

USINAS DE COMPOSTAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO: QUALIDADE DOS COMPOSTOS E PROCESSOS DE PRODUÇÃO

COMPOSTING PLANTS OF SÃO PAULO STATE: COMPOST QUALITY AND PRODUCTION PROCESSES

LUCIANA PRANZETTI BARREIRA

Bióloga. Doutora em Saúde Pública, Área de Concentração Saúde Ambiental pela Faculdade de Saúde Pública /USP

ARLINDO PHILIPPI JUNIOR

Engenheiro Civil e Sanitarista pela USP. Doutor em Saúde Pública e Livre Docente em Política e Gestão Ambiental pela USP. Professor do Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da USP

MARIO SERGIO RODRIGUES

Engenheiro Agrônomo. Doutor em Agricultura pela University of London. Analista de Recursos Ambientais da Fundação Florestal/SMASP

Recebido: 02/05/06 Aceito: 19/10/06

RESUMO

O artigo aborda a qualidade do composto produzido nas usinas de compostagem do estado de São Paulo/Brasil, tanto física quanto quimicamente. Foram coletadas amostras em 14 usinas operantes em dois períodos distintos (Inverno/2003 e Verão/2004). Como as usinas estudadas apresentavam estruturas distintas, foi necessário o agrupamento com o intuito de comparação entre elas. Os grupos foram formados por usinas com processo Dano, usinas com peneiras rotatórias, usinas com trituradores ou moinhos e usinas sem tratamento após a esteira de triagem. Como resultados foram apontadas as interferências das estruturas das usinas no material encaminhado ao pátio, os baixos valores para nutrientes e metais pesados e a presença de inertes no produto final.

PALAVRAS-CHAVES: Qualidade de composto, usinas de compostagem, análises físicas e químicas, padrões de qualidade.

ABSTRACT

This paper discusses the quality of MSW compost produced in the composting plants in operation in Sao Paulo State/Brazil, in regard to their physical and chemical aspects. Samples were collected twice (Winter/2003 and Summer/2004) in fourteen plants. The evaluated plants had different structure, therefore it was necessary a previous separation of the data in similar groups, so that they would make statistical sense. The groups were: Dano plants; plants with rounding sieves; plants with grinders or mills; and plants without post-treatment of the composted material. It was possible to observe that there is a direct relation between the structure of the composting plants and the quality of the compost, the nutrients rate, the levels of heavy metals and the percentage of contaminants.

KEYWORDS: Compost quality, composting plants, physical and chemical aspects, compost standard.

INTRODUÇÃO

Os resíduos orgânicos urbanos produzidos pela população brasileira – em torno de 50% em peso – quando dispostos inadequadamente, trazem prejuízos consideráveis ao solo, ao ar e a água e podem abrigar ou serem criadouros de vetores de importância epidemiológica. O cenário atual, no país, ainda é alarmante, pois os chamados lixões ou aterros controlados ainda são a maneira mais utilizada e menos custosa de dispor dos resíduos (IBGE, 2002), embora condenáveis sob o ponto de vista ambiental e de saúde pública.

Em contrapartida, esses resíduos orgânicos são passíveis de reciclagem

por meio do processo de compostagem, um método barato quando comparado a outras formas de tratamento e eficaz na diminuição da quantidade de material a ser aterrado. Esse processo tem como definição uma decomposição controlada, exotérmica e bio-oxidativa de materiais de origem orgânica por microorganismos autóctones, num ambiente úmido, aquecido e aeróbio, com produção de dióxido de carbono, água, minerais e uma matéria orgânica estabilizada, definida como composto (Hutchinson e Richards, 1922; Gray et al, 1971; De Bertoldi et al, 1983; Zucconi e De Bertoldi 1986; Senesi, 1989; Lopez-Real, 1990; Parr e Hornick, 1992; Díaz et al, 1993; Kiehl, 1998).

Na compostagem existem muitos fatores que interferem ou influenciam a decomposição, a maturação e a qualidade do produto final podendo-se citar a umidade, a temperatura, a relação C/N e os resíduos orgânicos utilizados. Muitos desses fatores podem ser controlados durante o processo de decomposição mas, de acordo com diversos autores, a qualidade do produto final é totalmente dependente da qualidade da matéria-prima de origem (Lopez-Real, 1994; Savage, 1996; Merilliot, 1996; Rodrigues, 1996). Rodrigues (1996) complementa que resíduos urbanos altamente contaminados produzirão um composto com elevados teores de metais pesados não sendo verificada

essa afirmativa quando os resíduos são provenientes de coleta seletiva. Estudos realizados por Grossi (1993) indicaram valores elevados de metais pesados nos compostos produzidos nas usinas de compostagem do Brasil justamente por trabalharem com resíduos sólidos urbanos de origem misturada.

Essa consideração é aceita pela maioria de pesquisadores que discutem que a coleta e o processamento dos resíduos de forma separada de acordo com suas diferentes frações – orgânica, metais, vidro, papéis, alumínio, tecidos, madeira – é uma das melhores maneiras (se não a única) de obter um produto final de boa qualidade, que pode ser utilizado sem maiores preocupações e que possui potencial atrativo aos agricultores (Krauss et al, 1986; Schalch e Rezende, 1991; Richard e Woodbury, 1992; Lopez-Real, 1994).

Entretanto, é importante ressaltar que, no Brasil, a coleta separada dos materiais ainda é pouco executada pelas inúmeras dificuldades de ordem econômica e de logística e os resíduos orgânicos urbanos, que servem como matéria-prima para o processo, chegam às usinas de forma misturada, diminuindo a qualidade do composto. Além disso, a realização incorreta do processo de compostagem no pátio, com falta de revolvimentos constantes, excesso de água nas leiras e a estabilização incompleta da matéria orgânica são fatores que contribuem para que o produto final seja de baixa qualidade comprometendo o seu uso na agricultura e diminuindo seu poder de venda.

