analisada sob diferentes pontos de vista: a qualidade vista pelo produtor, a exigida pela legislação e a vista pelo consumidor (agricultor).

Desta forma, a qualidade do composto apresenta diferentes interpretações, mas estas se interceptam no que diz respeito à umidade, à concentração de NPK e matéria orgânica e ao teor de inertes. Quanto à umidade, o composto não deve estar encharcado (valores acima de 60%) e quanto aos nutrientes, deve conter concentrações suficientes para fornecê-los às raízes e ao solo. A concentração de NPK e de matéria orgânica é extremamente importante para o valor do composto, representando também uma forma de avaliar sua qualidade e calcular seu valor de mercado, comparando-o aos produtos químicos (Kiehl, 1998, 2004).

Quanto ao teor de inertes, é importante que o composto não os apresente em sua composição ou que contenha quantidades mínimas, pois a presença destes materiais proporciona a sensação de um produto de má qualidade. Isso se justifica, pois dentre os inertes, encontram-se cacos de vidro, pedaços de louça, de plástico, entre outros, provocando um impacto visual negativo e, conseqüentemente, tornando-se um obstáculo para sua venda (Kiehl, 1998, 2004). Além disso, a presença de inertes pode alterar a qualidade agrônômica do composto.

Outros indicadores de qualidade do composto também são examinados pelo agricultor, como por exemplo, a inexistência de odor, a coloração escura e o tamanho das partículas (partículas finas ou médias são mais atrativas), que são características de um composto maduro, obtido a partir de um processo de compostagem adequado.

Portanto, para se obter um produto de qualidade é necessário que, além do material ser coletado seletivamente ou ser de origem “limpa”, seja realizado um processo adequado de compostagem, controlando-se os fatores que interferem na degradação da matéria orgânica, como relação C:N, umidade, aeração, temperatura, entre outros, até que o estágio de maturação seja atingido.

Os fatores que afetam o processo de compostagem já foram bastante estudados, de maneira que as condições ideais para cada um deles já foram estabelecidas. Embora não exista um consenso, as faixas de variação sugeridas por diferentes autores são bastante próximas. Na Tabela 1 são apresentadas as condições ideais para os fatores que afetam a compostagem, com base em Pereira Neto (1996) e Kiehl (2004), que realizaram uma extensa revisão sobre o tema.

Tabela 1. Fatores controlados durante o processo de compostagem.

Fator	Condição ideal
Relação C:N da matéria-prima	26:1 a 40:1 (ótima 30:1)
Granulometria da matéria-prima	20 a 70 mm
Umidade da pilha ou leira <sup>*</sup>	40 - 60 % (ótima 55 %)
Oxigenação da pilha ou leira <sup>*</sup>	Revolver ou utilizar insufladores de ar
Temperatura da pilha ou leira na fase de degradação ativa <sup>**</sup>	45 - 65°C (ótima: 55°C)

<sup>\*</sup>Na fase de maturação não é necessário o revolvimento e controle de umidade.

<sup>\*\*</sup>Detalhes sobre as fases de compostagem no Capítulo 3.

Fonte: Kiehl (1998, 2004) e Pereira Neto (1996).

A relação C:N da matéria-prima é importante, pois os teores de carbono e nitrogênio devem estar numa proporção que facilite a atividade microbiana e, conseqüentemente, a degradação da matéria orgânica. A relação C:N ideal é de 30:1, uma vez que o carbono e o nitrogênio são imobilizados na relação 10:1 e que, para cada 30 partes de carbono assimiladas, 20 partes são eliminadas na atmosfera na forma de dióxido de carbono e 10 partes são imobilizadas, ou seja, convertidas da forma mineral para orgânica, e incorporadas no protoplasma do microorganismo, vindo depois a constituir o húmus (Kiehl, 2004). Se forem utilizados materiais com relação mais alta, o processo se tornará muito lento, devido à deficiência de N.

O tamanho das partículas da matéria-prima está diretamente ligado à eficiência do processo, principalmente no que diz respeito à menor compactação e maiores homogeneização e porosidade que resultam numa melhor capacidade de aeração (Pereira Neto, 1996).

Caso a umidade esteja abaixo de 40%, ocorre restrição da atividade microbiológica. Se estiver acima de 70%, o processo de degradação da matéria orgânica começa a ser anaeróbio, podendo gerar odores e chorume. Também para evitar anaerobiose, é necessária a oxigenação das pilhas ou leiras, que pode ser realizada por meio de revolvimento dessas ou do uso de insufladores de ar.

As altas temperaturas que ocorrem durante a fase de degradação ativa são as principais responsáveis pelo controle de patógenos humanos. Deve-se, entretanto, atentar para o fato de que temperaturas acima de 65°C podem provocar a morte de microrganismos ligados à degradação da matéria orgânica.

