



Foto: Lucimar Lopes Fialho

## A Espectroscopia Fotoacústica como Técnica para o Monitoramento do Processo de Compostagem

Washington Luiz de Barros Melo  
Davi Ambrozio Lóio  
Lucimar Lopes Fialho  
Wilson Tadeu L. Silva  
Ladislau Martin Neto

### Introdução

A compostagem é definida como uma reação de biooxidação aeróbia exotérmica caracterizada pela produção de  $\text{CO}_2$ , água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável a partir de um substrato orgânico heterogêneo, geralmente, no estado sólido (FERNANDES e SILVA, 1996). Tem como principal produto o húmus. Esse material pode melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo suprimindo algumas necessidades destes. Deve ter características e propriedades que não tornem o produto inadequado ao uso agrícola. O estado de maturação do composto é de fundamental importância como condicionador de solos e principalmente fornecedor de nutrientes às plantas e ao crescimento destas (KIEHL, 1998).

Para se obter um composto de boa qualidade é necessário que os resíduos compostados apresentem um conteúdo apropriado de nitrogênio e carbono, possibilitando o crescimento e as atividades dos microrganismos que participam do processo. Teoricamente, esses microrganismos absorvem o carbono e o nitrogênio na razão de 30:1, isto é, trinta partes do primeiro para uma parte do segundo. Mas na prática, considera-se o intervalo entre 26:1 a 35:1, isto é, as razões C/N mais recomendadas. Resíduos com razões C/N baixas indicam que estes perdem nitrogênio na forma amoniacal durante o processo de compostagem, prejudicando a qualidade do composto. No caso contrário, quando eles possuem C/N alta, implica num processo demorado e o produto final terá baixos teores de matéria orgânica. A correção disso pode ser pelo acréscimo de materiais ricos em nitrogênio tais como esterco, tortas vegetais, entre outros (CARVALHO, [200-]). Independentemente da C/N inicial, no final do desenvolvimento do processo de compostagem esta razão

converge para valores entre 10 e 20, devido às perdas maiores de carbono que de nitrogênio (FERNANDES e SILVA, 1996).

Diversas metodologias para estudar os materiais advindos da compostagem foram criadas, entre elas se encontram metodologias baseadas em técnicas espectroscópicas como, por exemplo, as espectroscopias de fluorescência no UV-visível (OLK et al., 2000; PEURAVUORI et al., 2002; SENESI et al., 1991), de Infravermelho (AMALFITANO et al., 1992; STEVENSON, 1994; MIIKKI et al., 1997), ressonância paramagnética eletrônica (EPR) (GUIMARÃES et al., 2001; CZECHOWSKI et al., 2004), entre outras. Essas são usadas, principalmente, para caracterizar as substâncias húmicas quanto ao grau de humificação. A exemplo disso, um método para obter o grau de humificação se baseia na determinação da concentração de radicais livres orgânicos por EPR. Notou-se que a concentração destes radicais aumenta enquanto o processo avança (MARTIN-NETO et al., 1998; OLK et al., 2000) e pode ser um parâmetro de qualificação de adubos orgânicos. Para o uso dessas técnicas, é necessário extrair componentes da matéria orgânica (MO), como o ácido húmico (AH) e outros, através do processo descrito por Swift (1996) que usa substâncias químicas, purificação por membranas osmótica e água em grande quantidade. Comparativamente, o volume de água por massa do material extraído é muito grande, dezenas de litros para alguns gramas de amostra. Esse processo dificulta análise sistemática, pois se trata de um processo moroso, destrutivo e de alto custo.

Neste trabalho, apresenta-se uma metodologia baseada na espectroscopia fototérmica a espectroscopia fotoacústica (PAS) - para monitorar o processo de decomposição da poda de árvore e sua associação com

<sup>1</sup>Física, Dr., Pesquisador, Embrapa Instrumentação Agropecuária, C.P. 741, CEP 13560-970, São Carlos, SP, wlbmelo@cnpdia.embrapa.br

<sup>2</sup>Garduoando em Engenharia Ambiental, USP/São Carlos, davi.sc.usp@gmail.com

<sup>3</sup>Química, Dra., pós-doc, Embrapa Instrumentação Agropecuária, C.P. 741, CEP 13560-970, São Carlos, SP, lucimar@cnpdia.embrapa.br

<sup>4</sup>Química, Dr., Analista, Embrapa Instrumentação Agropecuária, C.P. 741, CEP 13560-970, São Carlos, SP, wilson@cnpdia.embrapa.br

<sup>5</sup>Física, Dr., Pesquisador, Embrapa Instrumentação Agropecuária, C.P. 741, CEP 13560-970, São Carlos, SP, martin@cnpdia.embrapa.br

resíduos da agroindústria. Com esta, pretende-se determinar parâmetros indicadores da evolução da compostagem, identificar o resíduo mais eficiente no processo e comparar os dados obtidos com aqueles da evolução de temperatura das leiras e de suas curvas das razões  $C/N$ .