O composto de resíduos sólidos orgânicos para ser utilizado de maneira segura e eficiente deve ser corretamente estabilizado. Isto significa que a matéria orgânica original deve ser convertida para uma forma que seja mais resistente à degradação, contenha quantidades mínimas de componentes tóxicos e contaminantes (inertes e metais pesados) e seja livre de patógenos de plantas e animais (Parr e Papendick, 1982; Zucconi e De Bertoldi, 1986; Senesi, 1989; Lopez-Real, 1990; Dick e McCoy, 1993). Além disso, deve satisfazer tanto as agências regulatórias quanto as especificações de mercado (Savage, 1996). Entretanto, no Brasil, a produção ocorre sem controle e sem monitoramento e os compostos, além da possibilidade de conterem metais pesados e inertes por causa da matéria-prima misturada, perdem nutrientes

durante o processo e apresentam baixos valores de NPK e matéria orgânica, servindo, apenas, como condicionadores de solo.

A utilização do processo de compostagem por meio das usinas para tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos é relativamente nova no Brasil. As primeiras usinas instaladas no país datam da década de 70 (Vasconcelos, 2003), e são acompanhadas por inúmeros problemas de processos e qualidade dos compostos que contribuem para o seu atual descrédito (Pereira Neto, 1996; Lelis e Pereira Neto, 2001).

A maioria das usinas no país apresentam o processo de compostagem natural, no qual a matéria orgânica, após separação dos materiais inservíveis para a compostagem, é disposta em montes nos pátios e recebem revolvimentos periódicos para melhorar a aeração. No entanto, existem alguns casos que utilizam os processos acelerados com injeção de ar nas leiras e biodigestores.

No estado de São Paulo, local desse estudo, as usinas apresentaram na sua maioria os chamados sistemas simplificados, com pátio de recepção de resíduos, esteira de triagem, presença ou não de equipamentos após a esteira (moinho ou triturador) e pátio de compostagem natural, com exceção de São Paulo e São José dos Campos que apresentaram biodigestores como etapa principal do tratamento dos resíduos.

Para tanto, este artigo discute a qualidade do composto sob o ponto de vista físico (granulometria e conteúdo de inertes) e químico (nutrientes, maturação e metais pesados) levando-se em conta as diferentes estruturas das usinas (biodigestores, moinhos, trituradores e sem presença de equipamentos após a esteira), analisando a influência desses maquinários no produto final.

METODOLOGIA

Para a consecução dos objetivos deste trabalho foi necessário, primeiramente, levantar as usinas operantes no Estado de São Paulo, juntamente com os diferentes processos de produção. A etapa seguinte foi dividida nas coletas de amostras (material-base e composto) e análises físicas e químicas dos compostos. Para tanto foram utilizadas as seguintes metodologias:

Levantamento e seleção das usinas: partiu-se das informações publicadas no

Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares - IERSD (CETESB, 2003) totalizando 24 usinas. Após o contato com os gestores foram identificadas somente 14 que realizavam o processo de compostagem. As demais apenas efetuavam a triagem dos materiais recicláveis.

Coleta de amostras: neste estudo foram consideradas 2 tipos de amostras: do material pré-tratado (material-base) enviado ao pátio de compostagem e do composto resultante do processo. A coleta de amostras foi realizada em dois períodos distintos: inverno (ano 2003) e verão (ano 2004). A amostra de material-base foi retirada na saída do equipamento localizado após a esteira de triagem. Após o quarteamento (ABNT 10007/2004), foi separada em duas frações distintas: material servível para a compostagem e impurezas. Os compostos foram coletados em vários pontos diferentes nas pilhas, tanto em altura quanto em profundidade. No local retirou-se uma amostra de 5 kg, a qual foi acondicionada em sacos plásticos lacrados imediatamente após a coleta e encaminhada ao laboratório. No laboratório, após um novo quarteamento, foi retirada uma sub-amostra com 0,5 kg, mantida a temperaturas abaixo de 4°C para posterior encaminhamento para as análises químicas. O restante do material, cerca de 4,5 kg foi enviado para as análises físicas.

Análises físicas e químicas: as análises físicas compreenderam os testes de granulometria (Embrapa, 1979) e conteúdo total de plástico, vidro e outros contaminantes (Trombetta et al, 1992). As análises químicas compreenderam os testes de maturação, conteúdo de nutrientes e metais pesados. Para as determinações desses parâmetros foram utilizados os métodos descritos por Allison (1965), Claessen (1997), Kiehl (1985), Jackson (1967), Silva (1999), Solid Sample Module (2001), Van Raij et al (1987).

Análises estatísticas: os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância e posterior separação das médias pela aplicação de Teste de Tukey a 5% ($p < 0,05$) com o intuito de comparar as usinas e processos entre si. Para esse fim, foi utilizado o software MINITAB 13.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Usinas de compostagem estudadas

Dentre os 645 municípios existentes no estado de São Paulo, apenas 14 utilizavam o processo de compostagem como tratamento dos resíduos sólidos urbanos durante os anos de 2003 e 2004, período em que foi realizado o estudo. O número de habitantes, a quantidade de resíduos gerada e processada nas usinas e seus respectivos fabricantes são apresentados na Tabela 1.

Os municípios estudados eram, na sua maioria, de pequeno (até 20.000 hab.) e médio (de 20 a 100 mil hab.) portes, com exceção de São Paulo, São José dos Campos e São José do Rio Preto. Embora com fabricantes distintos, as usinas apresentavam estruturas semelhantes quanto ao pré-tratamento dos resíduos que possibilitou a formação de grupos para posterior comparação:

Grupo A (Usinas do processo Dano com bioestabilizadores): São Paulo e São José dos Campos

Grupo B (Usinas com peneiras rotatórias): Adamantina, Garça, Itatinga, Martinópolis, Parapuã, Presidente Bernardes, São José do Rio Preto e Uru

Grupo C (Usinas com trituradores ou moinhos): Assis, Bocaina e Tarumã

Grupo D (Usina que não possui tratamento da matéria orgânica após a esteira de triagem): Osvaldo Cruz

É importante ressaltar que as usinas do município de São Paulo e São José dos Campos (ambas do processo Dano) tiveram suas atividades paralisadas, respectivamente, em setembro de 2004 e março de 2006, e de acordo com informações obtidas por meio dos técnicos da CETESB a usina do município de Lençóis Paulista, que na época do estudo realizava apenas a triagem dos materiais, iniciou a produção de composto em larga escala.