Quando a temperatura da pilha ou leira atinge por volta de 40°C, o composto pode ser levado para o pátio de maturação. Nesse caso, não é mais necessário o revolvimento e controle de umidade. A fase de maturação é muito importante, já que o composto maduro é livre de mau cheiro, possui coloração e odor característicos e tem seu manuseio, estocagem e transporte muito facilitados, o que são atrativos para o agricultor. O composto cru não possui essas qualidades e pode ser prejudicial ao desenvolvimento das plantas (Tabela 2).

**Tabela 2.** Diferenças entre composto maduro e o composto cru.

Composto maduro	Composto cru
Nitrogênio como íon nitrato	Nitrogênio como íon amônio
Enxofre como íon sulfato	Parte do enxofre como íon sulfídrico
Baixa demanda de oxigênio	Alta demanda de oxigênio
Sem perigo de putrefação	Perigo de putrefação
Mineralização é cerca de 50%	Altas concentrações de substâncias orgânicas não mineralizadas
Alta capacidade de retenção de água	Baixa capacidade de retenção de água

Fonte: Obeng e Wright (1987).

De acordo com as características apresentadas, o composto cru ainda não possui as qualificações necessárias de um composto de boa qualidade, demonstrando que, apesar de ter havido um início de decomposição, a matéria orgânica não pode ser considerada bioestabilizada. O uso de compostos imaturos no cultivo de plantas pode ocasionar a interferência na germinação das sementes e possível toxicidade causada pelo excesso de amônia (Kiehl, 1998).

### **Controle da qualidade do composto: contaminantes**

Não só o monitoramento do processo de compostagem e o grau de maturação do composto devem ser levados em consideração quando se avalia a qualidade do CRSU. A presença de contaminantes, como agentes patogênicos e metais pesados, é um importante aspecto a ser observado. Deve-se, ainda, salientar que os poluentes orgânicos persistentes são outros contaminantes que podem estar presentes no CRSU. Entretanto, o tema ainda não foi amplamente estudado, mas espera-se que, em breve, tenham-se subsídios para estabelecer limites para esses compostos.

#### **Agentes patogênicos**

A presença de patógenos no material de origem para a produção de compostos orgânicos e, conseqüentemente, no próprio composto, é motivo de preocupação entre os estudiosos da área. Esse tipo de problema pode ser resolvido com a aplicação correta do processo de compostagem, com controle da temperatura e do tempo de exposição.

No caso de compostos produzidos a partir de resíduo sólido urbano, a problemática devido a presença de agentes patogênicos também pode ser resolvida com um processo de compostagem adequado. Entretanto, é interessante destacar que, no Brasil, a presença de patógenos pode ser mais preocupante, pois a coleta geralmente não é seletiva e a população tem como hábito jogar papel higiênico usado no lixo. Além disso, muitos doentes são tratados em seu próprio domicílio, o que gera risco de introdução de agentes patogênicos no lixo coletado e enviado às usinas, uma vez que não é realizada a coleta segregada como deve ser feita com resíduo de serviços de saúde.

Programas de certificação de qualidade de compostos, em alguns países europeus, exigem que sejam alcançadas temperaturas específicas para garantir a “higiene” e a redução de patógenos, podendo-se destacar Alemanha, Áustria e Dinamarca.

A Alemanha especifica que as temperaturas nas pilhas de compostos devam alcançar mais de 55°C por duas semanas ou mais de 65°C por uma semana para sistemas abertos e, no caso de sistemas fechados, mais de 60°C por uma semana. Na Áustria, todos os compostos são obrigados a atingir mais de 60°C por seis dias, ou mais de 65°C por três dias, enquanto que na Dinamarca, o padrão exigido para os compostos é mais de 55°C por duas semanas (Brinton, 2000, 2001). De acordo com Pereira Neto (2001, 2004), uma efetiva eliminação de patógenos só ocorre a partir de temperaturas de 60°C com tempo de exposição por mais de 20 dias.

Algumas estratégias, tanto para resíduo sólido humano como animal, têm mostrado que os critérios da United States Environmental Protection Agency (U.S.EPA) de 55°C por 72h são suficientes para eliminar os patógenos de plantas (U.S. EPA, 1999). Outros resíduos, como de restos de podas, que geralmente são livres de patógenos humanos, podem ser compostados com temperaturas adequadas apenas para maximizar a decomposição e retirar a umidade (Lopez-Real, 1990). Por outro lado, é interessante lembrar que resíduo vegetal também inclui riscos potenciais da sua reciclagem agrícola, devido à possível presença de microrganismos fitopatogênicos.