A técnica fotoacústica (PA) faz parte da família de técnicas fototérmicas, tornando-se amplamente conhecida a partir da década de 70 após os trabalhos de Rosenzweig e Gersho (1976) em sólidos. As técnicas fototérmicas são largamente usadas nos estudos de espectroscopia óptica e de caracterização térmica de materiais nos diversos estados, especificamente em sólidos (MELO, 1992). A PAS se baseia no *efeito fotoacústico* que surge quando a luz modulada incide sobre uma amostra dentro de uma câmara fechada e cheia de gás. A luz é absorvida pela amostra que se aquece periodicamente causando um fluxo periódico de calor dela para o gás, resultando numa variação de pressão deste. Essa variação de pressão é detectada por um microfone dentro da câmara fotoacústica sendo proporcional aos coeficientes de absorção dos cromóforos que compõem a amostra. A grande vantagem da técnica PAS é ser não destrutiva e não requerer tratamento prévio da amostra como o processo de extração da MO. Assim, a PA é uma forte candidata a auxiliar na elucidação do processo de compostagem.

#### Materiais e Métodos

Para realizar este trabalho, foram usadas amostras de compostos preparadas por Fialho (2007). Para isso, montaram-se algumas leiras sendo a **Leira 1 (L1)** - poda de árvores, substrato original, enquanto as leiras compostas com diferentes resíduos são: **Leiras 2, 3 e 4 (L2), (L3) e (L4)**, poda de árvores com esterco bovino fresco, com bagaço de laranja e com torta de filtro de usina de cana-de-açúcar, respectivamente. A proporção do substrato e dos resíduos na mistura em massa seca foi cerca de 1:1. Carvalho (2001) recomenda que as proporções entre resíduos e, por exemplo, esterco seja 3:1 para satisfazer a razão  $C/N$  ideal. Mesmo com a proporção

acima mencionada, as razões  $C/N$  das três últimas leiras ficaram dentro do intervalo esperado.

A partir do momento da montagem das leiras, tempo ( $t_0$ ), coletou-se cerca de 1,0 kg de material do interior das leiras, repetindo-se a cada 30 dias durante 210 dias, sendo  $t_0$ ,  $t_{30}$ ,  $t_{60}$ ,  $t_{90}$ ,  $t_{120}$ ,  $t_{150}$ ,  $t_{180}$  e  $t_{210}$  as designações dos períodos. As amostras coletadas mensalmente foram secas em estufa a 60°C até a massa constante, depois trituradas em moinho de facas e peneiradas para granulometria abaixo de 500  $\mu$ m. Todos os dias ao amanhecer, fazia-se a medição da temperatura em pontos diferentes das leiras. A cada período, fazia-se a determinação da razão  $C/N$  para acompanhar a evolução do processo de compostagem.

Para obter os espectros fotoacústicos, repeneirou-se o material para a granulometria abaixo de 250  $\mu$ m. Para cada período de tempo e por leiras, preparou-se de 4 a 8 pastilhas com cerca de 150 mg, diâmetro de 12 mm e espessura em torno de 1,0 mm cada. As pastilhas foram inseridas, uma por vez, na câmara fotoacústica do espectrômetro fototérmico da Embrapa Instrumentação Agropecuária.

Esse espectrômetro é composto principalmente por: uma fonte de luz (xenônio de 450W- ScienceTech); monocromador ScienceTech (intervalo espectral do infravermelho próximo ao ultravioleta); obturador; discos de filtros ópticos para eliminar *overtones*; lentes de colimação; modulador de luz (*chopper* ORIEL); cabo de fibra óptica bifurcado de quartzo (ORIEL) de alto grau; duas câmaras PA construídas na oficina da Embrapa Instrumentação Agropecuária contendo microfone falcon-B&K. Uma câmara serve para captar o sinal da amostra e a outra o sinal da referência; dois amplificadores tipo *lock-in* (RS530) para minimizar os ruídos dos sinais; interfaceado a um computador PC munido de um programa de aquisição de dados. A Figura 1 apresenta o diagrama esquemático do espectrômetro fotoacústico da Embrapa Instrumentação Agropecuária. Os espectros PA foram obtidos no intervalo de comprimento de onda de 300 a 1000 nm normalizados em relação sinal PA de referência do carvão vegetal em pó prensado. Esta normalização é necessária a fim remover a influência do espectro da lâmpada de xenônio no sinal da amostra.