Caracterização do material-base

O material-base é caracterizado nesse estudo como o material que, após a triagem realizada pelos operadores das usinas e o pré-tratamento por meio de peneiras rotatórias, moinhos e/ou trituradores, era encaminhado para o

pátio para decomposição. Para que o material-base possa ser transformado em composto e utilizado no solo é necessário que ele contenha apenas restos de alimentos, de jardinagem e de varrição. Assim, todo e qualquer material que não seja adequado para a produção do composto, quer esse material seja orgânico ou não, como tampas de refrigerantes (metálicas ou plásticas), garrafas PET, cliques, pilhas, absorventes higiênicos etc, foi considerado como impureza, incluindo, nesse caso papéis e papelão embora sejam materiais de fácil decomposição. Vale ressaltar que o termo “impureza” teve um significado particular e específico neste trabalho.

O estudo do material-base demonstra a eficiência da usina como um todo, não só pelos funcionários na triagem, mas, principalmente, pelas estruturas que compõem cada usina. Na tabela 2 são apresentados os valores para a caracterização do material-base nos diferentes grupos.

O material-base, por meio da caracterização, foi dividido em matéria orgânica de fácil decomposição (restos de alimentos em geral e resíduos de jardinagem) e impurezas. Maior quantidade de matéria orgânica presente no material-base pode ser um indicativo de qualidade do composto após o processo de compostagem. De acordo com os dados apresentados os maiores valores para matéria orgânica foram encontrados em ordem decrescente nos seguintes Grupos: A, B, D, C. Isso significa que quanto menor a quantidade de matéria orgânica maior é o de impurezas e pode-se considerar, nesse caso, que houve uma relação direta entre essa quantidade e a estrutura que compunha cada usina após a esteira de triagem.

Os valores para matéria orgânica no Grupo D, representado pelo município de Osvaldo Cruz que não possuía nenhum equipamento após a esteira de triagem, foram maiores que as do Grupo C, que utilizava trituradores e

Tabela 1 - Características das usinas estudadas

Municípios	Características			
	Número de habitantes	Produção de resíduos (t)	Quantidade processada (t)	Fabricantes
Adamantina	33.000	20	20	Gavazzi
Assis	90.000	70	70	Iguacumec
Bocaina	10.000	7	7	Stollmeier
Garça	43.000	25	25	Gavazzi
Itatinga	16.000	9,5	9,5	Lixok
Martinópolis	22.000	15	15	Maqbrit
Osvaldo Cruz	30.000	25	25	Stollmeier
Parapuã	48.200 ¹	23	23	Gavazzi
Presidente Bernardes	15.000	6	6	Stollmeier
S.J. dos Campos	539.000	500	160	Dano
S.J. do Rio Preto	360.000	380	380	Gavazzi
São Paulo	10.000.000	14.000	800	Dano
Tarumã	11.000	5,5	5,5	Maqbrit
Uru	5.000 ²	2,5	2,5	Gavazzi

¹ Parapuã (11.000 hab.) faz consórcio com mais três municípios, a saber: Rinópolis (10.000 hab.), Bastos (20.500 hab.), Iacri (6700 hab.)

² Uru (1.500 hab.) faz consórcio com o município de Pongai (3500 hab.)

Tabela 2 - Comparação entre os grupos de usinas com relação ao material-base

Grupos	Matéria orgânica (%)	Impurezas (%)	SEM
A	93,65 (A)	6,35 (A)	0,46
B	89,67 (A)	10,32 (A)	1,01
C	80,43 (B)	19,56 (B)	4,46
D	83,64 (AB)	16,35 (AB)	1,11

Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente para Teste de Tukey (p < 0,05)

moinhos. O principal fator que justifica esse resultado é que, sem a trituração, a triagem realizada pelos operadores, que têm dupla função (retirada de materiais recicláveis e de rejeitos), foi mais eficiente do que o processo de picagem ou moagem dos resíduos no pré-tratamento. Pode-se considerar também que, no processo de pós-tratamento, as impurezas são facilmente removíveis, ao passo que, com a trituração, a retirada de inertes fica comprometida e mais difícil.

É importante ressaltar que o tamanho das partículas influencia o processo de compostagem nas leiras e a utilização de equipamentos como moinhos e trituradores se faz necessário quando as partículas são muito espessas.

QUALIDADE FÍSICA DOS COMPOSTOS

Granulometria

A análise granulométrica tem por finalidade determinar a natureza física do composto e verificar sua correspondência quanto às exigências da legislação. A granulometria é expressa porcentualmente segundo determinadas classes de tamanhos e indica a fineza do material.

Na análise individual das usinas e de acordo com a Legislação Brasileira vigente na época do estudo, nenhum composto estudado pôde ser classificado como pó, pois as frações retidas na malha de 2 mm e menor que 2 mm das amostras não atingiram a exigência imposta (95% em peneira 2 mm com tolerância de até 90%). Quanto à classificação de farelado, apenas os compostos de Adamantina, Bocaina, Garça, Martinópolis, Osvaldo Cruz, Presidente Bernardes, São José do Rio Preto e Tarumã tiveram seus valores enquadrados na tolerância de 85% em peneira de 4,8 mm.

Os demais compostos se enquadraram na Legislação Brasileira entre as

especificações de farelado e farelado grosso. A diminuição dos grânulos durante a compostagem ocorre pelo efeito dos revolvimentos na leiras e pela utilização de trituradores e moinhos, que tem pontos positivos e limitações quanto ao seu uso. A diminuição do tamanho de partículas do material compostado, no entanto, é evidenciado pela utilização de peneiras no processo de pós-tratamento. Na análise por grupos de usinas são apresentados os seguintes valores na Tabela 3.