### Metais pesados

A denominação metais pesados é dada aos elementos químicos com densidade maior que 6 g cm<sup>-3</sup> (Alloway, 1995). Entretanto, em estudos ambientais, elementos com menor densidade têm sido considerados metais pesados, como o As (5,7 g cm<sup>3</sup>), que é um semi-metal e o Se (4,8 g cm<sup>3</sup>), que é um não metal. Dessa maneira, outras denominações também vêm sendo utilizadas, como elementos traço, em função da baixa concentração desses no ambiente e elementos potencialmente tóxicos, em referência às propriedades prejudiciais que esses apresentam. É interessante lembrar que alguns metais pesados são também essenciais para o desenvolvimento da planta (micronutrientes), como Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, e Zn e para os animais, como Co, Cu, Fe, Se, Mn e Zn.

Em função de seu potencial tóxico, a presença de metais pesados em muitos resíduos industriais e urbanos é de grande preocupação e objeto de estudo e interesse por parte do meio científico, principalmente quando a destinação desse resíduo é a reciclagem agrícola. No resíduo sólido domiciliar, os metais pesados podem ser facilmente encontrados, devido à presença de material industrializado colorido como borrachas, tecidos, cerâmicas, vidros de cor, couros, papéis de propaganda e revistas; de produtos de limpeza e sanitários; de resíduo industrial, além de lâmpadas, baterias e outros materiais eletrônicos (Kiehl, 1998). Portanto, especial atenção deve ser dada aos compostos de lixo urbano, uma vez que a matéria prima utilizada para sua produção é o resíduo domiciliar.

A concentração de metais pesados nos compostos de resíduo urbano é determinada por vários fatores, tais como material de origem, tipo de coleta e eficiência da separação da fração orgânica. Por exemplo, lixo que contenha lâmpadas, pilhas e baterias que não são devidamente separadas da fração orgânica, tende a originar composto com elevados teores de metais pesados. Cravo (1995) determinou o teor de metais pesados em compostos provenientes de seis capitais brasileiras, encontrando teores que variaram entre 1 e 5 mg kg<sup>-1</sup> para Cd, 29 e 68 mg kg<sup>-1</sup> para Cr, 45 e 815 mg kg<sup>-1</sup> para Cu, 11 e 91 mg kg<sup>-1</sup> para Ni, 92 e 599 mg kg<sup>-1</sup> para Pb; 111 e 1007 mg kg<sup>-1</sup> para Zn. Pode-se observar que o limite superior de Pb foi relativamente alto. Marchiori (2000) avaliou o teor de metais pesados em hortaliças produzidas em áreas que receberam composto de lixo e concluiu que o chumbo merece especial atenção, uma vez que foi o único encontrado nas plantas em concentrações maiores do que o permitido para alimentos (Anvisa - Decreto nº 55871, de 26/03/1965, e publicada no DOU em 09/04/1965). Melo et al. (1997) reali-

zaram uma revisão sobre o assunto e citam que a adição de CRSU resultou no aumento de teores disponíveis de metais pesados em diversos ensaios.

De acordo com Rodrigues (1996, 2004), mesmo que composto que apresente metais pesados em sua composição seja adicionado ao solo apenas para o cultivo de culturas que não sejam alimentícias, existe um risco potencial de contaminação do solo e da água, sendo recomendável o monitoramento desses fatores ambientais nas áreas em que houve aplicação continuada desse tipo de composto. Isso devido ao fato de que, ao aplicar metais pesados ao solo, estes podem acumular-se no próprio solo, no ar, nas águas superficiais, nos sedimentos e nas águas subterrâneas (Logan e Chaney, 1984). Além disso, o desenvolvimento das plantas pode ser prejudicado devido a efeitos fitotóxicos (Berton, 1996).

Dessa maneira, a maioria dos países apresenta normas que controlam o teor de metais pesados nos compostos de lixo urbano. Por exemplo, vários países europeus, por meio dos seus Certificados de Qualidade, impõem certos limites para metais pesados encontrados no composto. Segundo Brinton (2001), os valores apresentados para alguns metais nesses certificados são tão baixos que podem eventualmente acarretar um impedimento na compostagem de alguns tipos de resíduos. A legislação em alguns países é tão severa, como no caso da Alemanha, que a aplicação do composto é controlada de acordo com os níveis de metais para cada tipo de solo, exigindo permissão para sua aplicação em cada caso. Na Tabela 3 são apresentados os valores limites para metais pesados em compostos produzidos em alguns países europeus e também no Brasil e Estados Unidos.

**Tabela 3.** Limites de metais pesados ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) para países com normas de certificação para composto.