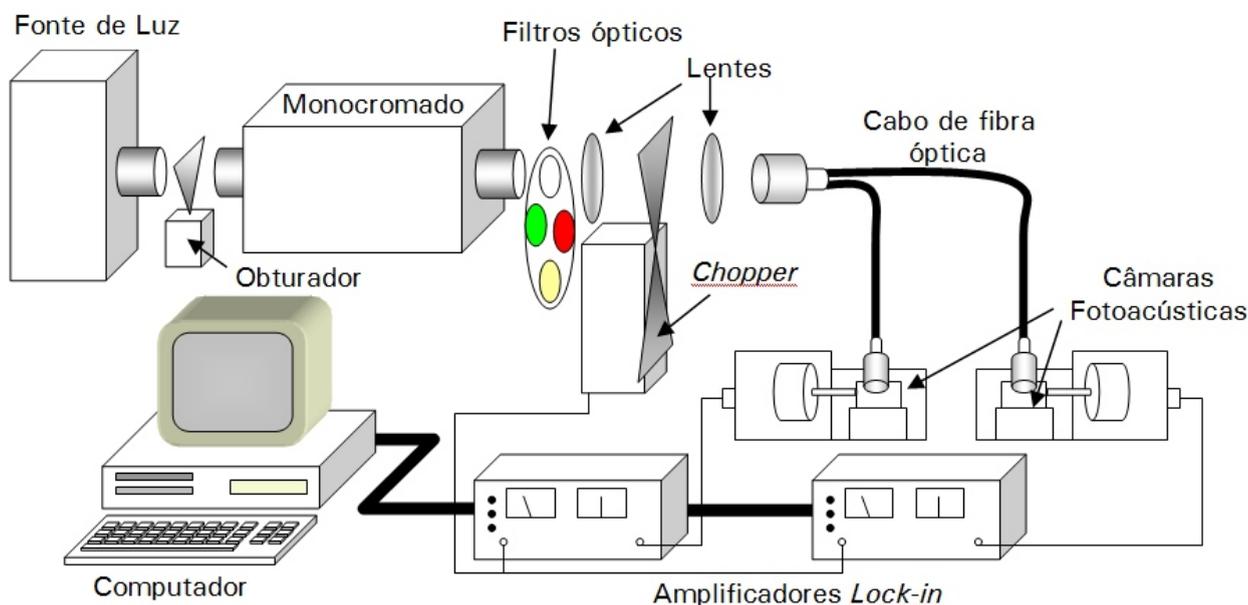


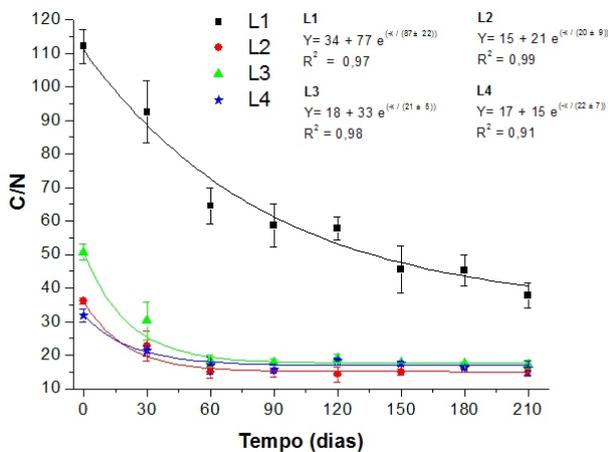
Fig. 1. Esquema do espectrômetro fotoacústico montado na Embrapa Instrumentação Agropecuária.

## Resultados e Discussões

A Figura 2 apresenta as curvas das razões C/N para as quatro leiras. Nota-se que todas decaem exponencialmente com as constantes de tempo diferenciadas. A leira L1 mostrou o maior decaimento e não alcançou o comportamento assintótico durante o período, ficando com a razão C/N acima de 30:1. Isto indica que o processo não foi totalmente concluído durante todo experimento, restando ainda material a digerir. Sua constante de tempo se aproximou de 90 dias, enquanto as demais ficaram pouco acima de 20 dias. Esta constante de tempo indica que durante esse período o processo atingiu cerca de 36%, ficando aproximadamente 64% para a conclusão.

