

Efeito do arejamento no processo de compostagem da fracção sólida do chorume de pecuária leiteira

Influence of aeration on the process of composting dairy cattle slurry solid fraction

L. M. Brito¹, A. L. Amaro¹ & A. S. Fernandes²

RESUMO

A compostagem permite estabilizar a matéria orgânica da fracção sólida do chorume (FSC) da pecuária leiteira intensiva, enquanto a separação entre sólidos e líquidos reduz o volume necessário para o armazenamento destes efluentes. Em acréscimo, obtém-se um composto com isenção de odores ou microrganismos nefastos e de fácil manuseamento, que pode ser exportado para outras explorações agrícolas como correctivo orgânico do solo. Contudo, é necessário investigar o efeito do arejamento no processo de compostagem destes materiais, porque o seu teor de humidade é sempre superior aos valores frequentemente apontados como ideais para iniciar a compostagem (55% a 60%).

A FSC de duas explorações de pecuária leiteira intensiva, ambas localizadas no concelho de Vila do Conde, foi extraída com 70% e 78% de humidade com uma máquina separadora baseada na pressão provocada por um sem-fim que impulsiona a fracção sólida para a extremidade frontal da máqui-

na, enquanto a fracção líquida atravessa um crivo que rodeia o sem-fim. Construíram-se 12 pilhas com 15 m³ de volume, seis constituídas exclusivamente pela FSC e as outras seis misturadas com palha e estudou-se o efeito da palha e do aumento do número de revolvimentos com a pá frontal do tractor, no processo de compostagem, durante um período de 15 semanas.

As temperaturas termófilas foram rapidamente atingidas na FSC com 70% de humidade, mas só foram atingidas na FSC com 78% de humidade quando se adicionou a palha. Em acréscimo, a FSC com 70% de humidade foi compostada mais rapidamente do que a FSC com 78% de humidade. Apesar das análises periódicas ao pH, condutividade eléctrica, matéria orgânica, azoto total e relação C/N das diferentes pilhas evidenciarem que é possível obter um composto com interesse agronómico, é necessário otimizar o processo de compostagem para minimizar as perdas de azoto na forma de amoníaco, considerando que o valor de pH foi muito elevado (8-9) durante o processo de compostagem.

¹ Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, Refóios, 4990-706 Ponte de Lima – Tel: (+351) 258 909 740 – Fax: (+351) 258 909 779 – E-mail: miguelbrito@esapl.pt; ² Divisão Leite e Lacticínios, Direcção Regional de Agricultura de Entre Douro e Minho, S. Pedro de Merelim, 4700-859 Braga – E-mail: antfernandes@net.sapo.pt

ABSTRACT

Manure surpluses in dairy farms can be reduced by separation of the solid fraction from slurry whereas composting allows the stabilization of the organic matter of the solid fraction. The solid fraction can be exported to other farms with a high demand for organic amendments after composting because this turns cattle slurry solids into a uniform, easily handled, organically stable, without pathogens or viable weed seeds that can be land applied and marketed as a soil amendment. However, when 60% moisture content of solids is exceeded, and this is the situation for most separated slurry solids, oxygen movement is somewhat restricted. Therefore, the effect of turning the compost pile must be researched since it provides oxygen for the decomposition process.

Dairy cattle slurry solids from two different farms located at the NW Portugal (Vila do Conde), with 70% and 78% moisture contents, were removed from the tank using an auger encased in a perforated stainless steel screen, allowing removal of excess water. Twelve pile treatments of 15 m³ of freshly separated solids were placed in bare soil. The effects of using straw as a framework and of turning with a tractor-mounted front-end loader were evaluated through chemical analysis on pile samples collected over a 15 week period.

Thermophilic temperatures were achieved soon after separation for 70% moisture solids, but these temperatures were attained for 78% moisture solids only once mixed with straw, indicating that differences in bedding material affects the temperature and oxygen concentration during composting. Moreover, solids with initial 70% moisture had a faster rate of composting and took shorter time

to reach maturity than solids with 78% moisture. Although chemical evolution based on parameters such as pH, electrical conductivity and C/N ratio provided substantial evidence that agronomical suitable compost can be obtained, future challenges include optimizing the process to minimize the loss of nitrogen in the form of ammonia gas, given that pH ranged from 8 to 9 throughout the compost process.