Países	Elementos								
	As	Cd	Cr	Co	Cu	Pb	Hg	Ni	Zn
Áustria	---	4	150	---	400	500	4	100	1000
Bélgica <sup>1</sup>	---	5	150	10	100	600	5	50	1000
Bélgica <sup>2</sup>	---	5	200	20	500	1000	5	100	1500
Suíça	---	3	150	25	150	150	3	50	500
Dinamarca	25	1,2	---	---	---	120	1,2	45	---
França	---	8	---	---	---	800	8	200	---
Alemanha	---	1,5	100	---	100	150	1,0	50	400
Itália	10	1,5	100	---	300	140	1,5	50	500
Holanda	25	2	200	---	300	200	2	50	900
Holanda	15	1	70	---	90	120	1,7	20	280
Espanha	---	40	750	---	1750	1200	25	400	4000
EUA	---	10	1000	---	500	500	5	100	1000
Brasil*	20	5	200	---	---	150	1	70	---

\* Brasil (2006) - MAPA - Instrução Normativa SDA N°. 27, de 05/06/2006.

<sup>1</sup> Uso na Agricultura; <sup>2</sup> Uso na Horticultura.

Fonte: Brinton (2001) e Silva et al. (2004).

De acordo com a Tabela 3, a Holanda se caracteriza como sendo o país mais severo quanto aos limites impostos para metais pesados, enquanto a Espanha possui valores mais altos para todos os elementos. Embora a Dinamarca não apresente valores para todos os metais, os limites impostos para cádmio, chumbo, mercúrio e níquel são restritivos, aproximando-se dos valores impostos para os compostos produzidos na Holanda.

Os limites permissíveis para metais revelam uma significativa variação considerando os países da Europa. Entretanto, de acordo com Brinton (2001), esses valores divergem dramaticamente com relação aos limites para cádmio e cromo nos EUA.

Quanto ao Brasil, os valores apresentados na Instrução Normativa SDA nº. 27, de 05/06/2006, para metais pesados estão na média apresentada pelos países europeus, entretanto não foram regulamentados Cu e Zn. As diferenças entre os limites de metais pesados estabelecidos para compostos orgânicos em cada país, se devem à utilização de diferentes metodologias para a determinação desses limites. Mais detalhes são apresentados no Capítulo 6.

## MÉTODOS DE ANÁLISES

Um dos grandes problemas para a avaliação da qualidade de fertilizantes orgânicos, inclusive para o composto de lixo urbano, é a falta de padronização dos métodos de análises. Por exemplo, a concentração de um contaminante em uma amostra de CRSU, determinada por um método A de análise, pode estar abaixo da concentração máxima permitida. Se essa mesma amostra for analisada por um método B, é possível que seja determinada uma concentração do mesmo contaminante acima da permitida. Para solucionar o problema, tanto o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) como instituições de pesquisa têm realizado testes com o intuito de auxiliar no estabelecimento de uma metodologia oficial de análise de fertilizantes produzidos no Brasil. Mesmo sem uma metodologia padronizada, discutem-se abaixo os métodos de análise comumente utilizados e alguns métodos novos.

Como já exposto, o teor de inertes no CRSU está diretamente ligado à sua qualidade agrícola e ambiental. Mesmo assim, este atributo não foi contemplado na legislação vigente determinada pelo MAPA. Kiehl (1985) propôs um método para a determinação de inertes, que envolve a separação de materiais como metais, cacos de vidro, pedrinhas, borrachas, entre outros, por “catação” em uma porção de amostra seca a 65°C e pesagem do resíduo separado. A quantidade de inertes é expressa como porcentagem, em peso, da amostra analisada. Embora interessante, a aplicação deste procedimento tem se tornado problemática, pois, em muitos casos, a qualidade do fertilizante baseado em CRSU e o próprio CRSU são dissimulados pela moagem excessiva, alternativa empregada por algumas usinas para mascarar processos inadequados de produção do composto, e que torna a separação inviável devido à fina granulometria da amostra analisada.

Uma opção para solucionar esse problema metodológico é a adoção do método proposto por Trombetta et al. (1992), em que 500 g de amostra de composto de lixo urbano, após serem pesados e peneirados em malha de 1 mm, são oxidados adicionando-se água oxigenada 130 volumes, até que não seja mais notada efervescência da amostra (geralmente 2 horas). Peneira-se, então, o resíduo da oxidação em malha quadrada de 1 x 1 mm e lava-se várias vezes com água. O material retido na peneira é composto por areia grossa, vidro, plástico e outros materiais inertes. Seca-se esse material em estufa a 105°C até a massa ser constante. Distribui-se o material seco em uma superfície lisa e plana e, com o auxílio de pinças, separam-se os fragmentos de vidros e plásticos. Pesam-se, então, as frações de vidro e plástico separadas e calculam-se as porcentagens dessas em relação à massa inicial de amostra.

