

Compostagem da fracção sólida do chorume com palha de azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) ou tojo (*Ulex europaeus* L.)

Composting cattle slurry solid fraction with Italian ryegrass straw (*Lolium multiflorum* Lam.) or gorse (*Ulex europaeus* L.)

L. M. Brito¹, A.L. Amaro¹, I. Mourão¹ & J. Coutinho²

RESUMO

A fracção sólida do chorume (FSC) de uma exploração de pecuária leiteira intensiva foi compostada com adição de doses crescentes de palha de azevém ou de tojo, em pilhas estáticas com três revolvimentos. A temperatura aumentou na FSC até 65 °C após o primeiro revolvimento mas as temperaturas máximas registaram-se mais cedo e foram mais elevadas nas pilhas com adição de palha ou de tojo. Estes materiais aumentaram as taxas de mineralização da matéria orgânica (MO) em todas as pilhas. No entanto, a MO potencialmente mineralizável e o teor de N orgânico nos compostos finais foram inferiores. A razão C/N diminuiu de forma semelhante para todas as pilhas de 32–38 no início do processo para 13–17 no final da compostagem. A baixa temperatura, a baixa razão C/N e a baixa concentração de NH_4^+ , em combinação com o aumento da concentração de NO_3^- dos compostos finais, indicaram que estes estavam estabilizados. O elevado teor de MO (784-832 g kg^{-1} MS) e de N total (28-35 g kg^{-1} MS) e a baixa condutividade eléctrica (0,72-1,16 dS m^{-1})

sugerem que os compostados da FSC podem ser utilizados como correctivos orgânicos do solo. A utilização de palha ou de tojo contribuiu para melhor garantir a higienização do composto.

Palavras-chave: Azoto, composto, matéria orgânica, mineralização, temperatura

ABSTRACT

Cattle slurry solid fraction (SF) was collected from a dairy farm (SF) and composted with increasing rates of Italian ryegrass straw or gorse, in static piles turned only three times. Temperatures increased to a maximum of 65 °C after the first turn in the pile only with SF. In contrast, higher temperatures were registered much sooner in piles mixed with straw or gorse. The addition of these bulking agents to SF increased temperatures and also the initial rates of organic matter (OM) mineralisation. In contrast, potential OM mineralisation and organic N content decreased.

¹ Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, IPVC, Refóios, 4990-706 Ponte de Lima – Tel: (+351) 258 909 740 – Fax: (+351) 258 909 779 – E-mail: miguelbrito@esa.ipvc.pt; ²Centro de Química. Dep Biologia e Ambiente, Univ. Trás-os-Montes e Alto Douro, ap 1013, 5000-911 Vila Real - E-mail: j_coutin@utad.pt

The C/N ratio declined following a similar pattern for all compost treatments, from 32–38 at the beginning of the process, to a value of 13–17 towards the end of composting. Stabilized compost was obtained from raw SF feedstock as indicated by the low compost temperature, low C/N ratio and the small content of NH_4^+ combined with increased concentrations of NO_3^- . The high concentration of OM (784-832 g kg^{-1}) and total N (28-35 g kg^{-1}) in final composts in addition to a low electrical conductivity (0.72-1.16 dS m^{-1}) suggests that SF composts may be effective as soil amendments. The use of straw or gorse contributed to guarantee compost sanitation.

Key-words: Compost, mineralisation, nitrogen, organic matter, temperature

INTRODUÇÃO

A separação entre a fracção sólida do chorume (FSC) e a fracção líquida tornou-se numa tecnologia com crescente utilização na gestão deste efluente da pecuária leiteira intensiva (Ford & Fleming, 2002) devido à melhoria que introduz nas suas propriedades de manuseamento, enquanto a FSC pode ser compostada para produzir um fertilizante rico em matéria orgânica e nutrientes. A FSC é constituída por um material fibroso, com porosidade que, dentro de certos limites, permite a entrada de ar na pilha em compostagem, a qual aumenta pela acção do fluxo ascendente de ar provocado pela produção de calor durante o processo de compostagem (Oenema *et al.*, 2001).

