

São Carlos, SP
Novembro, 2005

Autores

Lucimar Lopes Fallo
Química, MSc.
Embrapa Instrumentação
Agropecuária, C.P. 741,
CEP 13560-970,
São Carlos, SP
lucimar@cnpdia.embrapa.br

Wilson Tadeu Lopes da Silva
Químico, Dr.
Embrapa Instrumentação
Agropecuária, C.P. 741,
CEP 13560-970,
São Carlos, SP
wilson@cnpdia.embrapa.br

Débora M. Bastos Pereira Milor
Física, Dra.
Embrapa Instrumentação
Agropecuária, C.P. 741,
CEP 13560-970,
São Carlos, SP
debora@cnpdia.embrapa.br

Marcelo Luiz Simões
Físico, Dr.
Embrapa Instrumentação
Agropecuária, C.P. 741,
CEP 13560-970,
São Carlos, SP
marcelo@cnpdia.embrapa.br

Ladislau Martin Neto
Físico, Dr.
Embrapa Instrumentação
Agropecuária, C.P. 741,
CEP 13560-970,
São Carlos, SP
martin@cnpdia.embrapa.br

Embrapa

Monitoramento Químico e Físico do Processo de Compostagem de Diferentes Resíduos Orgânicos

Resumo

Tanto as atividades agrícolas, quanto as industriais são responsáveis pela geração de grandes quantidades de resíduos orgânicos. Uma alternativa interessante para reciclagem e melhor aproveitamento desses resíduos na agricultura é a compostagem.

A compostagem é definida como um processo de decomposição controlada, exotérmica (libera calor) e bio-oxidativa de materiais de origem orgânica realizada por microrganismos, em um ambiente úmido, aquecido e aeróbico, com produção de dióxido de carbono, água, fornecimento de minerais e matéria orgânica estabilizada denominada composto ou húmus, que pode ser utilizado como fertilizante.

Alguns fatores relevantes serão citados a seguir e estes devem ser controlados para que o processo de compostagem possa acontecer com sucesso:

a) Aeração:

Como a compostagem é um processo aeróbico, a aeração é um fator essencial. Sem um suprimento suficiente de oxigênio o processo se torna anaeróbico, retarda a degradação da matéria orgânica e produz odores desagradáveis. A aeração também ajuda manter a temperatura abaixo de 65° C, pois acima desse valor a temperatura passa a ser prejudicial ao desenvolvimento dos microrganismos.

A eficiência da aeração é dependente do substrato e do sistema de compostagem. Substratos com granulometria muito fina, ou com umidade muito elevada irão dificultar a difusão de oxigênio no interior da leira, favorecendo o surgimento de condições anaeróbicas.

Com diferentes variações, existem dois tipos principais de sistemas de aeração: revolvimento mecânico e aeração forçada. No revolvimento mecânico, a aeração é feita através da movimentação da leira com uso de instrumentos e equipamentos que podem ser de baixa tecnologia e emprego elevado de mão-de-obra com o uso de pás e garfos, trator com pá-carregadeira, entre outros. Na aeração forçada, o ar é injetado através de sistema de ventiladores/aeradores e tubos instalados sob ou no interior das leiras. Apesar de uso intensivo de mão-de-obra, o revolvimento é mais interessante porque também permitirá um rearranjo do material na leira e o contato de porções de resíduos não decompostos com os microrganismos, acelerando o processo de compostagem.