Sabendo-se que os fertilizantes à base de CRSU são classificados como fertilizantes orgânicos compostos, são requeridas nos Anexos II e III da Instrução Normativa SDA 23 (Brasil, 2005), no mínimo, as análises de umidade (a 65°C), nitrogênio total, carbono orgânico, pH, capacidade de troca de cátions, carbono total e teores totais de fósforo e potássio, para o subsequente cálculo das somas NPK, NP, NK ou PK e das relações C/N (carbono total/nitrogênio total) e CTC/C (carbono orgânico total). Além das garantias mínimas estabelecidas, poderão ser declarados outros macronutrientes primários, macronutrientes secundários e micronutrientes, tais como Ca, Mg, S, B, Cl, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Si e Zn, que neste caso deverão ser também analisados. Como a aplicação de fertilizantes contendo CRSU será feita diretamente no solo, devem ser analisados os teores totais destes elementos, sempre expressos em matéria seca. Em 7 de agosto de 2007 foi publicada a IN SDA 28 (Brasil, 2007b) que consiste em um manual de métodos analíticos oficiais do MAPA, com os procedimentos revisados e que devem ser empregados nas análises de fertilizantes.

Dentre os métodos analíticos oficiais para a análise de fertilizantes orgânicos e organominerais, constam os de preparo da amostra, determinação da granulometria, de umidade (a 65°C) e do pH do fertilizante em solução 0,01 mol L<sup>-1</sup> de CaCl<sub>2</sub> (10 g da amostra “in natura” para 50 mL da solução extratora) que são diferenciados dos fertilizantes minerais. Para nitrogênio, recomenda-se o método com liga de Raney (mistura com 50% Al e 50% Ni) com pequenas variações. O uso da liga de Raney é priorizado, pois esta mistura de catalisadores garante a redução completa do nitrogênio na forma nítrica para a forma amoniacal, que pode ser destilada e determinada por titulação, numa única etapa. Já a destruição da matéria orgânica e liberação de nitrogênio diretamente na forma amoniacal é promovida por ácido a quente, geralmente com ácido sulfúrico. O método Kjeldahl, consagrado em análises agroambientais não é recomendado, pois o uso de selênio como catalisador não garante a recuperação quantitativa de nitrato. Para que isso ocorra é necessário realizar uma etapa prévia à digestão da amostra usando, por exemplo, permanganato de potássio e ferro metálico, para a determinação do nitrogênio total (Abreu, Andrade e Falcão, 2006).

A determinação do carbono orgânico em fertilizantes é realizada por meio do método de oxidação da amostra com dicromato em meio fortemente ácido. O método descrito baseia-se, em linhas gerais, no indicado para a determinação da demanda química de oxigênio em água, Norma NBR 10357 (ABNT, 1988). Porém, nesta adaptação a amostra é submetida a aquecimento em uma

chapa, sem refluxo, por 30 minutos. Esta condição deve ser cuidadosamente controlada para garantir que a maior parte do carbono seja oxidada, dando reprodutibilidade ao método. Embora o uso de pequenas quantidades de amostra e conseqüente menor geração de resíduos contendo cromo, cuja disposição é problemática, seja possível (Rodella e Alcarde, 1994), quantidades maiores de amostras são recomendadas pela legislação. Esta determinação tem sido tratada como *carbono orgânico* e, segundo a legislação em vigor, deve ser utilizada para o cálculo da relação C/N, em substituição ao carbono total empregado nas edições anteriores da legislação do MAPA (Brasil, 1982).

Mesmo não sendo mais empregado na determinação das garantias de fertilizantes, os teores de carbono total podem ser obtidos por cálculo, a partir da determinação da matéria orgânica total no fertilizante. O método, descrito na Portaria de 1982, consiste em calcinar uma massa conhecida de amostra previamente seca em estufa, em mufla a 550°C, e pesar o material restante. A diferença de massa antes e depois da incineração, por unidade de amostra seca, corresponde à matéria orgânica do fertilizante. O teor de carbono total é obtido dividindo-se este valor por 1,8 (Rodella e Alcarde, 1994). A determinação de carbono orgânico total é um parâmetro indireto usado para estimar a matéria orgânica compostável existente no fertilizante, enquanto que na determinação de carbono total podem ocorrer erros devido à inclusão de materiais como borracha e plásticos que estejam presentes no fertilizante à base de CRSU e que são calcinados conjuntamente nas condições da análise. Devido à presença destes interferentes, especialmente em materiais como o CRSU, este método foi abandonado, embora grande parte do mercado ainda utilize esta determinação.