INTRODUÇÃO

Em Portugal, os resíduos orgânicos da produção agro-pecuária e florestal continuam a representar em massa e em volume, a maior categoria de resíduos. Apesar de serem frequentemente aplicados nos campos, com vantagens para a fertilidade dos solos e para a produtividade das culturas, estes resíduos podem também colocar problemas ambientais e prejudicar a segurança da cadeia alimentar, principalmente quando utilizados em excesso. Daqui resulta a necessidade de se proceder a uma gestão que maximize os benefícios agronômicos destes materiais orgânicos, e que minimize impactos ambientais, designadamente aqueles que se referem à poluição da água e do ar, à transmissão de doenças e à diminuição da biodiversidade.

A preocupação acima referida é particularmente sentida na bacia leiteira da região de Entre Douro e Minho. O sistema agro-pecuário é muito intensivo, mantendo-se os encabeçamentos semelhantes aos referidos por Moreira (1994), de 4 a 7 CN/ha, e as produtividades anuais superiores a 5 000 kg de leite por bovino. De acordo com Trindade (1997), estas explorações aplicam quantidades de azoto mineral superiores a 200 kg ha⁻¹ para o milho, e superiores a 50 kg ha⁻¹ para a

cultura de Inverno, para além do azoto orgânico (400 kg N ha^{-1}) aplicado através do chorume, o qual, ultrapassa muito o valor máximo de 170 kg N ha^{-1} referido para as zonas vulneráveis, no Código de Boas Práticas Agrícolas para a protecção da água contra a poluição com nitratos de origem agrícola (MADRP, 1997). Por isso, os produtores de leite, especialmente nas explorações leiteiras localizadas próximo das áreas urbanas, que são frequentemente alvo de queixa por parte das populações relativamente ao cheiro originado pela aplicação do chorume, pretendem inovar a gestão do chorume com o objectivo de melhorar a reciclagem de nutrientes no seio das suas explorações, com menor impacto ambiental para o ar e para água. Entre os compostos voláteis causadores de odores desagradáveis destacam-se o amoníaco, e outros gases azotados (Amon *et al.*, 2001; Hao & Chang, 2001) que, por sua vez, contribuem para o efeito de estufa e para a diminuição do teor de ozono na estratosfera.

Em anos recentes, a separação entre a fracção sólida e a fracção líquida do chorume tornou-se numa tecnologia com crescente utilização na gestão destes subprodutos da pecuária leiteira intensiva (Ford & Fleming, 2002), principalmente devido à melhoria que introduz nas propriedades de manuseamento, reduzindo a quantidade de matéria orgânica dos líquidos, e concentrando os nutrientes na fracção sólida. A separação do chorume em sólidos e líquidos pode ser um meio eficaz e adequado ao ambiente, com as vantagens de se poder obter um composto seco de alta qualidade, estabilizado, com isenção de odores ou microrganismos patogénicos, de fácil manuseamento e, portanto, com elevado valor comercial.

A compostagem pode ser dividida em duas partes. A primeira é mais activa e

caracteriza-se por uma forte actividade metabólica e pelo aumento de temperatura dos materiais em decomposição, e inclui uma fase mesófila com temperaturas inferiores a 40°C e outra termófila com temperaturas superiores a 50°C . A segunda parte, caracteriza-se por taxas metabólicas muito mais reduzidas e é conhecida por fase de arrefecimento e maturação, durante a qual o material se torna estável, escuro, amorfo, com aspecto de húmus e um cheiro a terra (Witter & Lopez-Real, 1987). Assim, a produção de calor de um material é indicativa da actividade biológica desse material e, por isso, indirectamente do seu grau de decomposição (Bidlingmaier, 1985).

A produção de calor depende da velocidade a que os microrganismos crescem e actuam, e esta depende do teor de humidade, do arejamento e da razão C/N da mistura dos resíduos e do sistema de compostagem utilizado (Tchobanoglous *et al.*, 1993). É conveniente impedir que a temperatura da pilha ultrapasse os 65°C , porque os microrganismos benéficos são eliminados. Nestes casos, o revolvimento da pilha e respectivo arejamento diminui as temperaturas, porque o calor se dissipa. Contudo, Rifaldi *et al.* (1992) sugeriram que, para garantir a eliminação dos organismos patogénicos e das sementes viáveis de infestantes, a temperatura durante a compostagem deveria alcançar um valor de 65°C , ou superior, para uma humidade igual ou superior a 40% pelo menos durante 6 dias ou dois períodos de três dias consecutivos. Por isso, para se poder obter um composto isento de microrganismos patogénicos, o efeito do arejamento no processo de compostagem da FSC tem de ser investigado, porque o seu teor de humidade, apesar de variável com a máquina utilizada na separação dos líquidos dos sólidos, é sempre superior aos

valores frequentemente apontados como ideais para iniciar a compostagem (55% a 60%).