O Grupo A obteve o maior índice para a o tamanho de peneira 22,2 mm, estando os compostos dos demais grupos com quantidade inexpressiva nessa malha. Os compostos que apresentaram granulometria mais fina foram aqueles pertencentes ao Grupo C, representado justamente pelas usinas que utilizavam o moinho ou triturador que diminuem as partículas a serem compostadas.

Desde Dezembro de 2004, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento por meio da Instrução Normativa nº 15/2004, modificou a norma para granulometria no que diz respeito o tamanho das malhas para a análise. Dependendo da quantidade retida em cada peneira, o composto divide-se, ainda, em granulado, pó, farelado e farelado grosso. Caso o composto não corresponda a essas indicações, deverá constar no rótulo ou etiqueta de identificação a expressão: "PRODUTO SEM ESPECIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA" (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2004).

Conteúdo total de inertes

A análise de conteúdo de inertes é importante para o estudo de qualidade do composto, pois os resíduos que servem de matéria-prima para sua composição não sofrem nenhum tipo de segregação na fonte e, muitas vezes, as impurezas não são retiradas durante a triagem pelos operadores e pelos maquinários subsequentes (peneira ou triturador).

Sob o ponto de vista da qualidade para os agricultores, deve ser levado em conta o conteúdo de inertes, pois esse material é visualmente identificável, já que apresenta juntamente com o composto, cacos de vidro, plásticos e outros materiais. Portanto, é desejável que a quantidade de inertes seja a menor possível porque prejudica o valor comercial do composto.

Nesse estudo, o contaminante mais encontrado foi o vidro, principalmente por ser um material de difícil remoção. Uma alternativa mais viável com o intuito de diminuir sua quantidade no produto final seria uma triagem mais minuciosa, retirando-se os cacos e recipientes de vidro na esteira de triagem, não permitindo que esse inerte seja encaminhado para as peneiras ou trituradores.

Foram encontrados altos índices de conteúdo de inertes nos municípios de Assis, Bocaina e Tarumã que fazem parte do Grupo C que utilizava trituradores e moinhos. Portanto, os materiais que não são separados pelos operadores, acabavam por serem encaminhados a esses equipamentos e eram triturados juntamente com a matéria orgânica e, mesmo o composto sofrendo o processo de beneficiamento com as peneiras rotatórias, os inertes acabaram presentes no produto final. Os valores são apresentados na Tabela 4.

O efeito desses equipamentos na quantidade de inertes nos compostos é tão relevante que mesmo o Grupo D, formado por Osvaldo Cruz, que não utilizava nenhum equipamento após a esteira de triagem, obteve valores mais baixos do que os apresentados pelo Grupo C, que utilizava moinhos e trituradores.

Os valores mais baixos para conteúdo de inertes, portanto, estão para os Grupos A que utilizavam o processo Dano com peneiras e separadores balísticos e para o Grupo B, com peneiras rotatórias no pré-tratamento da matéria

Tabela 3 - Distribuição granulométrica por grupos de usinas

Grupos	Malhas das Peneiras (em mm)						
	22,2	19,1	12,7	7,93	4,8	2	<2,00
A	10,11(A)	1,81(A)	9,37(A)	17,03(A)	7,94(A)	26,59(A)	27,85(A)
B	1,04(B)	1,57(A)	4,06(B)	11,38(A)	12,72(A)	21,89(A)	45,55(B)
C	0,92(B)	0,43(A)	2,32(B)	11,58(A)	11,52(A)	23,47(A)	50,48(B)
D	1,21(B)	0,97(A)	3,45(B)	21,48(A)	7,33(A)	25,01(A)	40,81(B)

Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente para Teste de Tukey (p < 0,05)

orgânica. Teoricamente, portanto, esses materiais teriam maior valor de mercado.

O Brasil não apresenta legislação para conteúdo de inertes e em alguns países europeus as normas são bem rígidas para os valores encontrados nos compostos: Itália (quantidade de inertes menor que 3% do total), Espanha (livre de inertes), Reino Unido (menos de 0,5% de plástico) (Brinton, 2001). Portanto, os compostos estudados teriam dificuldade de serem comercializados nesses países.

ANÁLISE QUÍMICA DOS COMPOSTOS

Os valores determinados pelas análises químicas nos compostos serão discutidos individualmente por usinas e serão divididos em maturação, nutrientes e metais pesados.

Maturação

A maturação do composto se dá pelos resultados do índice de pH, relação C/N e CTC, que indicam se a decomposição da matéria orgânica atingiu níveis desejáveis para que o composto possua certos padrões de qualidade. Embora não represente o nível de maturação, o teor de umidade foi incorporado nessa análise assim como a quantidade de matéria orgânica (Tabela 5).

Índice de pH: considerando os padrões da Legislação Brasileira (mínimo 6,0 com tolerância até 5,4) o pré-composto B de São Paulo foi o único que esteve abaixo da norma estabelecida. Isto demonstra a imaturidade do composto, resultado já esperado, pois a matéria-prima não sofria o processo total de decomposição pela falta de espaço na usina. Os demais índices estavam no intervalo de 7,24 a 7,98. De acordo com Kiehl (1985), os valores abaixo de 6,0 são indesejáveis, entre 6,0 e 7,5 bons e acima de 7,5 ótimos. Portanto, genericamente, conclui-se que os valores apresentados pelos compostos das usinas de compostagem do estado de São Paulo estavam com nível bom quanto ao pH.