A determinação da capacidade de troca de cátions em fertilizantes orgânicos é um importante indicador do grau de maturação deste tipo de material, pois reflete o número de sítios de troca de cátions do mesmo, ou seja, o número de sítios negativos presentes no material orgânico, que são constituídos por substâncias húmicas que têm como grupos funcionais principalmente grupamentos fenólicos e carboxílicos. Assim, quanto maior o número de sítios de troca, mais humificado encontra-se o material e por tanto, mais maturado. A metodologia proposta pelo MAPA baseia-se nos estudos de Rodella e Alcarde (1994). O procedimento envolve determinação da ocupação dos sítios de troca do material com íons hidrogênio, provenientes de ácido clorídrico, lavagem do excesso de ácido, deslocamento dos íons hidrogênio com solução de acetato de bário a pH 7 e titulação do ácido acético formado. Durante as lavagens emprega-se carvão ativado, pois este retém eficientemente os compostos orgânicos passíveis de solubilização nas exaustivas lavagens efetuadas. O carvão ativado utilizado não apresenta retenção de cátions significativa e, caso manifeste-se algum efeito, o mesmo será corrigido através da “prova em branco”.

Para os demais nutrientes (Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Co, Ni, Mo e Zn), a eliminação da matéria orgânica pode ser feita pela chamada via seca, ou seja, calcinação da amostra em mufla a 550°C e extração dos elementos das cinzas com solução de ácido clorídrico a quente, ou pela digestão nítrico-perclórica, cuja determinação deve ser feita como descrito para os fertilizantes minerais.

A determinação de silício total nos fertilizantes é feita por colorimetria após a extração com ácidos clorídrico e fluorídrico. Este último deve ser usado com extremo cuidado devido à sua

alta corrosividade, além de ser necessário trabalhar com todos os acessórios de material plástico, pois este reagente corrói vidro. A reação química, que produz o complexo amarelo com molibdato, empregada na determinação colorimétrica, é a mesma empregada na determinação de molibdênio (Korndofer, Pereira e Nolla, 2004).

A IN SDA 27 (Brasil, 2006), que limita a presença de contaminantes em fertilizantes, requer ainda a análise dos teores totais dos seguintes contaminantes químicos: As, Cd, Pb, Cr, Hg, Ni e Se; e dos agentes patogênicos: coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos e *Salmonella sp.*, no caso dos fertilizantes orgânicos. Quanto aos contaminantes biológicos não há ainda métodos oficiais do MAPA, embora estudos de validação de métodos empregados internacionalmente já estejam em andamento, em conjunto com instituições de pesquisa e produtores de fertilizantes. Para os contaminantes químicos a Instrução Normativa 24, de 20 de junho de 2007 (Brasil, 2007a) lista os métodos para determinação de metais pesados recomendados pelo MAPA. Segundo essa Instrução Normativa (24) o método a ser empregado para digestão da amostra na análise de contaminantes inorgânicos é o SW-846 3051 da USEPA, que consiste na digestão da amostra com ácido nítrico em frasco fechado, sob alta pressão e temperatura, para evitar a perda de elementos voláteis. Alternativamente, podem ser utilizados também os métodos SW-846 3050B da U.S.EPA, em frasco aberto, ou seu equivalente o FM-902 da FDACS. No procedimento do método 3050B, realizado em frasco aberto, além do ataque por ácido nítrico, a matéria orgânica é oxidada com água oxigenada. A determinação dos elementos nos extratos é feita por geração de vapor frio para Hg ou geração de hidretos para As e Se nos equipamentos de ICP-AES ou AAS. Para o As, o método colorimétrico com dietilditiocarbamato de prata também é aceito. Os demais elementos podem ser determinados por leitura direta dos extratos nos equipamentos de ICP ou AAS, possibilitando ainda a determinação de outros elementos de interesse no mesmo extrato. Esses métodos estão disponíveis em sua última versão nos sítios da U.S.EPA (*SW-846 on-line*), e da FDACS - *Bureau of Feed, Seed & Fertilizer Laboratories, Fertilizer Methods of Analysis*, nos seguintes endereços eletrônicos: <http://epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/main.htm#table> e <http://www.flaes.org/aes-fsflab/methodsanalysis.html>.

Para os contaminantes biológicos, os métodos da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos também têm sido preferidos em relação a outros compêndios consagrados no meio científico, pois o tipo de amostra é mais próximo a fertilizantes baseados em CRSU e lodo de esgoto, do que, por exemplo, àqueles semelhantes às águas natural e residuária (U.S.EPA, 2003). Esse é o caso da norma federal para aplicação de lodo de esgoto, a Resolução No. 375, de 30 de agosto de 2006, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (MMA, 2006).