Analisando a equação de ajuste, nota-se que para tempo mais longo de compostagem, a razão C/N se aproximaria de 34 (*offset* de ajuste), entrando no intervalo prático, mas não estabilizado. Segundo Souza et al. (2001), a falta de meios de fermentação em quantidade ou qualidade adequada, não impede o processo de compostagem, somente causará um prolongamento no processo.

Nota-se que as demais leiras iniciam com as razões C/N aproximadamente dentro do intervalo especificado para uma boa compostagem. Verifica-se que após 60 dias, essas leiras já apresentavam um comportamento assintótico, isto é, as razões C/N se estabilizaram dentro do intervalo de valores esperados.



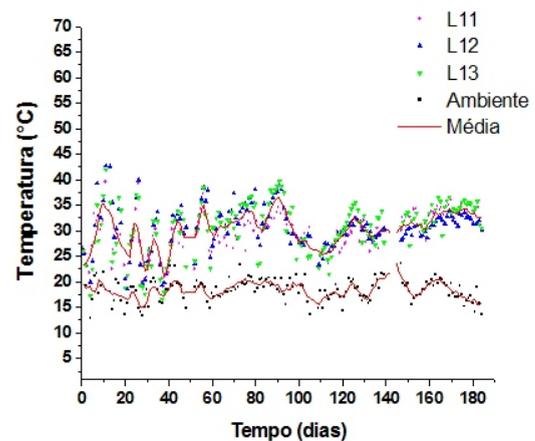
**Fig. 2.** Curvas das razões C/N versus tempo de compostagem. Os pontos são valores determinados, enquanto as linhas contínuas são os melhores ajustes obtidos pelas equações na legenda interna à Figura.

Um outro parâmetro indicativo do processo de compostagem é a temperatura. A evolução de temperatura nas leiras é devido à influência de fatores que atuam no processo de decomposição. Isto é, a presença de microrganismos, oxigênio, umidade, granulometria adequada e materiais na razão C/N ideal (30/1) proporcionará o desenvolvimento de calor, indicando que o processo se iniciou (CARVALHO, [200-]). As Figuras 3 a 6 apresentam as medições de temperaturas obtidas em diferentes pontos das quatro leiras e também da temperatura ambiente, como indicado na legenda interna às Figuras.

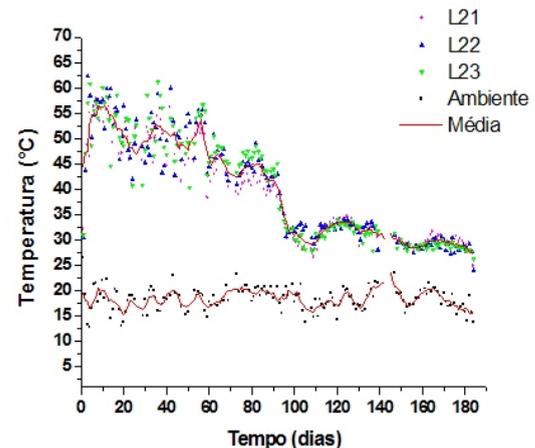
Nota-se que a leira L1 teve oscilações de temperaturas em torno de 30°C, enquanto o ambiente estava por volta de 20°C. Esta condição é considerada fraca ou inadequada ao processo, o que é justificada pelo

longo tempo de decomposição. Mesmo sendo baixa a reação exotérmica, acredita-se houve modificações estruturais no material da leira já que houve aumento da temperatura acima da ambiente. Possivelmente ocorreria uma fase termofílica de baixa intensidade, mas devido à baixa produção de calor no processo, deve ter ocorrido propagação de parte deste para o ambiente de um dia para o outro, restando apenas a temperatura residual. O que justifica o nível quase constante de temperatura da leira, assim não possibilitando a detecção desta fase.

Nas demais leiras se observam as fases típicas da compostagem. Na leira L2 houve a evolução rápida da temperatura seguida de uma flutuação por volta de 20 a 30 dias. Em seguida o decaimento lento até próximo de 90 dias, após isto, ocorreu o decaimento quase abrupto da temperatura indicando o início da fase de maturação. Na leira L3, observou-se um aumento de temperatura seguido por variações até próximo de 90 dias quando ocorreu decréscimo quase abrupto da temperatura, mantendo-se em média próximo de 30°C. O que indica a fase de maturação. Já a leira L4, apresentou um rápido aumento de temperatura logo nos primeiros dias, seguido de lento decaimento ao longo do tempo do experimento. Observa-se nas curvas de temperatura dessas três leiras que há uma espécie de *overshoot* de temperatura ocorrendo em tempos diferentes. Este fenômeno é mais perceptível nas leiras L2 e L3. O *overshoot* de temperatura é quando a temperatura sobe além do valor estável, também chamado de transiente de temperatura.