Neste estudo, compara-se a evolução do processo de compostagem da fracção sólida do chorume de duas explorações de pecuária leiteira intensiva, em pilhas de compostagem com diferentes condições de arejamento, com o objectivo de contribuir para o estabelecimento de uma estratégia ambientalmente adequada para a compostagem deste tipo de materiais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Comparou-se a evolução do processo de compostagem da fracção sólida do chorume (FSC) de duas explorações de pecuária leiteira intensiva, ambas localizadas no concelho de Vila do Conde (freguesias de Outeiro Maior e de Fajozes).

As máquinas separadoras utilizadas na extração da fracção sólida do chorume acumulado nas fossas, ambas baseadas na pressão provocada por um sem-fim (screw press), que impulsiona a fracção sólida para a extremidade frontal da máquina, enquanto a fracção líquida atravessa um crivo que rodeia o sem-fim, variaram muito de rendimento (volume de FSC extraída por unidade de tempo). Na primeira unidade de compostagem (UC1), o rendimento foi de $1 \text{ m}^3 \text{ hora}^{-1}$, possuindo a fracção sólida do chorume 70% de humidade, enquanto que na UC2, o rendimento foi 4 vezes superior mas, em contrapartida, a FSC obtida possuía 78% de humidade.

Em cada unidade de compostagem construíram-se 6 pilhas com 15 m^3 de volume, sobre o solo, três constituídas exclusivamente pela fracção sólida do chorume da respectiva exploração pecuária, e as outras três misturadas com palha

de cevada (5% p/p fresco; 11% p/p seco) na unidade UC1, e com palha de azevém (9% p/p fresco, 20% p/p seco) na unidade UC2. Os materiais originais não possuíam sementes ou propágulos de infestantes, tendo-se verificando apenas a presença de dois cogumelos (*Agaricus sp.*) por litro, numa amostra da UC2.

Cada par de pilhas (uma com palha e outra sem palha) foi sujeita a um número diferente de revolvimentos: 5, 10 e 15 vezes, durante o período de compostagem na primeira unidade e, por limitações práticas, apenas 4, 8 e 12 na segunda. A compostagem iniciou-se em 29 de Janeiro de 2004 na UC1 e a 20 de Fevereiro na UC2. As pilhas de compostagem estiveram cobertas com um filme de plástico preto, excepto durante os revolvimentos.

A temperatura no interior das pilhas e a temperatura do ar foram monitorizadas com termístores (tipo ST1, Delta-T Devices). Colocou-se um termistor na zona central de cada pilha, sendo os valores horários registados com base em leituras a cada minuto, através de um registador de dados (Delta-T Devices). Com base nos registos horários calcularam-se as médias diárias de temperatura do exterior e do interior de cada pilha.

Realizaram-se oito colheitas, de cinco amostras por cada pilha, em todas as pilhas da UC1, e nas pilhas sem palha da UC2, nos seguintes dias de compostagem: 0, 7, 14, 28, 42, 63, 91 e 105 na UC1 e 0, 7, 14, 28, 42, 63, 84 e 105 na UC2. Cada amostra foi analisada individualmente. Não se recolheram amostras das pilhas com palha na UC2 porque, nestas pilhas, não foi conseguida uma homogeneização entre a FSC e a palha que garantisse, em cada amostra, a proporção ajustada entre estes dois materiais.

Recorreram-se às normas europeias (EN - Soil improvers and growing media,

1999) para a determinação das seguintes características: humidade, com base em 50 g de material original (EN 13040); pH por potenciometria (Methrom-632) utilizando extractos de 60 cm³ de amostra por 300 ml de água (EN 13037); condutividade eléctrica dos extractos aquosos obtidos de acordo com a norma do pH (1+5, v/v), após filtração (EN 13038), com um condutivímetro (Crison-CDTM/522), e os resultados ajustados à temperatura de 25°C; matéria orgânica, por calcinação numa mufla (Heraus-MR170E) a 550°C durante 4 horas (EN 13039); e azoto Kjeldahl modificado (EN 13654) (com um digestor Gerhardt-KT12S e uma unidade de destilação Vadopest-3).