A utilização de resíduos vegetais grosseiros pode aumentar o arejamento e o fornecimento do oxigénio no interior da mistura em compostagem. O revolvimento das pilhas de compostagem também fornece

oxigénio para o processo de decomposição. No entanto, se realizado com demasiada frequência, pode aumentar as emissões de NH_3 e reduzir o valor agronómico do produto final, porque diminui a concentração de N. Eghball *et al.* (1997) e Tiquia & Tam (2000) encontraram na literatura referências a perdas de N entre 21% e 77%. Perdas semelhantes (16% - 74%) foram referidas por Raviv *et al.* (2004), sendo a maioria dessas perdas causada pela volatilização de NH_3 .

Existem diversos estudos que foram conduzidos com FSC de suínos (Tiquia *et al.*, 1997; Møller *et al.*, 2000; Fukumoto *et al.*, 2003; Huang *et al.*, 2006; Ross *et al.*, 2006). No entanto, as transformações da matéria orgânica e do azoto durante a compostagem da FCS de bovinos leiteiros não são bem conhecidas. Neste estudo, compara-se a evolução de características físicas e químicas no processo de compostagem da FSC, misturada com doses crescentes de palha de azevém ou de tojo, com o objectivo de obter um produto final higienizado, estabilizado, de elevada qualidade, rico em azoto e em matéria orgânica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Construíram-se 7 pilhas de compostagem de 1,5 m de altura, com FSC recolhida de uma exploração leiteira de Vila do Conde. A máquina separadora utilizada na extracção da FSC baseava-se na pressão provocada por um sem-fim que impulsiona os sólidos para a extremidade frontal da máquina, enquanto a fracção líquida atravessa um crivo que rodeia o sem-fim. Uma pilha foi construída exclusivamente com FSC, três com FSC misturada com doses crescentes de palha de azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) e três com doses crescentes de tojo (*Ulex europaeus*

L.). As doses crescentes (25%, 33% e 50% v/v) corresponderam em peso seco (p/p) a 14%, 20% e 34% para o azevém e a 10%, 14% e 24% para o tojo, respectivamente.

O revolvimento realizou-se manualmente com pás e ancinhos, aos 28, 56 e 112 dias de compostagem. As pilhas foram colocadas sobre uma tela de cobertura do solo de polietileno, para impedir a entrada de terra durante o revolvimento, e no interior de uma estufa de polietileno para impedir a entrada da água da chuva, mas possibilitando as trocas gasosas com o exterior. As temperaturas no centro das pilhas e do ambiente na estufa foram medidas em cada minuto com termístores (tipo ST1, Delta-T Devices).

Realizaram-se colheitas de quatro amostras por cada pilha nos seguintes dias de compostagem: 0, 14, 28, 56, 84, 112, 140 e 168, e recorreram-se às normas europeias (CEN, 1999) para a determinação das seguintes características: humidade, com base em 50 g de material original (EN 13040); pH utilizando extractos de 60 cm³ de amostra por 300 ml de água (EN 13037); condutividade eléctrica dos extractos aquosos (1:5, v/v), após filtragem (EN 13038); matéria orgânica (MO) por calcinação numa mufla a 550°C durante 4 horas (EN 13039); e azoto (N) Kjeldahl modificado (EN 13654; com um digestor Gerhardt-KT12S e uma unidade de destilação Vadopest-3). As características seleccionadas da FSC, da palha de azevém e do tojo, encontram-se no Quadro 1.

A concentração de carbono total, destina-

do ao cálculo da relação C/N, foi determinada pela fracção entre a concentração da matéria orgânica e a constante 1,8 (Gonçalves & Baptista, 2001). As perdas de MO (g kg⁻¹) foram estimadas pela fórmula:

$$1000 - 1000 [X_1 (1000 - X_2)] / [X_2 (1000 - X_1)]$$

em que X₁ e X₂ representam a percentagem de cinzas (g kg⁻¹), respectivamente, no início e no fim de cada período de compostagem (Paredes *et al.*, 2000).