Foto: Arquivo



carregadeira, entre outros. Na aeração forçada, o ar é injetado através de sistema de ventiladores/aeradores e tubos instalados sob ou no interior das leiras. Apesar de uso intensivo de mão-de-obra, o revolvimento é mais interessante porque também permitirá um rearranjo do material na leira e o contato de porções de resíduos não decompostos com os microrganismos, acelerando o processo de compostagem.

b) Umidade:

A umidade considerada ideal para o processo varia de 50 a 60 %. Níveis muito baixos de umidade (abaixo de 30 %) inibem a atividade microbiana, enquanto que, um meio muito úmido (acima de 65 %) resulta em decomposição lenta, condições de anaerobiose e lixiviação de nutrientes.

c) Relação Carbono e Nitrogênio (C/N):

A relação C/N é a relação entre o conteúdo de carbono e nitrogênio presente em um dado material. O intervalo de valores para C/N entre 25 e 40 é definido como ótimo para início do processo de compostagem. Valores mais elevados significam que não há nitrogênio suficiente para um ótimo desenvolvimento das populações microbianas e a velocidade de decomposição será reduzida. Por outro lado, baixa C/N leva à perda de nitrogênio na forma de amônia, em particular em altas temperaturas e condições de aeração forçada, causando odores indesejados.

A Tabela 1 mostra alguns materiais e suas respectivas relações C/N.

Tabela 1: Relação C/N de alguns resíduos orgânicos.

Resíduos	C/N
Folhas secas	30-80
Palha de cereais	40-100
Aparas de madeira e serragem	100-500
Serragem	100-500
Polpa e po-de café	20
Restos de frutas	35
Aparas de gramas	15-25
Esterco bovino	5-25
Esterco de aves	10
Esterco de cavalo	25

Fonte: Adaptado de ECOCHEM, 2004.

d) Tamanho das partículas:

A atividade microbiana ocorre geralmente na superfície das partículas. Dessa forma, quanto menor o tamanho das partículas, maior será a superfície ativa do material, maior será a atividade microbiana e maior a taxa de decomposição. Por outro lado, partículas muito pequenas tendem à compactação, inibindo a circulação de ar na leira, diminuindo a disponibilidade de oxigênio para os microrganismos e, conseqüentemente, diminuindo a atividade microbiana. Portanto esse deve ser um fator bem avaliado ao montar uma leira de compostagem. Não há um consenso em relação ao tamanho de partículas ideal para compostagem de diferentes resíduos, mas, segundo dados da literatura, para compostagem de lixo urbano o tamanho ideal de partícula deve situar-se na faixa de 20 a 70 mm.

e) Temperatura:

Em condições ideais, a compostagem se desenvolve em três fases distintas:

1. Fase mesofílica: é a fase em que predominam temperaturas moderadas, até cerca de 40 °C. Tem duração média de dois a cinco dias.
2. Fase termofílica: predomina alta temperatura (45 a 65 °C) e pode ter a duração de poucos dias a vários meses, de acordo com as características químicas do material sendo compostado.
3. Fase de resfriamento e maturação: com duração de semanas a meses. É nessa fase que ocorre a humificação da matéria orgânica decomposta.

A manutenção de temperaturas na faixa de 55 a 65 °C, na fase termofílica, inativa microrganismos patogênicos, sementes de ervas daninhas, larvas de insetos e helmintos. Porém ultrapassada a temperatura de 65 °C a maioria dos microrganismos cessam suas atividades biológicas ou morrem, levando assim ao colapso do processo de decomposição. O objetivo do sistema de compostagem controlada é, portanto, manter a temperatura média no interior da leira abaixo de 65 °C por meio da aeração forçada ou do revolvimento.

f) pH:

A faixa de pH entre 5,5 e 8,5 é considerada ótima para os microrganismos responsáveis pela compostagem. Valores extremos de pH no início do processo podem diminuir a eficiência do processo e atrasá-lo em alguns dias, porém no final esse parâmetro situa-se sempre na faixa de 7,0 a 8,5.

Uma vez que se obtenham estas condições favoráveis para a produção de um composto de qualidade, devem-se estabelecer indicadores que assegurem a maturidade do produto final e sua disponibilidade para o mercado de adubo orgânico. A avaliação do grau de estabilização ou humificação de um composto pode ser considerada um dos fatores mais importantes relacionados ao processo, bem como da aplicação do material no solo.