A relação C/N foi calculada pelo quociente entre o teor de carbono, e o teor de azoto. O teor de carbono total, destinado ao cálculo da relação C/N, foi calculado pela fracção entre o teor da matéria orgânica e a constante 1,8 (Gonçalves e Baptista, 2001). Estimou-se, também, o teor de azoto nítrico (N-NO₃) durante a compostagem, nos extractos aquosos utilizados para a determinação da condutividade eléctrica, através de potenciometria (Philips-PW9442) com um eléctrodo selectivo conjugado com o eléctrodo de referência

(Philips RE3/DJ).

As concentrações totais de P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu e Mn, da fracção sólida do chorume no início da compostagem, determinaram-se utilizando extractos obtidos por digestão com *Aqua Régia*, com recurso a um microondas (Milestone-Laboratory Systems, modelo mls 1200 mega) e através de colorimetria para o fósforo (espectrofotómetro Perkin Emler, modelo Lambda 3 UV/VIS), fotometria de chama para o potássio (Corning, modelo 410) e absorção atómica (espectrofotómetro Perkin Elmer, modelo Analyst 300) para os restantes elementos.

A comparação entre os tratamentos realizou-se através da análise de variância e do cálculo da menor diferença significativa ($P < 0,05$) entre médias de resultados, recorrendo-se ao programa SPSS versão 12.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fracção sólida do chorume obtida na unidade de compostagem de Outeiro Maior (UC1) possuía um teor de humidade significativamente inferior àquele que foi obtido na unidade de compostagem

QUADRO 1 – Características da fracção sólida do chorume no início da compostagem (FSC) em duas unidades de compostagem (UC1 e UC2) ($\bar{x} \pm \sigma$, n=15)

	Humid. (%)	pH	CE (mS m ⁻¹)	M.O. (%)	C/N	N-NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)		
UC1	70±2,1	9,05±0,1	63±5	82,5±8	44±4	150±48	10,6±1,4		
UC2	78±0,5	8,64±0,1	160±8	84,5±2	40±4	35±8	11,9±0,9		
MDS	1,1	0,1	5,0	4,4	3,0	25,7	0,9		
	P (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)	Fe (g kg ⁻¹)	Zn (µg g ⁻¹)	Cu (µg g ⁻¹)	Mn (µg g ⁻¹)	
UC1	1,8±0,2	7,6±0,6	8,1±0,9	3,1±0,3	3±1,4	142±11	29±4	116±4	
UC2	1,0±0,1	13±0,6	9,2±1,2	3,5±0,2	2±0,3	99±8	39±2	87±8	
MDS	0,1	0,4	0,8	0,2	0,8	7,2	2,4	4,7	

MDS – Menor diferença significativa para comparação entre médias ($P < 0,05$). Com a excepção do pH, CE e N-NO₃ os restantes parâmetros estão expressos por massa de matéria seca.

de Fajozes (UC2). Nesta última unidade de fracção sólida do chorume possuía uma condutividade eléctrica (CE) superior e um teor de azoto nítrico inferior, no início da compostagem, relativamente à unidade de compostagem de Outeiro Maior. Algumas características químicas da fracção sólida do chorume das unidades de compostagem, encontram-se no Quadro 1.

Temperatura

Na primeira unidade de compostagem (UC1), a temperatura alcançou valores superiores a 50 °C na fracção sólida do chorume (FSC) e temperaturas superiores a 60 °C nas pilhas que incluíram palha, logo no primeiro dia de compostagem

(Figura 1). Contudo, na segunda unidade de compostagem (UC2), estas temperaturas só foram alcançadas ao fim de vários dias. Este facto poderá ser explicado pela maior percentagem de humidade da FSC da UC2 (78%), em comparação com a FSC da UC1 (70%).

A temperatura máxima diária de 66 °C foi atingida numa das pilhas com palha nas duas unidades de compostagem. De acordo com Tchobanoglous *et al.* (1993), quando a temperatura ultrapassa os 66 °C a actividade biológica é reduzida significativamente. As temperaturas máximas horárias atingidas durante o processo de compostagem (67 °C na UC1 e 71 °C na UC2) ocorreram, também, em pilhas que incluíram palha.