CTC: a análise de CTC é considerada um excelente e confiável parâmetro de acompanhamento da maturação do composto, pois a medida que se forma o húmus há um aumento na capacidade de troca catiônica (Kiehl, 1998). No

Tabela 4 - Conteúdo total de inertes comparando os grupos de usinas

Grupos	Conteúdo de inertes				
	Plástico	Vidro	Metal	Outros	Total
A	1,60 (A)	4,78 (A)	0,52 (A)	0,44 (A)	7,33 (A)
B	1,17 (A)	5,28 (A)	0,13 (A)	0,47 (A)	7,06 (A)
C	3,06 (A)	17,21 (B)	0,13 (A)	1,07 (AB)	21,47 (B)
D	1,03 (A)	6,65 (A)	0,00 (A)	2,36 (B)	10,04 (A)

Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente para Teste de Tukey ($p < 0,05$)

Tabela 5 - Médias para as análises químicas para a maturação dos compostos das usinas de compostagem do estado de São Paulo (Período inverno/2003 e verão/2004)

Municípios	Maturação do composto				
	pH	CTC	C/N	MO (%)	Umidade
Adamantina	7,64	27,50	23,13	20,82	28,07
Assis	7,34	31,25	18,12	38,21	39,66
Bocaina	7,24	29,26	15,40	28,98	32,96
Garça	7,89	29,48	18,41	19,34	31,64
Itatinga	7,98	32,12	18,93	24,34	38,70
Martinópolis	7,74	25,96	14,15	15,85	25,47
Oswaldo Cruz	7,53	25,85	18,49	13,86	26,18
Parapuã	8,17	30,37	18,52	19,60	22,92
Presidente Bernardes	7,79	28,71	14,21	18,39	30,85
S.J. dos Campos	7,33	25,41	18,32	25,82	27,23
S.J. do Rio Preto	8,05	31,68	29,49	32,38	31,17
São Paulo pré-composto A*	6,54	32,67	39,66	62,05	45,47
São Paulo pré-composto B*	5,05	23,87	40,72	67,70	62,23
Tarumã	7,95	31,57	14,61	21,82	18,02
Uru	7,92	25,19	18,26	11,19	22,22
Médias	7,46	28,73	21,36	26,02	32,18
SEM	0,17	0,63	1,63	3,09	2,22

* as diferenças entre os pré-compostos A e B: o pré-composto A recebia um peneiramento a mais e, por ser estocado em local diferente, continuava o processo de decomposição iniciado no biodigestor.

entanto, a Legislação Brasileira não exige sua determinação. Os maiores valores para CTC foram encontrados nos compostos das usinas de Assis, Itatinga, Parapuã, São José do Rio Preto, pré-composto A de São Paulo e Tarumã, enquanto que os mais baixos valores foram apresentados pelos compostos de Martinópolis, Oswaldo Cruz, São José dos Campos, pré-composto B de São Paulo e Uru.

Relação C/N: de acordo com os dados e considerando as normas da Legislação Brasileira, tem-se que os compostos de Assis, Bocaina, Garça, Itatinga, Martinópolis, Oswaldo Cruz, Parapuã, Presidente Bernardes, São José dos Campos, Tarumã e Uru estão dentro dos limites exigidos. Levando-se em conta a proposta de Kiehl (1998), apenas Bocaina, Martinópolis, Presidente Bernardes e Tarumã apresentaram valores que indicam a completa estabili-

zação da matéria orgânica. Quanto aos valores mais altos, os pré-compostos de São Paulo estavam muito acima do permitido pela Legislação Brasileira (máximo de 18/1 com tolerância de 21/1).

Matéria orgânica: Alto conteúdo de matéria orgânica nos compostos não significa que esses materiais sejam de boa qualidade. Exemplos como este, podem ser citados os pré-compostos A e B de São Paulo, que apresentaram altos índices de matéria orgânica, mas nos parâmetros de maturação não atingiram os valores necessários. Em contrapartida, foram encontrados valores muito baixos para seu conteúdo, como por exemplo, nos compostos de Uru e Oswaldo Cruz. Embora tenham apresentado valores satisfatórios para a relação C/N, demonstrando total maturação, esses baixos índices depõem contra os compostos. De acordo com a Legislação

Brasileira (mínimo 40% de MO com tolerância de 4% a menos), somente os pré-compostos A e B e o composto produzido em Assis estão dentro dos limites impostos. Os demais tiveram valores muito abaixo dos exigidos, exceto São José do Rio Preto que apresentou o índice de 32,38%, mas com relação C/N insatisfatória. Do ponto de vista mercadológico, os resultados de baixo conteúdo de matéria orgânica nos compostos comprometem seu valor de mercado e podem indicar, também, a presença de contaminantes.

Umidade: é um parâmetro importante sob o ponto de vista do agricultor. A Legislação Brasileira delimita o valor de 40% com tolerância até 44%. De acordo com os limites impostos somente os pré-compostos A e B de São Paulo apresentaram valores acima dos estipulados devido a falta de decomposição da matéria orgânica e da umidade inerente aos resíduos. Todos os demais estavam dentro das especificações.

Nutrientes

Os valores para os compostos estudados são apresentados na Tabela 7. Os maiores valores para o conteúdo de carbono total, carbono orgânico e nitrogênio foram encontrados nas amostras de pré-compostos A e B de São Paulo. De acordo com os parâmetros sobre a

maturação do composto, nota-se que esses altos valores foram resultados da decomposição incompleta do material, que resulta em uma Relação C/N elevada. Os compostos de Osvaldo Cruz, Martinópolis e Uru apresentaram os menores índices para estes parâmetros. No entanto, a Relação C/N destes compostos estavam extremamente satisfatórios, demonstrando a maturação do material.

Quanto ao nitrogênio, de acordo com a Legislação Brasileira, apenas os compostos produzidos nas usinas de Bocaina e São Paulo (Vila Leopoldina) estavam dentro dos parâmetros exigidos (mínimo de 1,0% com tolerância de até 0,9%). No caso dos pré-compostos, explica-se que se esses materiais completassem sua maturação, haveria uma queda no valor de nitrogênio, pois essa perda ocorreria por lixiviação e/ou amonificação. Portanto, conclui-se que os valores apresentados foram devido à maturação incompleta dos materiais. Quanto aos demais compostos, os valores de nitrogênio estão bem abaixo do exigido pela Legislação Brasileira.

Quanto ao fósforo, os maiores teores foram encontrados nos compostos de Assis, Bocaina, Parapuã, Presidente Bernardes, São José dos Campos, São José do Rio Preto e Tarumã, enquanto os mais baixos valores nos compostos de Martinópolis e Osvaldo Cruz. Consi-

derando os valores propostos por Kiehl (1985), todos os compostos estavam muito abaixo de 0,5%.