As análises para verificação da qualidade dos compostos são de extrema importância para o controle do produto que está sendo produzido no Brasil. Entretanto, a falta de periodicidade dessas análises e de fiscalização sobre sua qualidade dificultam o mercado e não asseguram que os compostos produzidos sejam de bom nível. As Instruções Normativas 23 e 27, recentemente publicadas pelo MAPA (detalhes no Capítulo 6), tornam obrigatório o registro de fertilizantes orgânicos, incluindo composto de lixo urbano. Com isso, a produção de CRSU passa a ser fiscalizada,

tornando necessário o controle da qualidade do fertilizante gerado. Assim, espera-se que seja promovida a produção de composto de alta qualidade, melhorando a atual situação das usinas de compostagem e, conseqüentemente, contribuindo para a melhoria do tratamento do resíduo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando-se a qualidade de grande parte do composto de lixo urbano produzido no Brasil atualmente, não é necessário, apenas, o país possuir uma legislação específica, mas sim, investir em gestão pública de resíduo sólido urbano, o que engloba desde a coleta desses até a destinação do composto de lixo urbano. Coleta não seletiva ou separação ineficiente da fração orgânica do resíduo sólido, juntamente com processos de compostagem mal conduzidos têm resultado em CRSU de má qualidade, o que depõe contra o próprio composto, prejudicando seu mercado. A falta de análises periódicas nos compostos e de ações simples de controle do processo de compostagem, principalmente devido à falta de recursos e rigor técnico, limita consideravelmente a qualidade do composto produzido. Ao se destinar recursos para a gestão de resíduo urbano, devem-se considerar, além dos benefícios econômicos, os benefícios socioambientais da prática de compostagem, que justificam amplamente o investimento no setor, visando a melhorias na qualidade do produto e aumentando, assim, sua demanda no mercado.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 10357**: água: determinação da demanda química de oxigênio (DQO). São Paulo: ABNT, 1988.
- ABREU, M.F.; ANDRADE, J.C.; FALCÃO, A.A. Protocolos de análises químicas. In: ANDRADE, J.C.; ABREU, M.F. (Eds.). **Análise química de resíduos sólidos para monitoramento e estudos agroambientais**. Campinas: IAC, 2006. p.121-58.
- ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**. 2.ed. Glasgow: Blackie A&P, 1995.
- BERTON, R.S. Utilização de composto de lixo na agricultura. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Anais... Águas de Lindóia**: SBCS, 1996. 1 cd-rom.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria SNAD n.31, de 8 de junho de 1982. Aprova os métodos analíticos, em anexo, que passam a constituir métodos padrões, oficiais, para análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes sujeitos a inspeção e fiscalização previstas na legislação. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 14 jun. 1982. Seção 1. p.10763.

- BRASIL. Instrução Normativa n.23, de 31 de agosto de 2005. Aprova as definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n.173, p.12, 8 set. 2005. Seção 1.
- BRASIL. Instrução Normativa n.27, de 05 de junho de 2006. Aprova os limites máximos de agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas admitidos nos fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n.110, p.15, 9 jun. 2006. Seção 1.
- \_\_\_\_\_. Instrução Normativa n.24, de 20 de junho de 2007. Reconhece métodos analíticos para a determinação de metais pesados tóxicos em fertilizantes, corretivos agrícolas, condicionadores de solo e substratos para plantas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n.118, p.23, 21 jun. 2007a. Seção 1.
- \_\_\_\_\_. Instrução Normativa n.28, de 27 de julho de 2007. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos e organominerais e corretivos agrícolas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, p.11, 31 jul. 2007. Seção 1.
- BRINTON, W.F. **Compost quality standards & guidelines (final report)**. New York: Association of Recyclers/Woods End Research Laboratory, 2000.
- \_\_\_\_\_. An international look at compost standards. **Biocycle**, v.42, n.4, p.74-6, 2001.
- CHANEY, R.L.; RYAN, J.A. Heavy metals and toxic organic pollutants in MSW - composts: research, results on phytoavailability, bioavailability. In: HOITTINK, H.A. (Ed.). **Science and engineering of composting: design, environmental, microbiological and utilization aspects**. Fate Wooster: Ohio State University, 1993. p.451-506.
- CRAVO, M.S. **Composto de lixo urbano como fonte de nutrientes e metais pesados para alface**. 1995. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.
- DE BERTOLDI, M.; VALLINI, G.; PERA, A. The biology of composting: a review. **Waste Management & Research**, v.1, n.8, p.157-76, 1983.
- DICK, W.A.; MCCOY, E.L. Enhancing soil fertility by addition of compost. In: HOITTINK, H.A. (Ed.). **Science and engineering of composting: design, environmental, microbiological and utilization aspects**. Fate Wooster: Ohio State University, 1993. p.622-44.
- EPSTEIN, E. et al. Trace elements in municipal solid waste compost. **Biomass and Bioenergy**, v.3, n.3/4, p.227-38, 1992.
- KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agrônômica Ceres, 1985.
- \_\_\_\_\_. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: Degaspari, 1998.
- \_\_\_\_\_. Qualidade de composto orgânico e comercialização. In: SIMPÓSIO SOBRE COMPOSTAGEM, 1., 2004, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Unesp, 2004. 1 cd-rom.
- KORNDOFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: UFU, Instituto de Ciências Agrárias, 2004.
- LOGAN, T.J.; CHANEY, R.L. Metals. In: PAGE, A.L. et al. (Eds.). **Utilization of municipal wastewater and sludge on land**. Riverside: University of California, 1984. p.235-326.
- LOPEZ-REAL, J.M. Agroindustrial waste composting and its agricultural significance. **Proceedings of the Fertilizer Society**, v.293, p.1-26, 1990.
- \_\_\_\_\_. **Composting through the ages. Down to earth composting**. Dundee, 1994. (folder)