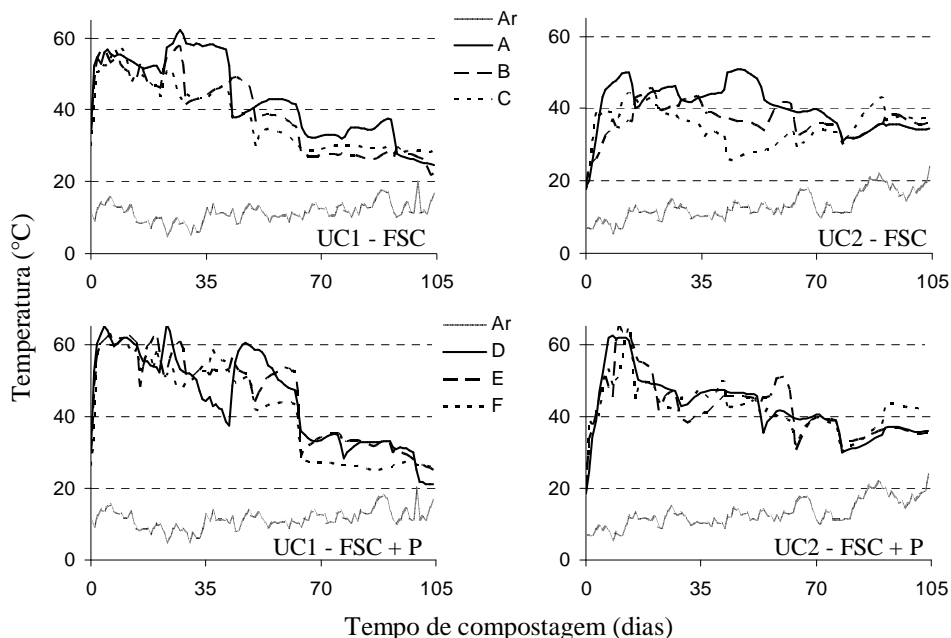


Figura 1 – Evolução da temperatura (°C) durante 15 semanas, em pilhas de compostagem da fracção sólida do chorume (FSC) de duas unidades de compostagem (UC1 e UC2), e pilhas com a FSC misturada com palha (FSC+P), com um número mínimo (A e D), médio (B e E) e máximo (C e F) de revolvimentos

A fase termófila da compostagem, resultante do calor produzido pelas reacções exotérmicas associadas ao metabolismo microbiano, prolongou-se por 6 a 8 semanas, consoante o nível de arejamento, na UC1 (Figura 1). Posteriormente, a temperatura diminuiu até atingir valores próximos da temperatura ambiente, 15 semanas após o início da compostagem, indicando uma diminuição da actividade microbiana em consequência da diminuição da matéria orgânica facilmente oxidável. Na UC2, a compostagem da fracção sólida do chorume decorreu, quase sempre, com temperaturas mesófilas, com os inconvenientes de não se alcançarem temperaturas que eliminariam potenciais sementes de infestantes ou microrganismos patogénicos, bem como, com o inconveniente de se prolongar a duração do período de compostagem, como se pode verificar pela temperatura das pilhas com 15 semanas de compostagem (Figura 1). A mistura com palha favoreceu o desenvolvimento de temperaturas mais elevadas no início da compostagem em todas as pilhas, bem como o aparecimento de temperaturas superiores a 50 °C na UC2.

Humidade

As máquinas de separação da fracção sólida do chorume utilizadas neste trabalho, permitiram obter uma FSC com 70% de humidade na UC1 e 78% na UC2 (Quadro 2). Apesar destes valores serem normais para este tipo de equipamento (Ford & Fleming, 2002) são, no entanto, superiores aos desejáveis para iniciar a compostagem (55% a 60% de humidade).

A percentagem de humidade da FSC nas pilhas da UC1 diminuiu de 70% para menos de 50% no período de 2 meses, excepto na pilha que teve menor número de revolvimentos que se manteve com 61%. A humidade da FSC da pilha mais arejada da UC2 diminuiu até 51% no mesmo período de tempo mas, as pilhas menos arejadas, sujeitas apenas a 8 ou 4 revolvimentos, mantiveram mais 7% e 14% de humidade, respectivamente. A humidade das pilhas da UC1 que incluíram palha diminuiu de forma semelhante às que não continham palha e diminuiu também com o aumento do número de revolvimentos.