**Fig. 3** Variação de temperatura da leira L1 versus tempo (pontos). Linhas contínuas são as temperaturas médias.



**Fig. 4.** Variação de temperatura da leira L2 versus tempo (pontos). Linhas contínuas são as temperaturas médias.

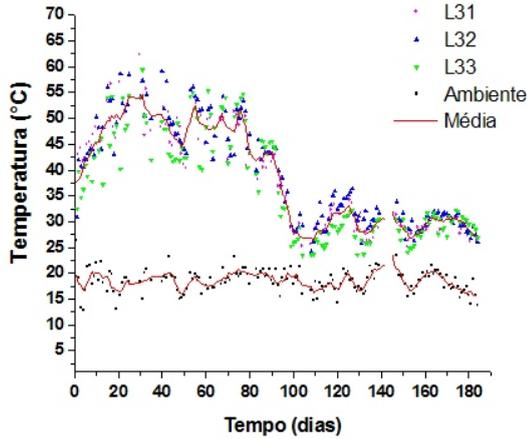


Fig. 5. Variação de temperatura da leira L3 versus tempo (pontos). Linhas contínuas são as temperaturas médias.

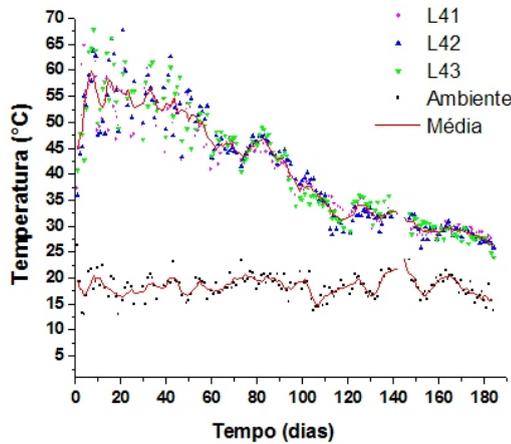


Fig. 6. Variação de temperatura da leira L4 versus tempo (pontos). Linhas contínuas são as temperaturas médias.

Já os resultados fotoacústicos estão apresentados nas Figuras 7 a 10, foram obtidos a partir da determinação das áreas sobre as curvas espectrais médias. Os espectros dos materiais das leiras sofreram mudanças enquanto o processo de decomposição ocorria ao longo do tempo. Estas mudanças refletiram nas amplitudes e posições das bandas de absorção do composto. Portanto, elas estão diretamente relacionadas ao crescimento dos microrganismos e outros fatores já mencionados. À medida que o material foi decomposto pelos microrganismos, alterações estruturais ocorreram causando mudanças espectroscópicas, as quais foram captadas e convertidas em sinais fotoacústicos.

Devido ao paralelo entre o aumento da população de microrganismos e a alteração espectral, resolveu-se ajustar a equação logística de Verhulst (KATO e BELLINI, 2009) (Eq.1) aos pontos representando as áreas espectrais. Esta equação trata do crescimento de uma população sujeita a flutuações causadas por diversos fatores bióticos ou abióticos. Assim, as taxas de natalidade e mortalidade variam em função da própria população e da capacidade suporte do meio. O paralelo entre os fenômenos reside no aumento da concentração de cromóforos que altera a área espectral. Assim, quando o espectro tende a estabilização, então implica numa diminuição da atividade microbiana e de sua população, conseqüentemente, a formação de compostos húmicos estáveis.

A Equação Logística é expressa como:

$$y(t) = \frac{K}{1 + \frac{K}{N} e^{-\frac{t}{r}}} y_0 \quad (1)$$

Sendo  $K$  representa a população máxima conforme a capacidade suporte do meio, às vezes chamado de capacidade do meio para o crescimento. Para o sinal PA,  $K$  representa a energia máxima absorvida pela amostra. A população inicial é representada por  $N$ , para PA este é a mínima energia absorvida pelo material devido à baixa concentração dos pigmentos absorvedores;  $r$  é a constante de tempo, enquanto  $1/r$  é a taxa de crescimento ou de declínio da população,  $t$  é variável temporal e  $y_0$  é o *offset* fototérmico do sinal fotoacústico.