Estabelecer o período no qual o composto pode ser considerado humificado é extremamente relevante, pois de outra forma se aplicado "imaturado" ao solo pode gerar alta concentração de gás carbônico e baixos níveis de oxigênio levando a condições anaeróbias e redutoras no solo. Além disso, a intensa atividade microbiana também pode promover a degradação da matéria orgânica já presente no solo. Outro problema é que o nitrogênio inorgânico pode ser incorporado às células microbianas tornando-se temporariamente indisponível para as plantas. Essa competição entre os microrganismos e a planta pelos minerais pode prejudicar a produção agrícola.

Por outro lado, quando o composto já estabilizado ou humificado é aplicado ao solo pode gerar vários benefícios como:

- Aumento da capacidade de retenção de água nos solos;
- Aumento da Capacidade de Troca Catiônica (CTC) dos solos, assim os nutrientes ficam menos sujeitos às perdas por lixiviação;
- Forma agregados de solos mais estáveis, portanto melhora a aeração e drenagem dos solos, prevenindo a erosão e, conseqüentemente o assoreamento de rios;
- Aumento do pH e do poder tampão do solo;
- Nova forma de matéria orgânica para os solos e de macro e micronutrientes para as plantas;
- Incrementa a biodiversidade das comunidades microbianas dos solos, tornando-o mais produtivo.

Todas essas propriedades químicas e físicas geradas pela aplicação do composto propiciam o aumento da produtividade das culturas.

Dessa forma o objetivo deste trabalho foi monitorar o

processo de compostagem de diferentes resíduos orgânicos para produção de compostos, avaliar a qualidade em termos de fornecimento de nutrientes e de húmus e determinar o período de estabilização ou humificação desses compostos.

Materiais e Métodos

O experimento foi montado na Fazenda Santa Cândida, município de São Carlos - SP, nos dias 25 e 26 de outubro de 2004.

Foram montados três leiras para o monitoramento do processo:

- Leira 1 (L1) Apenas poda de árvores
- Leira 2 (L2) Poda de árvores + esterco bovino fresco
- Leira 3 (L3) Poda de árvores + bagaço de laranja

Inicialmente os resíduos foram caracterizados quanto à umidade e ao teor de C e N. Em função destes dados foram feitos os cálculos das proporções dos resíduos a fim de que as Leiras 2 e 3 tivessem uma relação C/N inicial de aproximadamente, 35, pois este valor está dentro da faixa de valores considerados ótimos para o início da compostagem (C/N entre 25 e 40).

Os resíduos foram misturados, manualmente, com o objetivo de homogeneizar a mistura e as leiras foram montadas com formato cônico de, aproximadamente, 2,0 m de diâmetro e 1,4 m de altura, em uma área com superfície de concreto, para impedir o contato com o solo e facilitar o processo de revolvimento (Fig. 1). As leiras foram cobertas com lonas plásticas nos períodos de chuva, para evitar excesso de umidade nos resíduos.



Fig. 1: Homogeneização dos resíduos para montagem das leiras (a), leiras montadas (b).

Foram feitas diariamente medidas de temperatura, entre 6 e 7 h da manhã, utilizando um termopar do tipo K, e um medidor marca MINIPA, acoplado a uma haste de PVC com aproximadamente 50 cm de comprimento. As medidas foram feitas introduzindo a haste no interior das leiras em três pontos, simetricamente distribuídos, sobre sua superfície lateral e a, aproximadamente, 40 cm de altura.

Com o objetivo de fornecer oxigênio aos microrganismos no interior das leiras elas foram revolvidas manualmente. O primeiro revolvimento foi feito após 7 dias de compostagem (período que as Leiras já estavam na fase termofílica) e nas semanas subsequentes os revolvimentos foram feitos em intervalos de 4 a 5 dias. A partir da 7ª semana foi feito apenas um revolvimento semanal e a partir da 13ª semana as leiras não foram mais reviradas, pois já estavam na fase de maturação do composto.