Parte das amostras foram congeladas imediatamente após a colheita, para a determinação do azoto mineral, após extração com KCl 2M (1:5), por espectrofotometria de absorção molecular (Houba *et al.*, 1995), em autoanalisador de fluxo segmentado, sendo a concentração de N amoniacal determinada pela reacção de Berthelot e a de N nítrico através do reagente de Griess-Ilosvay, após redução em coluna de cádmio. Utilizou-se o método de Levenberg-Marquardt na análise de regressão não-linear da mineralização da MO e o método da menor diferença significativa para comparar as médias dos parâmetros químicos analisados, recorrendo-se ao programa SPSS versão 15.0. (SPSS Inc.).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fase termófila (> 50°C) da compostagem iniciou-se pouco tempo depois da construção das pilhas com FSC, alcançando temperaturas superiores a 60 °C mais rapidamente nas pilhas que incluíram palha ou tojo (Figura 1).

Quadro 1 - Características da FSC, da palha e do tojo. (média ± desvio padrão)

	MS (%)	pH	CE (dS m ⁻¹)	C/N	MO (g kg ⁻¹ MS)	N _{total} (g kg ⁻¹ MS)	N-NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹ MF)	N-NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹ MF)
FSC	25,4±1,2	8,7±0,1	0,9±0,06	38±4,1	909±5	13±1,3	1105±117	22±19
Palha	85,3±2,0	7,1±0,1	0,4±0,04	19±1,7	895±2	26±2,3	1948±200	506±50
Tojo	43,7±6,4	6,2±0,1	1,8±0,07	31±3,5	962±4	17±1,9	273±47	22±20

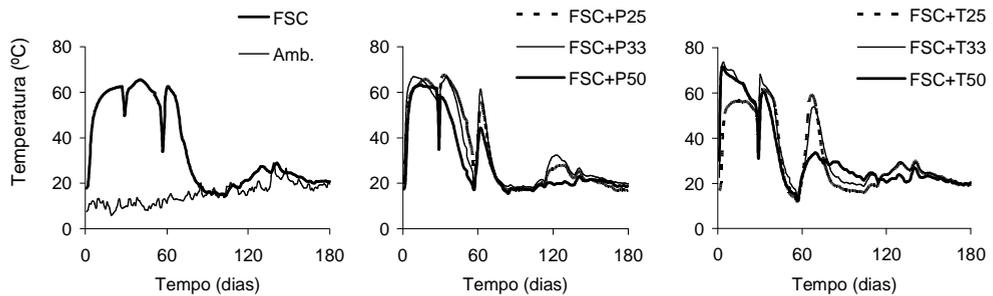


Figura 1 - Evolução da temperatura média diária (°C) do ambiente exterior e do interior das pilhas de compostagem da fracção sólida do chorume (FSC), e com doses crescentes (25%, 33%, 50%, v/v) de palha (P) e tojo (T). As pilhas foram reviradas aos 28, 56 e 112 dias de compostagem

A temperatura aumentou no tratamento só com FSC até à temperatura máxima diária de 65 °C após o primeiro revolvimento. No entanto, as temperaturas máximas foram registadas mais cedo e foram mais elevadas nas pilhas com mistura de palha ou de tojo, alcançando-se, respectivamente, 68 °C numa pilha com palha (25% v/v) ao 7º dia e 74 °C numa pilha com tojo (33% v/v) ao 3º dia de compostagem. Após 70 dias de compostagem as temperaturas diminuíram rapidamente até um valor próximo da temperatura ambiente, que foi alcançado em menos de três meses de compostagem. A temperatura da FSC durante a compostagem evoluiu como previsível (Inbar *et al.*, 1993 e Ross *et al.*, 2006), aumentando inicialmente, em consequência da degradação da MO facilmente disponível e diminuindo, posteriormente, à medida que a MO ficou menos disponível, indicando que o calor produzido pelas reacções exotérmicas associadas ao metabolismo microbiano diminuiu.