No caso de crescimento microbiano, pode-se determinar um outro parâmetro importante, a variação máxima temporal de crescimento microbiano no processo de decomposição ou apenas variação máxima,  $t_m$ . Este parâmetro determina o instante  $t_m$  em que a população microbiana atinge a variação máxima. Após alcançar  $t_m$ , a quantidade de indivíduo começa a declinar. Isto corresponde ao ponto de inflexão da Logística (KATO e BELLINI, 2009). Analogamente ao crescimento da população de pigmentos absorvedores de luz do material compostado sob ação microbiana, o espectro PA acompanhando esse fenômeno, também apresenta um parâmetro similar a variação máxima,  $t_m$ , isto é, o ponto de inflexão da curva da áreas espectrais.

As Figuras 7 a 10 mostram as curvas correspondentes aos valores das áreas sob as curvas espectrais das leiras, L1, L2, L3 e L4 versus períodos de processamento. As curvas contínuas são os melhores ajustes obtidos usando a Equação 1, exceto para a L2 e L3 que foram ajustadas pela associação da Equação 1 e a equação de um pulso apresentada na legenda interna à figura, sendo  $A$  a amplitude,  $a$  o deslocamento e  $b$  a largura do transiente.

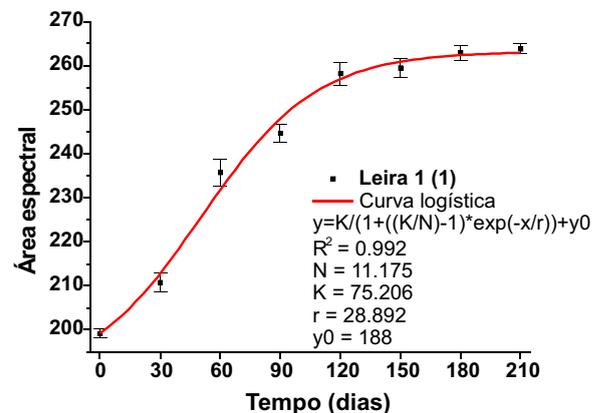


Fig. 7. Evolução do processo de compostagem da Leira 1.

Nota-se na Figura 7 que o processo começou lentamente e depois acelerou até o ponto de inflexão da curva, em seguida tendeu a estabilização fototérmica. Ajustando a Equação 1 aos dados fotoacústicos de L1, determinaram-se os valores de  $K$  e  $N$ , que podem ser relacionados a concentração de cromóforos que contribuíram para o sinal fotoacústico, que também pode relacionar ao grau de humificação através da razão  $K/N$ .

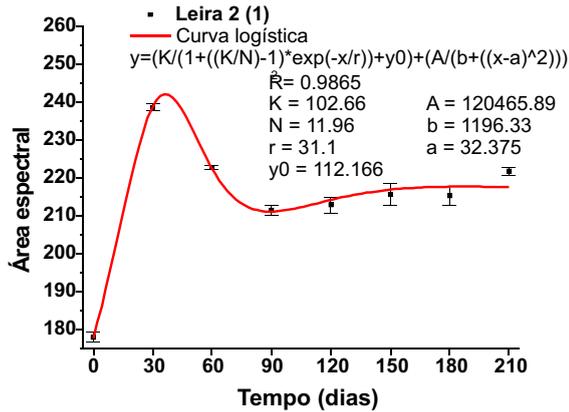


Fig. 8. Evolução do processo de compostagem da Leira 2.

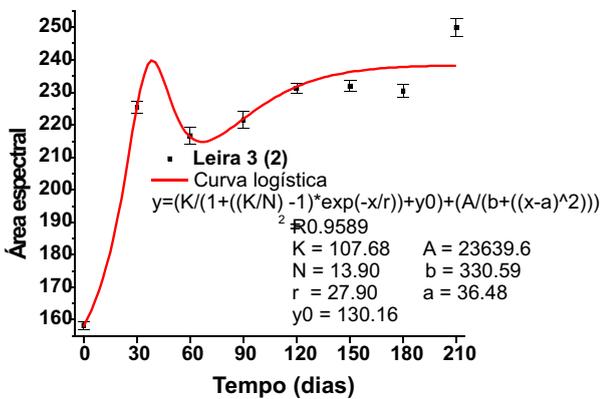


Fig. 9. Evolução do processo de compostagem da Leira 3.