Uma vez por semana foi feito o controle da umidade retirando amostras em vários pontos aleatórios no interior da leira, e fazendo uma amostra composta. O teor de umidade foi determinado por diferença de massa antes e depois do material ser seco em estufa a 60°C até massa constante. Foi adicionada água nas leiras para ajustar o teor de umidade conforme a necessidade de cada tratamento.

Para o acompanhamento do processo de compostagem foi coletado, aproximadamente, 1,0 kg de cada mistura de resíduos, no dia da montagem do experimento. A cada 30 dias foram coletadas amostras em vários pontos aleatórios no interior da leira (aproximadamente 50 cm de profundidade) e da mistura dessas amostras obteve-se uma amostra composta de, aproximadamente, 1,0 kg. Foram feitas duplicatas dessas amostras compostas para cada leira, com o objetivo de verificar a homogeneidade dos materiais em função do tempo de compostagem.

Resultados e Discussões

A Fig. 2 mostra a variação da umidade (semanal) dos resíduos nas Leiras de compostagem. Observa-se que durante o processo a umidade manteve-se na faixa considerada ideal que é de 50 a 60 %.

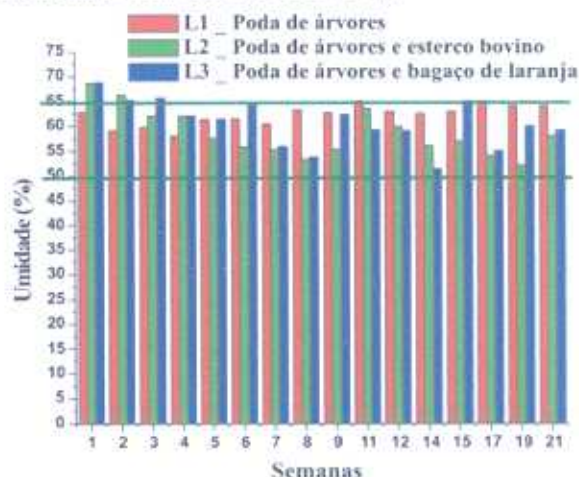


Fig. 2: Variação da umidade em função do tempo (a cada 7 dias) de compostagem nas 3 leiras.

A Fig. 3 apresenta os resultados do monitoramento da temperatura do interior das três Leiras. Nas Leiras 2 e 3 a fase termofílica foi atingida nos primeiros dias de compostagem e após, aproximadamente 100 dias o processo entrou na fase mesofílica. Porém este fato não ocorreu com a Leira 1, ela permaneceu durante todo o processo na fase mesofílica, com temperaturas inferiores a 40 °C. Este fato pode ser justificado pela alta relação C/N do resíduo da Leira 1 (poda de árvores) que era, aproximadamente 112. Logo nesse caso os microrganismos não encontraram todos os nutrientes necessários para sua proliferação e o processo ocorreu de forma lenta não havendo assim incremento tão significativo na temperatura.

No início do processo de compostagem pode ocorrer a liberação de ácidos orgânicos tornando o meio ácido. Porém, com o desenvolvimento da compostagem há formação de ácidos húmicos que também formam humatos alcalinos. O nitrogênio orgânico, que corresponde a maior parte do N da matéria orgânica é transformado em N amídico e depois em N amoniacal, elevando assim o pH devido à reação alcalina, característica da amônia (NH_3). Os microrganismos transformam esse N amoniacal em nitrato (NO_3) que é o produto final da degradação do N orgânico. Como consequência, o pH do composto se eleva à medida que o

processo se desenvolve, passando pelo neutro e alcançando o básico, quando se tem o composto humificado.

No início do processo de compostagem pode ocorrer a liberação de ácidos orgânicos tornando o meio ácido. Porém, com o desenvolvimento da compostagem há formação de ácidos húmicos que também formam humatos alcalinos. O nitrogênio orgânico, que corresponde a maior parte do N da matéria orgânica é transformado em N amídico e depois em N amoniacal, elevando assim o pH devido à reação alcalina, característica da amônia (NH_3). Os microrganismos transformam esse N amoniacal em nitrato (NO_3) que é o produto final da degradação do N orgânico. Como consequência, o pH do composto se eleva à medida que o processo se desenvolve, passando pelo neutro e alcançando o básico, quando se tem o composto humificado.