- MARCHIORI, A.C.C. **Avaliação de agroecossistemas do cinturão verde da grande São Paulo que receberam aplicação de composto de resíduos sólidos urbanos por longos períodos.** 2000. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- MELO, W.J. et al. **Uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. 1 cd-rom.
- MERILLOT, J.M. **Perspectives and state of the art of composting in France.** In: BERTOLDI, M. et al. (Orgs.). **Science of composting: part 2.** England: Chapman & Hall, 1996. p.684-90.
- MMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n.375.** Estabelece critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário. Brasília (DF), 30 ago. 2006.
- OBENG, L.A.; WRIGHT, F.W. **The co-composting of domestic solid and human wastes.** Washington, DC: World Bank, 1987. (World Bank technical paper, 57).
- PARR, J.F.; PAPENDICK, R.I. **Strategies for improving soil productivity in developing countries with organic wastes.** In: INTERNACIONAL CONFERENCE OF THE INTERNACIONAL FEDERATION OF ORGANIC AGRICULTURE MOVIMENTS, 4., 1982, Cambridge. **Anais...** Cambridge, 1982. p.131-43.
- PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem.** Belo Horizonte: Unicef, 1996.
- \_\_\_\_\_. **Controlled composting in developing countries.** *BioCycle*, v.42, n.2, p.84-86, 2001.
- \_\_\_\_\_. **Compostagem: fundamentos e métodos.** In: SIMPÓSIO SOBRE COMPOSTAGEM, 1., 2004, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Unesp, 2004. p.1-17.
- RODELLA, A.A.; ALCARDE, J.C. **Evaluation of organic materials used as fertilizers.** *Scientia Agrícola*, Piracicaba (SP), v.51, n.3, p.556-62, 1994.
- RODRIGUES, M.S. **Composted societal organic wastes for sustainable wheat (*Triticum aestivum*) production.** 1996. Tese (Doctor of Philosophy) - Wye College, University of London, London, 1996.
- \_\_\_\_\_. **Resíduos orgânicos como matéria-prima para compostagem.** In: SIMPÓSIO SOBRE COMPOSTAGEM, 1., 2004, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Unesp, 2004. p.1-27.
- SAVAGE, G.M. **The importance of waste characteristics and processing in the production of quality compost.** In: BERTOLDI, M. et al. (Orgs.). **Science of composting: part 2.** England: Chapman & Hall, 1996. p.784-91.
- SENESI, N. **Composted materials as organic fertilizers.** *The Science of the Total Environmental*, v.81/82, p.521-42, 1989.
- SILVA, F.C. et al. **Uso de compostos orgânicos: controle ambiental e informatização.** In: SIMPÓSIO SOBRE COMPOSTAGEM, 1., 2004, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Unesp, 2004. p.1-27.
- TROMBETTA, A. et al. **Metodi di analisi dei compost: determinazioni chimiche, fisiche, biologiche e microbiologiche.** Torino: Assessorato per l'Ambiente, Regione Piemonte, 1992.
- U.S. EPA. **Environmental regulations and technology: control of pathogens and vector attraction in sewage sludge (including domestic septage) under 40 CFR part 503.** Washington, DC, 1999. EPA/625/R-92-0 13. Disponível em: <<http://www.p2pays.org/ref/09/08691.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2006 .
- WITTER, E.; LOPEZ-REAL, J.M. **The potential of sewage sludge and composting in a nitrogen**

recycling strategy for agriculture. **Biological Agriculture and Horticulture**, Berkhamsted, v.5, p.1-23, 1987.

WOODBURY, P.B. Trace elements in municipal solid waste composts: a review of potential detrimental effects on plants, soil biota, and water quality. **Biomass and Bioenergy**, v.3, n.3/4, p.239-59, 1992.

ZUCCONI, F.; BERTOLDI, M. Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. In: DE BERTOLDI, M. et al. (Orgs.). **Science of composting: part 2**. England: Chapman & Hall, 1996. p.30-60.