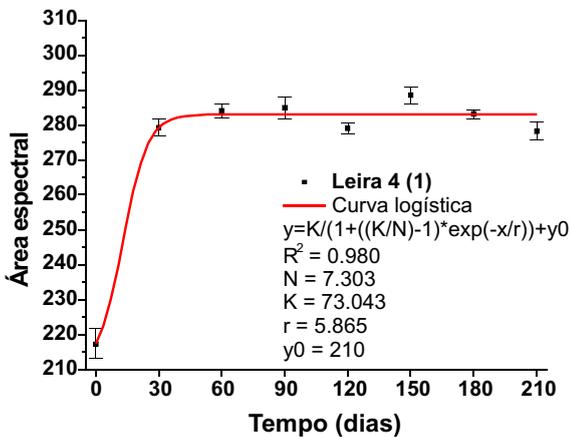


Fig. 10. Evolução do processo de compostagem da Leira 4.

Para as leiras L2 e L3, observa-se que nestas os sinais fotoacústicos sofreram o efeito de *overshoot*, indicando que a presença do esterco e do bagaço causaram mudanças significante no espectro no início do processo, tendendo a estabilização só depois de 120 dias. Nota-se que tal efeito foi mais acentuado em L2 do que em L3, acredita-se que seja por causa das diferenças estruturais e origens de cada composto. Como não houve pontos experimentais entre os trinta primeiros dias, então não ficou bem definido o efeito.

Os parâmetros de ajustes para o *overshoot* dessas leiras são bem distintos, indicando que foi mais intenso em L2, mas tendo os máximos ocorrendo praticamente na mesma posição, enquanto a largura foi intensa para L2. Possivelmente, essa largura seja devido

ao processo de decomposição do esterco depender de diferentes microrganismos e respectivas populações. A decomposição da poda ocorre em diferentes tempos, tendo como preferência o material lábio do esterco. Já na L3, o bagaço iniciava sua decomposição previamente, mas em baixa intensidade comparada a L2.

Pode-se notar, pela Figura 10, o crescimento rápido, comprovado pelos valores obtidos do ajuste pela Equação 1 para a L4. Pode-se observar que o espectro PA do material desta leira se estabilizou após 30 dias, o que diferencia fortemente das demais leiras.

Comparativamente, a curva de evolução de temperatura, Figura 6, também mostrou crescimento rápido como entrando imediatamente na fase termofílica, mas posteriormente sem decaimento brusco como é tradicionalmente esperado. Isto justifica plenamente o comportamento espectral apresentado na Figura 10.

Verifica-se ainda do ajuste de curva que o parâmetro *N* é próximo daquele de L1, que provavelmente outros agentes, além do biológico, estiveram envolvidos no processo. Pode ter havido o *overshoot* para esta leira, mas se o tempo de coleta foi maior do que o tempo do transiente, então, não foi observado.

A Tabela 1 resume os principais valores obtidos dos ajustes de Eq.1. Nota-se que a variação máxima, *t<sub>m</sub>*, para as L1 e L2 não foram determinados devido a incerteza causada pela presença do *overshoot*.

Tabela 1. Parâmetros obtidos dos ajustes de curvas através da Eq.1.

	<i>K/N</i>	<i>r</i> (dias)	<i>1/r</i> (dias <sup>-1</sup> )	<i>t<sub>m</sub></i> (dias)
L1	6,73	29	0,034	53
L2	8,58	31	0,032	-
L3	7,74	28	0,036	-
L4	10,00	06	0,145	16

Observa-se na tabela, especificamente a razão *K/N*, que a L4 foi mais efetiva em relação as outras, sendo a L1 a mais baixa, como se esperava. Esta razão pode ser correlacionada ao grau de humificação. Nota-se da tabela que o material da L1 apresentou o menor valor, indicando que a humificação não foi completamente realizada, como foi visto na curva da razão *C/N*. Assim, os dados PA estão em concordância com aqueles apresentados para as curvas de *C/N* e de temperaturas de cada leira. A coluna para *t<sub>m</sub>* não mostra os valores para as L2 e L3, isto porque a presença do *overshoot* causou incerteza na determinação da função que define tal grandeza temporal.

Conclusões

O processo de decomposição ocorreu dentro dos primeiros períodos, sendo mais rápido na L4. O efeito de *overshoot* ocorreu em L2 e L3 dificultando a determinação de parâmetros importantes. O uso da espectroscopia fotoacústica aliada à equação logística de Verhulst permitiu determinar a taxa de crescimento ou de evolução da compostagem, a razão *K/N* que pode servir como índice do grau de humificação, e ainda identificar fenômenos não perceptíveis por outras técnicas. Sem contar que não foi necessário fazer qualquer tratamento prévio, tal como extração que é uma tarefa morosa e dispendiosa.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à Embrapa, à FAPESP e ao CNPq pelos apoios estrutural, financeiro além de bolsa de doutorado e iniciação científica.