Observa-se na Fig. 4 que nas Leiras 1 e 2 houve pequena variação nos valores de pH e estes já se encontravam na faixa de pH neutro no início do processo. Já na Leira 3, que começou o processo com baixo valor de pH ($\sim 4,0$), devido à adição do bagaço de laranja, houve aumento significativo após 30 dias de compostagem. Com 150 dias de compostagem observou-se uma tendência à estabilização do pH em todas as Leiras.

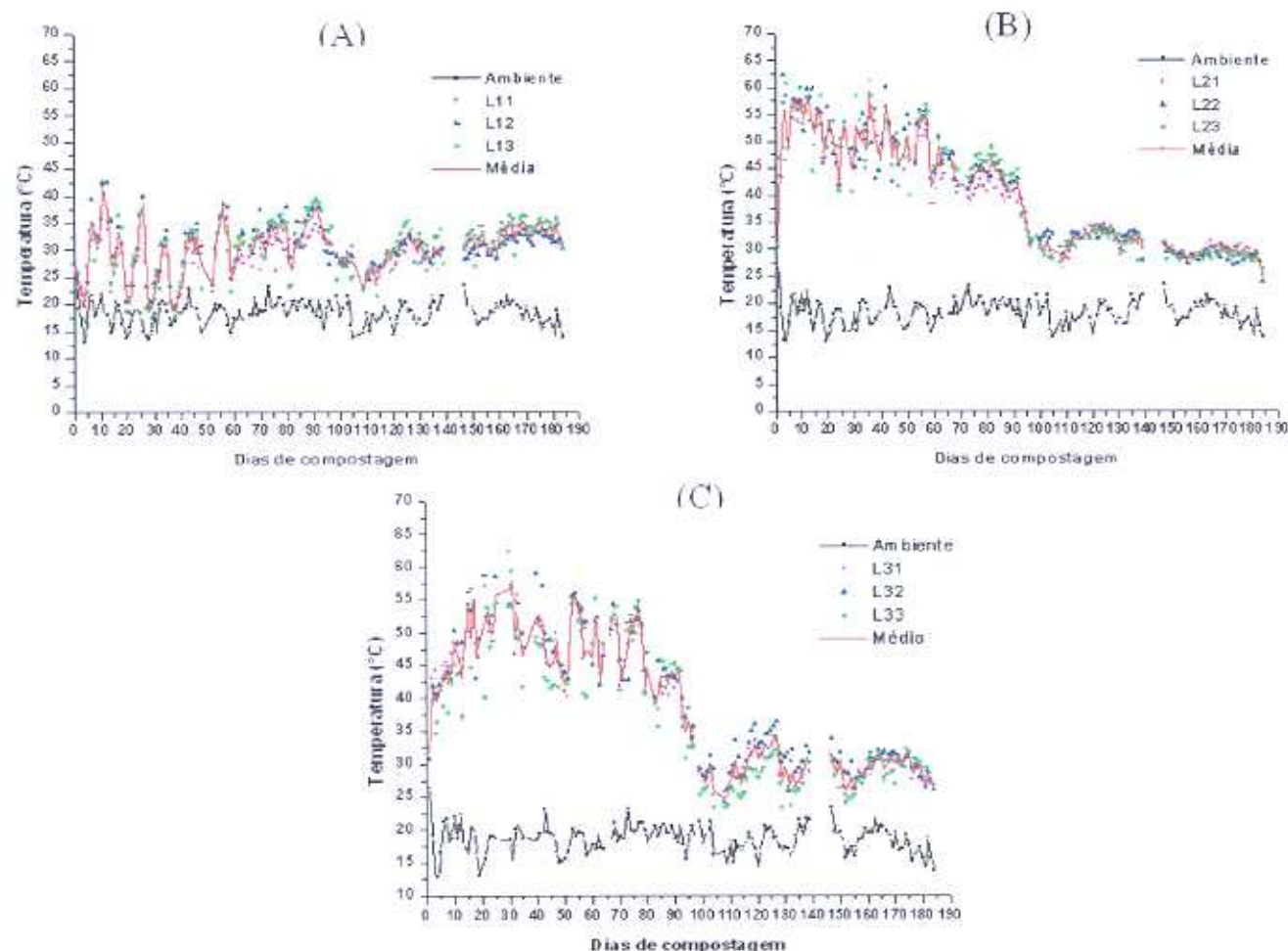


Fig. 3: Variação de temperatura nas Leiras L1 (A), L2 (B), e L3 (C) em função do tempo de compostagem.

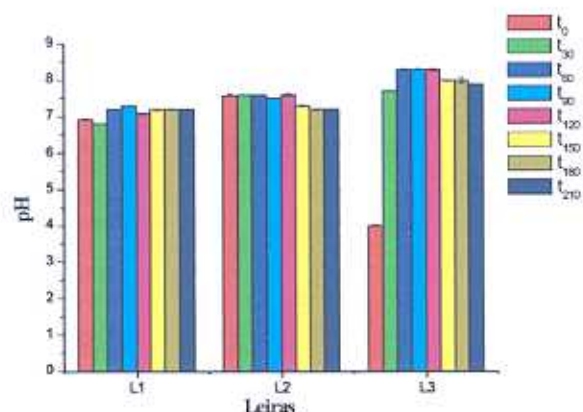


Fig. 4: Variação do pH em função do tempo (0, 30, 60, 90, 120, 150, 180 e 210 dias) de compostagem das 3 Leiras.

A relação C/N dá uma indicação do grau de estabilização da matéria orgânica, do ponto de vista ao ataque microbiano, bem como a estabilidade deste material quando colocado no solo. Valores próximos de 10 são característicos de sistemas com baixa atividade.

microbiana e uma possível estabilização do composto.

As amostras compostadas apresentaram uma diminuição significativa da relação C/N em função do tempo (Fig. 5). Observa-se que na Leira L1 houve redução da relação C/N, porém após 210 dias de compostagem o valor ainda estava alto (≈ 38) enquanto que nas Leiras L2 e L3 a relação C/N foi para 15 e 17, respectivamente, indicando uma estabilização do composto.

Por meio das análises de macro e micronutrientes (Tabela 2) observa-se o aumento da concentração de nutrientes que ocorre com o processo de compostagem. Isso se deve ao fato de que durante o processo há uma grande perda de carbono na forma de CO_2 , ocasionando um aumento relativo da concentração dos elementos inorgânicos. As leiras 2 e 3 produziram os compostos com maior concentração de macro e micronutrientes.

Com os resultados obtidos da análise de macro e micronutrientes e o conhecimento dos benefícios físicos e químicos que o composto proporciona ao solo pode-se evidenciar o alto potencial que o composto apresenta para o uso como fertilizante agrícola.