A compostagem da FSC poderá ter garantido a higienização do compostado e a eliminação das sementes viáveis de infestantes. Tchobanoglous *et al.* (1993) indicaram que a *Salmonella sp.* e a *Escherichia coli* podem ser destruídas em 15 a 20 minutos quando expostas a temperaturas de 60 °C, ou durante uma hora a 55 °C. Com temperaturas supe-

riores a 60 °C, o processo de compostagem pode eliminar todos os organismos patogénicos e as sementes viáveis de infestantes, o que é uma preocupação fundamental na aplicação directa do chorume ao solo. O aumento da temperatura nas pilhas da FSC misturada com as doses mais elevadas de tojo poderá ser explicado pelo maior arejamento que esteve associado ao aumento da porosidade da pilha e que terá facilitado a entrada de oxigénio para o seu interior.

A compostagem da FSC processou-se inicialmente com um teor de humidade de 74,6% apesar de ser recomendado, frequentemente, um valor máximo de 60% (Tchobanoglous *et al.*, 1993). O teor de humidade diminuiu com a adição das doses crescentes de tojo ou palha de azevém durante o processo de compostagem, mas foi sempre superior a 52% na pilha com FSC sem mistura (durante os 168 dias de compostagem) e a 42% nas restantes pilhas na fase mais activa da compostagem (até 84 dias de compostagem), donde se conclui que a compostagem da FSC pode processar-se sem recurso à rega.

O pH foi sempre alcalino, variando para o conjunto das 7 modalidades de tratamento, entre o máximo de 9 e o mínimo de 7,6. A condutividade eléctrica (CE) dos extractos aquosos variou entre 0,47 e 1,22 dS m⁻¹ para

o conjunto das pilhas, sem diferenças consistentes entre pilhas ou datas de compostagem, e variou entre 0,72-1,16 dS m⁻¹ nos compostos finais. De acordo com Tchobanoglous *et al.* (1993), o valor de pH não deveria ser superior a 8,5, de modo a minimizar as perdas de NH₃, valor que foi excedido em diversas ocasiões. No final da compostagem, o valor de pH variou entre 7,6 e 8,1 limitando o uso do compostado como substrato de propagação (Cáceres *et al.*, 2006). Em contraste com o pH, a reduzida CE dos compostos da FSC, bem como a sua porosidade, tornam o composto atractivo para ser utilizado como substituto parcial da turfa na composição de substratos para viveiros.

O teor MO no início da experiência foi, respectivamente: 909, 895 e 962 (g kg⁻¹ MS) para a FSC, a palha e o tojo, diminuindo em todas as pilhas até um valor mínimo de 784 g kg⁻¹MS, alcançado 168 dias após o início da compostagem na pilha exclusivamente de FSC e máximo de 832 g kg⁻¹MS na pilha com 50% (v/v) de tojo.

A mineralização da MO foi estimada pelas perdas de MO e obedeceu a uma cinética decrescente de 1ª ordem, que pode ser expressa pela seguinte equação:

$$MO_m = MO_0 (1 - e^{-kt})$$

em que MO_m representa o teor de matéria orgânica (g kg⁻¹) mineralizada no tempo t (dias), MO₀ representa o teor de MO potencialmente mineralizável (g kg⁻¹) e k representa a taxa de mineralização.

As perdas de MO (Figura 2) foram inicialmente elevadas, devido à rápida mineralização dos constituintes mais facilmente mineralizáveis, que ocorreu nos primeiros dois meses de compostagem. Posteriormente, o teor de MO estabilizou em todas as pilhas, indicando uma forte redução nos materiais orgânicos facilmente biodegradáveis.

A figura 2 indica que mais de metade da MO das pilhas com revolvimento foi perdida em consequência da mineralização num período de 2 meses de compostagem, mais rapidamente nas pilhas com tojo, nas quais cerca de 400 g kg⁻¹ MS foram perdidas em menos de 1 mês. No final da compostagem, a mineralização ultrapassou 600 g kg⁻¹ MS na pilha com FSC sem mistura, mas este valor foi inferior nas pilhas com palha. As taxas de mineralização, estimadas com base nas perdas de MO, foram sempre superiores com adição de tojo, em comparação com a palha de azevém.