O potássio apresentou maiores concentrações nos pré-compostos de São Paulo, enquanto que Osvaldo Cruz apresentou o menor valor. Para Kiehl (1985), todos os compostos apresentaram valores baixos desse elemento. Para o enxofre foram obtidos índices médios em Bocaina, São José do Rio Preto e Tarumã, enquanto os demais compostos apresentam baixos valores para esse elemento. O NH_4^+ obteve valores mais altos apenas nos pré-compostos B de São Paulo e São José do Rio Preto, demonstrando a imaturidade desses materiais. Em contrapartida, valores mais altos para o nitrato (NO_3^-), demonstram que os compostos atingiram a estabilização desejada. Os mais altos valores para esse elemento foram encontrados em Assis, Bocaina, Garça, e Tarumã.

Metais Pesados

O conteúdo de metais pesados nos compostos são apresentados na Tabela 8.

De acordo com a Legislação Brasileira, em discussão para metais pesados, o valor permitido para o cobre é de 200 mg/kg. Nos compostos, os maiores valores foram encontrados em Assis, Garça e São José do Rio Preto. Estavam

Tabela 7 - Médias para nutrientes nos compostos estudados

Municípios	Nutrientes							
	C total g/Kg	C org g/kg	N total g/kg	P mg/kg	K mg/kg	S mg/kg	NH_4^+ mg/kg	NO_3^- mg/kg
Adamantina	122,60	119,63	6,26	279,38	3110,00	1705,00	47,50	148,00
Assis	128,00	123,15	8,16	483,58	3801,00	3402,50	59,50	369,50
Bocaina	137,75	131,60	10,45	462,73	3700,00	4405,00	61,50	360,50
Garça	91,02	87,83	5,81	239,30	2808,50	2314,00	49,50	417,00
Itatinga	97,40	92,02	6,52	368,90	2805,00	2202,00	54,50	104,00
Martinópolis	58,36	54,89	4,84	162,86	2405,00	1407,50	56,00	286,00
Osvaldo Cruz	55,09	52,99	3,47	186,76	1507,50	1404,00	42,00	187,50
Parapuã	91,02	85,57	5,69	482,60	3805,00	3607,50	59,50	338,00
Pres. Bernardes	75,73	69,87	6,31	430,35	2806,00	2505,00	58,00	395,00
S. J. Campos	95,12	91,93	6,08	433,91	3015,00	2330,00	51,00	123,00
S. J. Rio Preto	149,10	143,37	6,36	428,65	4311,00	4105,00	74,00	61,50
São Paulo composto A	321,35	318,10	9,43	225,93	5725,00	3408,50	82,50	114,00
São Paulo composto B	325,50	325,40	9,32	290,46	6142,50	3652,50	110,00	65,00
Tarumã	90,78	85,26	7,24	413,91	4118,00	4003,50	59,50	362,50
Uru	52,83	51,52	3,45	206,04	2206,00	1512,50	59,50	180,50
Médias	126,11	122,21	6,62	339,69	3484,37	2673,55	61,63	234,13
SEM	15,58	15,69	0,41	27,22	248,18	184,69	3,63	32,26

Tabela 8 - Médias para metais pesados nos compostos

Municípios	Metais (mg/kg)						
	Cu	Zn	Al	Si	Ni	Cd	Pb
Adamantina	212,81	502,12	8848,23	2037,31	<LD	<LD	<LQ
Assis	581,22	889,31	14738,81	762,44	<LD	<LD	<LQ
Bocaina	202,51	750,83	9951,39	840,30	<LD	<LD	<LQ
Garça	448,68	391,52	12263,10	780,84	<LD	<LD	<LQ
Itatinga	157,43	292,84	12382,35	627,51	<LD	<LD	<LQ
Martinópolis	81,08	217,16	7821,55	852,04	<LD	<LD	<LQ
Oswaldo Cruz	58,44	222,01	11031,56	485,52	<LD	<LD	<LD
Parapuã	151,03	295,25	6991,64	744,82	<LD	<LD	<LD
Pres. Bernardes	116,31	384,54	8218,76	963,34	<LD	<LD	<LQ
S. J. Campos	205,19	390,05	12038,26	1178,13	<LD	<LD	<LQ
S. J. Rio Preto	405,52	536,42	8573,42	749,08	<LD	<LD	<LQ
São Paulo composto A	135,12	268,06	14960,25	1304,98	<LD	<LD	<LQ
São Paulo composto B	81,23	213,06	7970,38	942,21	<LD	<LD	<LQ
Tarumã	193,52	482,80	31108,09	625,66	<LD	<LD	<LQ
Uru	55,95	177,18	10245,50	475,70	<LD	<LD	<LQ
Médias	205,73	400,87	11809,60	891,32	<LD	<LD	<LQ
SEM	31,83	43,45	1123,99	117,82	0,0	0,0	0,0

LD: menor que o limite de detecção

LQ: menor que o limite de quantificação

dentro dos limites impostos os compostos de Itatinga, Martinópolis, Oswaldo Cruz, Parapuã, Presidente Bernardes, pré-composto A e B de São Paulo, Tarumã e Uru. Apesar de próximo do valor permitido, o composto produzido em Adamantina também está fora dos limites impostos. Levando-se em conta os padrões exigidos em alguns países europeus como Bélgica, Suíça, Alemanha e Holanda que possuem limites mais exigentes para a quantidade de cobre, somente alguns compostos estudados poderiam ser vendidos livremente. Na Holanda, por exemplo, o limite mais baixo permitido entre todos os países europeus, somente os compostos de Martinópolis, Oswaldo Cruz e Uru tiveram seus valores para cobre menores que 90 mg/kg. Por outro lado, pela Legislação Americana, só Assis estaria fora dos padrões exigidos pela EPA (500 mg/kg). Portanto, é necessário relativizar esses valores, uma vez que não existe uma unanimidade internacional a respeito.