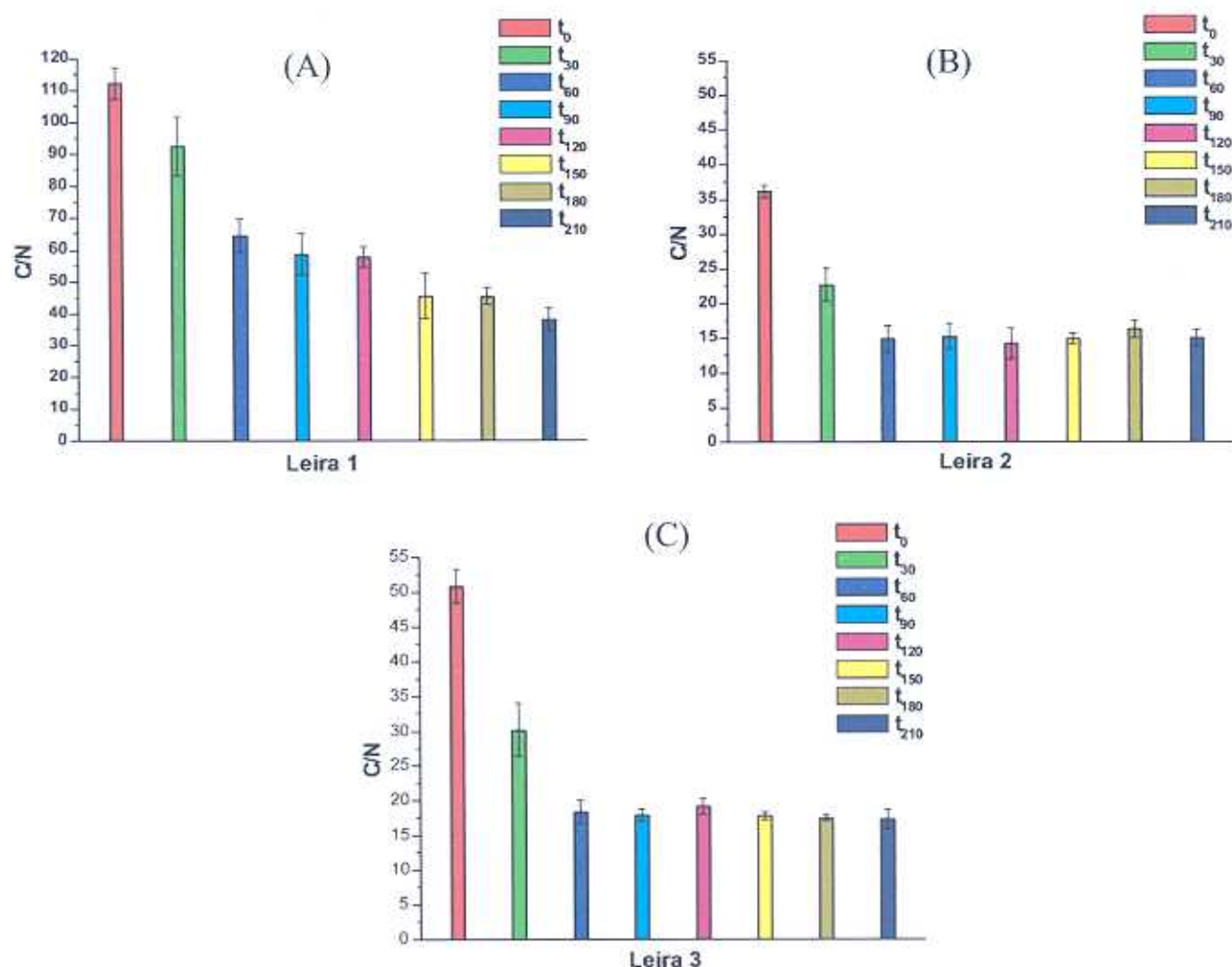


Fig. 5: Variação da relação C/N nas Leiras L1 (A), L2 (B) e L3 (C), em função do tempo (0, 30, 60, 90, 120, 150, 180 e 210 dias) de compostagem.

Tabela 2: Análise de macro e micronutrientes da mistura dos resíduos no tempo inicial da compostagem (t_0) e com 210 de compostagem (t_{210}).