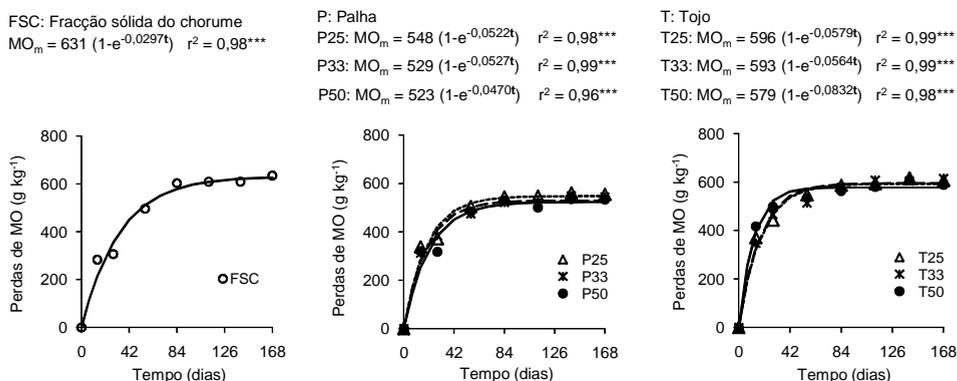


Figura 2 – Perdas de matéria orgânica (g kg⁻¹MS) das pilhas de compostagem da fracção sólida do chorume (FSC), com doses crescentes (25%, 33%, 50%, v/v) de palha (P) e tojo (T). MO_m representa o teor de MO (g kg⁻¹) mineralizada no tempo t (dias). ***P < 0,001

O facto de a MO ter sido mineralizada a uma taxa superior nas pilhas com tojo pode ser explicado pelo aumento do arejamento, causado pela estrutura do tojo, o que terá permitido o aumento da pressão parcial de oxigénio no interior das pilhas, aumentando assim a actividade metabólica dos microrganismos e a velocidade do processo de compostagem. As perdas de MO durante a compostagem da FSC foram semelhantes às perdas de 46% a 62%, referidas por Eghball *et al.* (1997) durante a compostagem de estrume bovino. Durante a compostagem, o teor de N orgânico na matéria seca aumentou com a diminuição da MO, de forma curvilínea (Figura 3), entre o mínimo de 13 g kg⁻¹ MS na pilha com FSC sem mistura, até ao valor máximo de 35 g kg⁻¹ MS no final da compostagem, registado no mesmo tratamento, e mínimo de 28 g kg⁻¹ MS nas pilhas com os teores mais elevados (50 % v/v) de palha e de tojo.

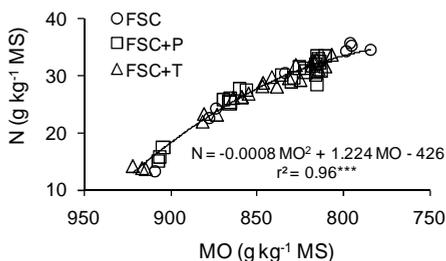


Figura 3 – Relação entre o teor de azoto orgânico e o teor de matéria orgânica na matéria seca (MS) das pilhas de compostagem da fracção sólida do chorume (FSC) incluindo com palha (P) ou tojo (T). ***P <0,001

A razão C/N diminuiu entre 38 na pilha com FSC sem mistura ou 32-36 nas pilhas com palha e 37-38 nas pilhas com tojo, no início da compostagem, até um valor mínimo de 13 no final da compostagem na pilha com FSC sem mistura, e valores

variáveis entre 15 e 16 nas pilhas com palha e entre 14 e 17 nas pilhas com tojo (Quadro 2). A acentuada decomposição da MO na fase inicial da compostagem foi responsável pela rápida concentração de N nesta fase e pela diminuição da razão C/N, a qual decaiu para valores geralmente inferiores a 20 em menos de um mês.