### Referências

- AMALFITANO, C.; PIGNALOSA, V.; AURIEMMA, L.; RAMUNNI, A. The contribution of lignin to the composition of humic acids from a wheat-straw amended soil during 3 years of incubation in pots. **The Journal of Soil Science**, Oxford, v. 43, p. 495-504, 1992.
- CARVALHO, G. J. **Compostagem de resíduos agrícolas**. [200-]. (Boletim Técnico, 17). Disponível em: <www.editora.ufla.br/BolExtensao/pdfBE/bol\_17.pdf >. Acesso em: 31 out. 2009.
- CZECHOWSKI, F.; GOLONKA, I.; JEZERSKI, A. Organic matter transformation in the environment investigated by quantitative electron paramagnetic resonance (EPR) spectroscopy: studies on lignins. **Spectrochimica Acta. Part A: Molecular And Biomolecular Spectroscopy**, Amsterdam, v. 60, p. 1387-1394, 2004.
- FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. da. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. [Londrina: UEL/PROSAB, 1996. 91 p.
- FIALHO, L. L. **Caracterização da matéria orgânica em processo de compostagem por métodos convencionais e espectroscópicos**. 2007. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.
- GUIMARÃES, E.; MANGRICH, A. S.; MACHADO, V. G.; TRAGHETTA, D. G.; LOBO, M. A. Criterious preparation and characterization of earthworm-composts in view of animal waste recycling. Part II. A synergistic utilization of EPR and <sup>1</sup>H NMR spectroscopies on the characterization of humic acids from vermicomposts. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 12, n. 6, p. 734-741, 2001.
- KATO, L. A.; BELLINI, M. Atribuição de significados biológicos às variáveis da equação logística: uma aplicação do cálculo nas ciências biológicas. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 15, n. 1, p. 175-88, 2009.
- KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba, 1998. 172 p.
- MARTIN-NETO, L.; ROSSEL, R.; SPOSITO, G. Correlation of spectroscopy indicators of humification with mean annual rainfall along a grassland climosequence. **Geoderma**, Amsterdam, v. 81, p. 305-311, 1998.
- MELO, W. L. B. **Contribuições às técnicas de espectroscopias fototérmicas e aplicações a materiais poliméricos**. 1992. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.
- MIKKI, V.; SENESI, N.; HÄNNINEN, K. Characterization of humic material formed by composting of domestic and industrial biowastes. Part 2 Spectroscopic evaluation of humic acid structures. **Chemosphere**, Oxford, v. 34, n. 8, p. 1639-1651, 1997.
- OLK, D. C.; BRUNETTI, G.; SENESI, N. Decrease in Humification of Organic Matter with Intensified Lowland Rice Cropping: A Wet Chemical and Spectroscopic Investigation. **Journal / Soil Science Society of América**, Madison, v. 64, p. 1337-1347, 2000.
- PEURAVUORI, J.; KOIVIKKO, R.; PIHLAIA, K. Characterization, differentiation and classification of aquatic humic matter separated with different sorbents: synchronous scanning fluorescence spectroscopy. **Water Research**, New York, v. 36, p. 45524562, 2002.
- ROSENCWAIG, A.; GERSHO, A. Theory of the Photoacoustic Effect with Solids. **J. Appl. Phys.**, [S. I.], v. 47, p. 64, 1976.
- SENESE, N.; MIANO, T. M.; PROVEZANO, M. R.; BRUNETTI, G. Characterization, differentiation, and classification of humic substances by fluorescence spectroscopy. **Soil Science**, Baltimore, v. 152, p. 259-271, 1991.
- SOUZA, F. A. de; AQUINO, A. M. de; RICCI, M. dos S. F.; FEIDEN, A. **Compostagem**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2001. 10 p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 50).
- STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: gênese, composition, reactions**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: John Wiley, 1994. 496 p.
- SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical methods**. Madison, WI: Soil Science Society of America, 1996. part 3. p. 1011-1069. (Book Series, 5).

### Comunicado Técnico, 108

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 2107 2800 - **Fax:** 16 2107 2902  
**e-mail:** sac@cnpdia.embrapa.br  
<http://www.cnpdia.embrapa.br>  
**1a. edição**  
 1a. impressão 2009: tiragem 300

Ministério da  
 Agricultura, Pecuária  
 e Abastecimento



### Comitê de Publicações

**Presidente:** Dr. Luiz Henrique Capparelli Mattoso  
**Membros:** Dra. Débora Marcondes B. P. Milori,  
 Dr. João de Mendonça Naime,  
 Dr. Washington Luiz de Barros Melo  
 Valéria de Fátima Cardoso

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

### Expediente

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