Leiras	N	Ca	Mg	P	K	S	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹			
L1 (t_0)	4,2 0,1	3,9 0,0	1,2 0,0	0,3 0,0	3,3 0,0	0,5 0,0	4,5 0,1	354,4 36,1	20,2 0,2	16,5 2,7
L2 (t_0)	11,5 0,3	14,0 0,5	2,0 0,1	2,2 0,6	4,7 0,5	1,7 0,2	29,6 2,0	3563 39,0	113,2 4,3	86,7 3,6
L3 (t_0)	10,1 0,2	6,8 0,3	0,5 0,0	0,8 0,1	7,6 0,2	0,8 0,0	5,6 0,1	436,7 33,1	31,1 1,5	14,9 0,5
L1 (t_{210})	9,5 0,1	10,3 3,6	2,0 1,0	1,6 0,5	3,3 0,7	1,1 0,0	17,8 3,4	1601 22	37,1 8,5	72,4 13,7
L2 (t_{210})	15,2 0,5	15,3 4,1	3,9 0,9	5,0 0,0	3,6 1,0	2,7 0,5	41,7 8,0	7021 896	139,4 4,4	212,3 46,5
L3 (t_{210})	24,3 1,1	24,2 0,8	5,1 0,1	4,0 0,1	15,6 1,8	2,4 0,1	24,2 0,3	2366 432	63,6 0,6	140,7 6,9

Os materiais das Leiras 2 e 3 já estão estabilizados do ponto de vista microbiano, enquanto que este processo ocorreu muito lentamente com o material da Leira 1, que começou a compostagem com a relação C/N muito alta. Portanto para que o processo de compostagem seja mais rápido é necessário adicionar materiais ricos em nitrogênio aos materiais com alta relação C/N. Adição de resíduos como esterco bovino, de ave e cavalo, restos de frutas, resíduos de leguminosas (como a crotalaria, soja e feijão) além de ajudarem a balancear a relação C/N são também fontes de nutrientes para o composto.

Referências Bibliográficas

- ECOCHÉM. Composting Process. Disponível em: <http://www.ecochem.com/t_compost_faq2.html>. Acesso em: 20 dez. 2004.
- KIEHL, E. J. *Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto*. Piracicaba: [s. n.], 1998. 172 p.
- LIANG, C.; DAS, K. C.; McCLENDON, R. W. The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic activity of a biosolids composting blend. *Bioresource Technology*, College Station, v. 86, p. 131-137, 2003.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H. e QUAGGIO, J. A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: IAC, 2001.
- RODRIGUES, M. S. Resíduos orgânicos como matéria-prima para compostagem. In: SIMPÓSIO SOBRE COMPOSTAGEM SICOM, 1., 2004, Botucatu, SP. Ciência e Tecnologia. *Anais...* Botucatu: UNESP, 2004. CD-ROM.
- SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; ROIG, A.; PAREDES, C.; BERNAL, M. P. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Bioresource Technology*, Essex, v. 78, p. 301-308, 2001.
- SILVA, W. T. L. da.; NOVAES, A. P. de.; MARTIN-NETO, L.; MILORI, D. M. B. P.; SIMÕES, M. L.; HANEDA, R. N.; FIALHO, L. L.; LEONELLI, F. C. V. *Método de aproveitamento biossólido proveniente de lodo de esgoto residencial através de processo de compostagem seguido de biodigestão anaeróbia*. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2004. 50 p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Documentos, 13).

Circular Técnica, 29

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Instrumentação Agropecuária
Rua XV de Novembro, 1542 - Caixa Postal 741
CEP 13560-970 - São Carlos-SP
Fone: 16 3374 2477
Fax: 16 3372 5958
E-mail: sac@cnpdia.embrapa.br
www.cnpdia.embrapa.br

1a. edição
1a. impressão 2005: tiragem 300

Comitê de Publicações

Presidente: Dr. Carlos Manoel Pedro Vaz
Secretária Executiva: Valéria de Fátima Cardoso
Membros: Dra. Débora Marcondes B. P. Milori,
Dr. João de Mendonça Naimé,
Dr. Washington Luiz de Barros Melo

Membro Suplente: Dr. Paulo S. P. Herrmann Junior

Expediente

Supervisor editorial: Dr. Victor Bertucci Neto
Revisão de texto: Dr. Victor Bertucci Neto
Normalização bibliográfica: Valéria de Fátima Cardoso
Tratamento das ilustrações: Valentim Monzane
Editoração eletrônica: Valentim Monzane