A razão C/N tem sido utilizada como indicador do grau de decomposição dos materiais orgânicos (Larney & Hao, 2007), excepto para materiais de baixa razão C/N. Diversos autores apontaram valores da razão C/N inferiores a 20 como indicadores de uma maturação aceitável (Cardenas & Wang, 1980; Larney & Hao, 2007). Nestes ensaios, a razão C/N pouco variou entre as sete modalidades de compostagem consideradas e diminuiu até valores de 13 a 17, parecendo indicar um elevado grau de estabilização do composto final (Zucchini & Bertoldi, 1987; Bernal *et al.*, 1998). No final da compostagem, o teor de N total no composto foi, em todas as pilhas, muito superior à concentração de N da maioria dos compostos comerciais produzidos em climas quentes (15g kg⁻¹ MS) referido por Hadas & Portnoy (1997).

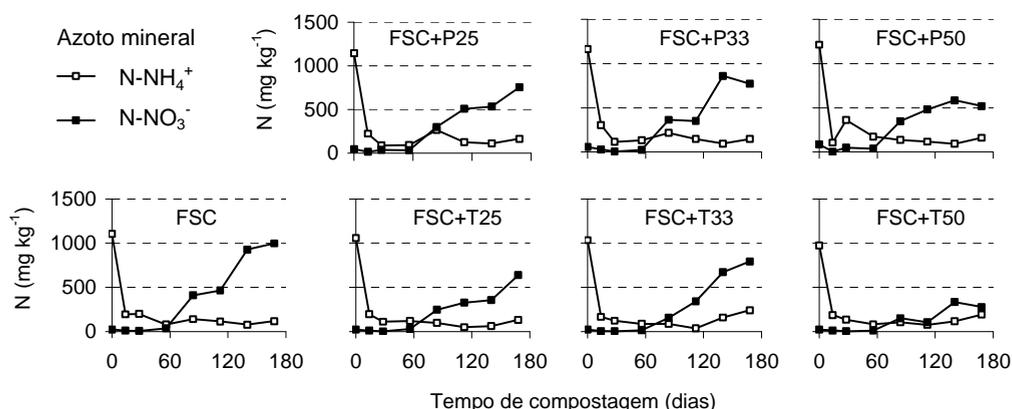
No início da compostagem da FSC, o teor de N-NO₃⁻ foi muito baixo, 22 mg kg⁻¹ MF nas pilhas sem mistura e nas pilhas com tojo, e foi um pouco mais elevado (45-85 mg kg⁻¹ MF) nas pilhas com palha de azevém. Pelo contrário, o teor de N-NH₄⁺ foi muito elevado no início da compostagem na FSC (1104 mg kg⁻¹ MF), e mais elevado nas pilhas com palha (1145-1224 mg kg⁻¹ MF) do que nas pilhas com tojo (1057-976 mg kg⁻¹), como se verifica pela Figura 4. Duas semanas após o início da compostagem, o teor de N-NH₄⁺ diminuiu acentuadamente em todas as pilhas, sendo muito baixo no final da fase mais activa da compostagem (Figura 4).

Quadro 2 – Razão C/N das pilhas de compostagem da fracção sólida do chorume (FSC) com doses crescentes (25%, 33%, 50%, v/v) de palha (P) e tojo (T)

Tratamento	data de amostragem							
	0	14	28	56	84	112	140	168
SF	38,4	21,6	20,1	15,2	12,9	12,5	12,4	12,6
SF+S25	35,6	18,9	17,3	15,5	14,2	13,6	13,5	14,6
SF+S33	34,6	18,8	17,3	15,5	14,6	14,9	14,0	14,6
SF+S50	32,0	18,5	19,1	15,9	15,1	14,6	13,9	15,9
SF+G25	37,7	21,0	18,2	15,6	14,3	13,7	13,3	14,2
SF+G33	37,4	22,3	18,1	16,7	14,4	13,9	13,8	14,5
SF+G50	36,8	20,9	18,3	17,6	16,3	15,6	15,6	16,5

Entre dois e três meses após o início da compostagem, o teor de N-NO_3^- ultrapassou o teor de N-NH_4^+ em todas as pilhas. No final da compostagem, o teor de N-NO_3^- variou entre 500 e 1000 mg kg^{-1} MF, com a excepção da pilha com a dose mais elevada de tojo. Os riscos de lixiviação foram muito reduzidos, quer durante a fase termófila da compostagem, porque o teor de nitratos era muito baixo, quer durante a maturação, porque apesar da concentração de NO_3^- ter aumentado, não se verificou um teor de humidade que provocasse a sua lixiviação por água de escorrência.