Quanto ao zinco, as maiores concentrações foram encontradas nos compostos de Assis, Bocaina e São José do Rio Preto e somente esses compos-

tos não estavam dentro dos limites impostos pela Legislação Brasileira de 500 mg/kg. Os menores valores foram encontrados nos compostos produzidos em Martinópolis e Uru. Considerando alguns países europeus mais rígidos em relação aos limites brasileiros, somente os compostos produzidos em Martinópolis, Oswaldo Cruz, pré-compostos A e B de São Paulo e Uru estavam dentro dos limites impostos pela Holanda, país mais rígido quanto a esse metal. Todavia, com relação aos valores indicados pela Legislação Americana, todos estavam bem abaixo do limite de 1000 mg/kg imposto por este país.

Quanto ao alumínio, a Legislação Brasileira não tem limites para esse metal e segundo os dados obtidos, o composto produzido em Tarumã apresentou valor extremamente elevado, enquanto Parapuã apresentou os menores valores. A preocupação quanto a presença de alumínio nos compostos é devido o seu uso em grandes doses continuadas, em solos com elevadas concentrações naturais desse elemento, como no caso dos solos do cerrado brasileiro.

O silício foi encontrado em grande quantidade nos compostos de Adaman-

tina e em menor quantidade em Uru e também não apresenta limites impostos pela Legislação Brasileira enquanto que o níquel, o cádmio e o chumbo estavam abaixo do nível de detecção, não representando problema em qualquer legislação que se aplique.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo da qualidade dos compostos e os processos de produção nas usinas de compostagem do estado de São Paulo permitiu as seguintes conclusões:

- quanto a qualidade física dos compostos analisados pode-se considerar que, embora as usinas estudadas apresentassem a peneira rotatória para o beneficiamento do composto, o processo após a esteira de triagem foi decisiva quanto ao teor de contaminantes. As usinas com trituradores e moinhos apresentaram valores elevados para inertes configurando que, pelo menos nesse parâmetro, o uso desses equipamentos não foi adequado. Conclui-se, portanto, que as estruturas influenciaram negativamente as características físicas dos compostos.

- os compostos analisados foram considerados condicionadores de solo devido aos baixos valores de nutrientes. Todavia, na média quanto ao conteúdo de metais, os compostos tiveram qualidade bastante aceitável tendo o níquel, cádmio e o chumbo não detectados pelas análises químicas. Não houve uma relação direta entre as estruturas das usinas e a qualidade química dos compostos, embora os baixos valores de matéria orgânica possam indicar presença de contaminantes.

Salienta-se que, mesmo que as usinas não estejam produzindo compostos de alta qualidade, a retirada destes materiais da rota tradicional de descarte já pode ser considerada um benefício extremamente vantajoso para o meio ambiente. Nesse caso, a produção de compostos se torna um benefício extra ao processo que contribui com a maior sustentabilidade do sistema. Além disso, o processo de compostagem transforma a matéria orgânica crua em um produto estabilizado e ainda que tivesse sua destinação aos aterros sanitários devido sua pouca qualidade, o processo levaria vantagem em relação à disposição direta no solo pela diminuição da massa em volume e pelo reduzido potencial de contaminação.

De qualquer modo, para o composto melhorar sua qualidade no Brasil não é necessário, apenas, o país possuir uma legislação específica, mas sim, obter um maior controle sobre sua produção e comercialização. De qualquer maneira, devem ser levados em conta os benefícios socioambientais da prática de compostagem com maior investimentos no setor e considerar as melhorias nas produtividades agrícolas, colaborando com maior poder de marketing do produto.

Em contrapartida, a falta de análises periódicas nos compostos e de controle sobre sua qualidade dificultam o mercado e não asseguram que os compostos produzidos sejam de bom nível. Rodrigues (2004), sugere a adoção de um programa de monitoramento constante da qualidade dos resíduos e, consequentemente dos compostos produzidos nas usinas de compostagem, garantindo a qualidade do produto e a saúde dos consumidores e do meio ambiente.

Discussões em torno das normas para fabricação e comercialização de composto a partir de resíduos sólidos urbanos estão sendo realizadas a nível

federal por meio do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e pela Embrapa, vinculada a este Ministério. A partir do momento que as normas forem aprovadas, o composto deverá ser registrado para a venda. Para tanto, esse produto deverá ser submetido a análises para verificação de sua qualidade para fim de registro. É importante ressaltar que é extremamente importante a normatização das análises tanto físicas quanto químicas, com a finalidade de padronizar os métodos de avaliação da qualidade dos compostos, situação que ainda não ocorre no país e dificulta uma discussão mais aprofundada sobre o real valor do composto.

Espera-se com isso, que o resultado seja extremamente satisfatório com produção de composto de alta qualidade melhorando a atual situação das usinas de compostagem e, consequentemente, contribuindo para a melhoria do tratamento dos resíduos.

AGRADECIMENTOS

Aos gestores das usinas pela colaboração na pesquisa, a Capes pela bolsa de estudo concedida, a Prof. Maria Olimpia Rezende e ao Prof. Dr. Jorge Alberto Soares Tenório pela colaboração nas análises químicas e físicas, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- ALLISON LE. *Organic carbon*. In: Black CA; Evans DD; White JL; Ensminger LE; Clark FE; Dinauer RC eds. *Methods of Soil Analysis*. Madison, SA, p.367-378. 1965.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.007 – *Amostragem de resíduos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- BRINTON, W.F. *An international look at compost standards*. Biocycle ; Abril: 74-76. 2001.
- CETESB. *Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares*. São Paulo: Secretaria de Meio Ambiente; 2003.
- CLASSEN, M.E.C. *Manual de métodos de análise do solo.2ª*. Edição, Embrapa; Rio de Janeiro, 1997.
- DE BERTOLDI, M., VALLINI, G., PERA, A. *The biology of composting: A review*. Waste Man & Res. p. 153-176. 1983.
- DIAZ, L.F. et al. *Composting and recycling - municipal solid waste*. Boca Raton (USA): Lewis Publishers; 1993.
- DICK, W.A., MCCOY, E.L. *Enhancing soil fertility by addition of compost*. In: Hoitink e Keener, editores. *Science and Engineering of Composting: design, environmental, microbial and utilization aspects*. Wooster (Ohio): The Ohio State University; p. 622-644. 1993.

EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro; 1979

GALVÃO JUNIOR, A.C. *Aspectos operacionais relacionados com usinas de reciclagem e compostagem de resíduos sólidos domiciliares no Brasil*. São Carlos (SP); [Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos/USP]. 1994.

GRAY, K.R., SHERMAN, K., BIDDLESTONE, A.J. *A review of composting Part 1*. Proc Bioch 6(10): 22-28. 1971.

GROSSI, M.G.L. *Avaliação da qualidade dos produtos obtidos de usinas de compostagem brasileiras de lixo doméstico através de determinação de metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas*. São Paulo; [Tese de Doutorado – Instituto de Química da Universidade de São Paulo]. 1993.

HUTCHINSON, H.B., RICHARDS, E.H. *Artificial farmyard manure*. The J Min of Agri 28: 398-411. 1922.

IBGE. *Indicadores de Desenvolvimento Sustentável*. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.

JACKSON, M.L. *Soil Chemistry Analysis*. New Delhi, India Privatte, p.57-81. 1967.

KIEHL, E.J. *Fertilizantes orgânicos*. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres Ltda; 1985

KIEHL, E.J. *Manual de compostagem – maturação e qualidade do composto*. Piracicaba: Editora Degaspari; 1998.

KRAUSS, P., BLESSING, R., KORHERR, U. *Heavy metals in compost from municipal refuse: strategies to reduce their content to acceptable levels*. In: M. Bertoldi, editor *Compost.- Production, Quality and Use*. pp.254-365. 1986.

LELIS, M.P.N., PEREIRA NETO, J.T. *Usinas de reciclagem de lixo: porque não funcionam*. In: 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Anais...João Pessoa: ABES; p. 1-9, 2001.

LOPEZ-REAL, J.M. *Agroindustrial waste composting and its agricultural significance*. Proceedings of the Fertilizer Society 293: 1-26. 1990.

LOPEZ-REAL, J.M. *Composting through the ages*. In: *Down to Earth Composting*. 5p. 1994.

MERILLOT, J.M. *Perspectives and state of the art of composting in France*. In: Marco de Bertoldi, Paolo Sequi, Bert Lemmes, Tiziano Papi. *Science of Composting Part 2*. 1ª ed. England: Chapman & Hall (Edit), pp.684-690. 1996.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. *Instrução Normativa nº 15*. Brasília: Diário Oficial da União; 2004.

PARR, J.F., HORNICK, S.B. *Agricultural use of organic amendments: a historical perspective*. Am J of Alt ; 7(4): 181-189. 1992.

PARR, J.F., PAPENDICK, R.I. *Strategies for improving soil productivity in developing countries with organic wastes*. In: FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL FEDERATION OF ORGANIC AGRICULTURE MOVEMENTS. Cambridge, Mass, 1982.

PEREIRA-NETO, J.T. *Composting Experiences and Perspectives in Brazil*. In: Marco de Bertoldi, Paolo Sequi, Bert Lemmes, Tiziano Papi. *Science of Composting Part 2*. 1ª ed. England: Chapman & Hall (Edit), pp. 729-735. 1996.

RICHARD, T.L., WOODBURY, P.S. *The impact of separation on heavy metal contaminants in municipal solid waste compost*. Biom and Bioen.; 3(3.4):195-211. 1992.

RODRIGUES, M.S. *Composted societal organic wastes for sustainable wheat (Triticum aestivum) production*. Wye; [Tese para obtenção do título de PhD - Wye College/ University of London]. 1996.

RODRIGUES, M.S. *Resíduos orgânicos como matéria-prima para compostagem*. In: I SICOM – SIMPÓSIO SOBRE COMPOSTAGEM – “CIÊNCIA E TECNOLOGIA”, Botucatu (SP). Botucatu: Universidade Estadual Paulista. p. 1-27, 2004.

SAVAGE, G.M. *The importance of waste characteristics and processing in the production of quality compost*. In: Marco de Bertoldi, Paolo Sequi, Bert Lemmes, Tiziano Papi. Science of Composting Part 2. 1ª ed. England: Chapman & Hall (Edit), pp.784-791. 1996.

SCHALCH, V., REZENDE, M.O.O. *O processo de compostagem do lixo e sua relação com a qualidade de adubo formado*. BIO; out/dez: 44-47. 1991.

SENESE, N. *Composted materials as organic fertilizers*. The Sci of the Total Envir. 81/82: 521-542. 1989.

SILVA, F.C. *Manual de análises química de solos, plantas e fertilizantes*. Embrapa; Brasília, 1999.

SOLID SAMPLE MODULE- 5000A for TOC-V serie total organic carbon analyzers: user manual. Kyoto, Shimadzu, 1v. (TOC-V série). 2001.

VAN RAIJ, B. et al. *Análise química de solo para fins de fertilidade*. Campinas, Fundação Cargil, 170p. 1987.

VASCONCELOS, Y. *O Melhor do Lixo*. PESQUISA FAPESP 2003; set: 78-81. 2003.

TROMBETTA A et al. *Metodi di analisi dei compost – determinazioni chimiche, fisiche, biologiche e microbiologiche*. Torino (Itália): Assessorato per l'Ambiente – Regione Piemonte; 1992.

ZUCCONI, F. DE BERTOLDI, M. *Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste*. In: M. DE BERTOLDI, editor. Compost.- Production, Quality and Use. pp.30-60, 1986.

Endereço para correspondência:

Luciana Pranzetti Barreira
Faculdade de Administração
IPH - Instituto Brasileiro de
Desenvolvimento e de Pesquisas
Hospitais
Av. Duquesa de Goiás, 262
Bairro Real Parque
05686-001 São Paulo - SP - Brasil
E-mail: lubarreira@yahoo.com.br

O jornal ABES Informa
está circulando com
atualização semanal.

A cada semana, a
edição vencida vai
para um arquivo
eletrônico disponível
permanentemente.

É a nossa associação se
modernizando, para
ser cada vez mais ágil e
estar mais próxima dos
seus associados.