O elevado valor pH e a temperatura elevada durante o processo de compostagem da FSC podem ter condicionado o balanço $\text{NH}_4^+:\text{NH}_3$ e a emissão de NH_3 . No entanto, a volatilização de NH_3 pode ter sido limitada pela imobilização de N mineral nos microrganismos decompositores e pelo reduzido número de revolvimentos das pilhas. Outro factor que aponta para perdas de N reduzidas, deve-se ao facto do teor de N orgânico durante a compostagem da FSC ter aumentado entre um factor de 2 e 2,7 e a quantidade de MO ter sido reduzida, respectivamente, para 0,48 a 0,37 da inicial.

**Figura 4** – Evolução do N mineral, na matéria fresca, durante a compostagem da fracção sólida do chorume (FSC) com doses crescentes (25%, 33%, 50%, v/v) de palha (P) e tojo (T)

Assim, a principal vantagem do revolvimento será o seu contributo para a homogeneização da pilha, transportando os materiais que estavam no exterior, para o seu interior, o que pode ser realizado quando o teor de N amoniacal é mais baixo. A baixa concentração de $N-NH_4^+$ e o aumento de concentração de $N-NO_3^-$ no final do período de compostagem, em combinação com a baixa razão C/N e a descida de temperatura, sugerem que o compostado estava bem estabilizado aos 168 dias de processo.

CONCLUSÕES

A temperatura que se verificou na generalidade das pilhas de compostagem terá garantido a higienização dos compostados finais e sugere que um número reduzido de revolvimentos poderá ser suficiente no processo de compostagem da FSC. Considerando que o teor de N aumentou na mesma proporção que a redução da MO, conclui-se que a FSC pode ser compostada com perdas mínimas de N. A redução do número de revolvimentos na fase termófila da compostagem diminui, ainda, o custo da compostagem e o risco de dissecação excessiva das pilhas. A utilização de palha e tojo aumentou a temperatura, facto que poderá ter contribuído para uma mais efectiva higienização dos compostos da FSC.

A concentração de nitratos foi baixa na fase inicial da compostagem. Por isso, os riscos de perdas de N por lixiviação foram praticamente inexistentes nos primeiros meses de compostagem, mas também posteriormente porque o teor de humidade não foi suficientemente elevado para ocorrer a lixiviação de nitratos.

As características físicas e químicas da FSC durante a compostagem evidenciaram que é possível estabilizar a MO e garantir a higienização do compostado final, o qual

pode ter utilização como correctivo orgânico do solo como sugerem o seu pH ligeiramente alcalino, baixa condutividade eléctrica e elevados teores em N orgânico e MO.

AGRADECIMENTOS

Este projecto foi apoiado pelo projecto AGRO 794, financiado pela União Europeia e pelo Instituto Nacional de Investigação Agrária de Portugal (INIAP).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bernal, M. P., Paredes, C., Sánchez-Monedero, M. A., & Cegarra, J. 1998. Maturity and stability parameters of compost prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology*, 63: 91-99.
- Cáceres, R., Flotats, X. & Marfà, O. 2006. Changes in the chemical and physico-chemical properties of the solid fraction of cattle slurry during composting using different aeration strategies. *Waste Management*, 26: 1081-1091.
- Cardenas, R.R. & Wang, L.K. 1980. Composting process. In *Handbook of Environmental Engineering*, Vol. II. pp. 269-327. The Human Press, New York.
- CEN, 1999. European Standards - soil improvers and growing media. European Committee for Standardization.
- Eghball, B., Power, J. F., Gilley, J. E. & Doran, J. W. 1997. Nutrient, carbon, and mass loss during composting of beef cattle feedlot manure, *Journal of Environmental Quality*, 26: 189-193.
- Ford, M. & Fleming, R. 2002. Mechanical solid-liquid separation of livestock manure. Literature review. In Report to Ontario Pork, Case Study 7 - Screw Press. Ridgetown College, University of

- Guelph.
- Fukumoto, Y., Osada, T., Hanajima, D. & Haga, K. 2003. Patterns and quantities of NH₃, N₂O and CH₄ emissions during swine manure composting without forced aeration—effect of compost pile scale. *Bioresource Technology*, 89: 109-14.
- Gonçalves, M. S. & Baptista, M. 2001. Proposta de regulamentação sobre qualidade do composto para utilização na agricultura. Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva, INIA, MADRP, Lisboa.
- Hadas, A. & Portnoy R. 1997. Rates of decomposition in soil and release of available nitrogen from cattle manure and municipal waste compost. matter and nitrogen conservation in manure compost for organic agriculture. *Compost Science & Utilization*, 53: 48-54.
- Houba, V.J.G., Van der Lee, J.J. & Novozamsky, I. 1995. Soil Analysis Procedures – Other Procedures, part 5B, sixth ed. Department of Soil Science and Plant Nutrition, Wageningen Agricultural University, Netherlands.
- Huang, G.F. Wu, Q.T., Wong, J.W.C. & Nagar B.B. 2006. Transformation of organic matter during co-composting of pig manure with sawdust. *Bioresource Technology*, 97: 1834–1842.
- Inbar, Y., Hadar, Y. & Chen, Y. 1993. Recycling of cattle manure, the composting process and characterization of maturity. *Journal of Environmental Quality*, 22: 857–863.
- Larney, F.J. & Hao, X. 2007. A review of composting as a management alternative for beef cattle feedlot manure in southern Alberta, Canada. *Bioresource Technology*, 98: 3221–3227.
- Møller, H.B., Lund, I. & Sommer, S.G. 2000. Solid–liquid separation of livestock slurry: efficiency and cost. *Bioresource Technology*, 74: 223–229.
- Oenema, O., Bannink, A., Sommer, S.G. & Velhof, G.L. 2001. Gaseous nitrogen emissions from livestock farming systems. In Follett, R.F. & Hartfield, J.L. (eds), *Nitrogen in the Environment: Sources, Problems, and Management*, pp. 255–290. Elsevier, Amsterdam.
- Paredes, C., Roig, A., Bernal, M. P., Sánchez-Monedero, M. A., & Cegarra, J. 2000. Evolution of organic matter and nitrogen during co-composting of olive mill wastewater with solid organic wastes. *Biology and Fertility of Soils*, 20: 226-236.
- Raviv, M., Medina, S., Krasnovsky, A. & Ziadna, H. 2004. Organic matter and nitrogen conservation in manure compost for organic agriculture. *Compost Science & Utilization*, 12 (1): 6-10.
- Ross, M., Garcia, C. & Hernández, T. 2006. A full-scale study of treatment of pig slurry by composting: Kinetic changes in chemical and microbial properties. *Waste Management*, 26: 1108–1118.
- Sommer, S.G. & Møller, H.B. 2000. Emission of greenhouse gases during composting of deep litter from pig production - effect of straw content. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)*, 134: 327-335.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. & Vigil, S. A. 1993. *Integrated solid waste management: Engineering principles and management issues*. McGraw-Hill, series in water resources and environmental engineering.
- Tiquia, S.M., Tam, N.F.Y. & Hodgkiss, I.J. 1997. Effects of turning frequency on composting of spent pig-manure sawdust litter. *Bioresource Technology*, 62: 37-42.
- Tiquia, S. M. & Tam, N. F. Y. 2000. Fate of nitrogen during composting of chicken litter. *Environmental Pollution*, 110: 535-541.

Zucconi, F. & Bertoldi, M. 1987. Composts specifications for the production and characterization of composts from municipal solid waste. In M. de Bertoldi,

M. P. Ferranti, P. L'Hermite & F. Zucconi (eds) Compost: Quality and Use, pp. 30-50. Elsevier Applied Science, London.