QUADRO 2 – Evolução da humidade (%) em pilhas da fracção sólida do chorume (FSC) de duas unidades de compostagem (UC1 e UC2), e em pilhas com a FSC misturada com palha (FSC+P) na UC1, durante 2 meses de compostagem ($\bar{x} \pm \sigma$, n=5)

Unidade	UC1 – Outeiro Maior						UC2 – Fajozes		
	Materiais		FSC		FSC + Palha		FSC		
Nº de revolvimentos	5	10	15	5	10	15	4	8	12
Tempo (dias)	Humidade (%)								
00	FSC: 70±2 (n=15)			Palha: 31±1			FSC: 78±1 (n=15)		
07	69±5	67±10	60±6	69±6	65±6	67±5	68±2	76±2	77±1
14	68±6	69±6	61±4	54±4	66±4	58±8	72±15	73±3	61±5
28	70±4	56±5	54±4	63±4	59±4	56±5	70±4	60±12	58±4
42	64±5	53±3	49±2	59±2	53±2	50±4	66±5	61±3	54±5
63	61±9	49±2	45±8	59±8	49±3	49±4	65±5	58±1	51±4

Valor da menor diferença significativa para comparação entre médias (P <0,05): 5,1%

Valor de pH e condutividade eléctrica

O pH da FSC manteve-se estável em valores próximos de 9 durante a fase termófila da compostagem na UC1 (Quadro 3), diminuindo de 9 para, aproximadamente 8 nas semanas seguintes, provavelmente em consequência do início da nitrificação. O elevado pH da FSC durante o processo de compostagem foi também evidente na UC2 onde, após 105 dias de compostagem, continuou com valores próximos de 9. Este facto é desvantajoso porque pode provocar o aumento das perdas de azoto na forma de amoníaco (Hao & Chang, 2001). O pH não variou de uma forma consistente com o aumento do arejamento provocado pelo crescente número de revolvimentos, ou pela presença de palha nas pilhas.

A condutividade eléctrica (CE) manteve-se inferior a 100 mS m⁻¹ durante a compostagem na UC1, ultrapassando este valor apenas no final da compostagem, provavelmente devido ao aumento de concentração de nitratos e de outros minerais. A CE diminuiu frequentemente com o aumento do arejamento provocado pelo aumento do número de revolvimentos nas pilhas sem palha, mas o mesmo não se verificou nas pilhas com palha, excepto no último dia de compostagem. A condutividade eléctrica foi, inicialmente, mais elevada na UC2 do que na UC1, mas diminuiu na UC2 durante a compostagem (Quadro 3). Para esta diminuição poderá ter contribuído a introdução casual de solo nas pilhas durante os revolvimentos com a pá frontal do tractor, porque as pilhas foram construídas sem cobertura do solo.

QUADRO 3 – Evolução do pH e da condutividade eléctrica (mS m⁻¹) em pilhas da fracção sólida do chorume (FSC) de duas unidades de compostagem (UC1 e UC2), e em pilhas com a FSC misturada com palha (FSC+P) na UC1 ($\bar{x} \pm \sigma$, n=5)

Unidade	UC1 – Outeiro Maior (*)						UC2 – Fajozes (**)		
Materiais	FSC			FSC + Palha			FSC		
Nº de revolvimentos	5	10	15	5	10	15	4	8	12
Tempo (dias)	pH								
00	FSC: 9,05±0,13 (n=15)			Palha: 7,0±0,06			FSC: 8,64±0,08 (n=15)		
07	9,2±0,1	9,1±0,2	9,2±0,2	8,7±0,4	8,8±0,3	8,8±0,3	8,7±0,1	8,5±0,1	8,4±0,1
14	9,1±0,1	9,0±0,1	9,1±0,1	8,8±0,3	8,8±0,4	9,0±0,1	8,2±0,8	8,6±0,1	8,6±0,1
28	9,0±0,3	8,7±0,2	8,9±0,1	8,8±0,4	9,0±0,3	9,1±0,2	8,6±0,2	8,7±0,1	8,7±0,1
42	9,2±0,1	9,0±0,1	8,8±0,1	8,9±0,1	8,9±0,2	9,0±0,1	9,1±0,2	8,9±0,1	8,5±0,1
63	8,5±0,3	8,5±0,4	8,3±0,3	8,9±0,1	8,6±0,2	8,6±0,3	9,0±0,2	8,8±0,2	8,6±0,1
91*/ 84**	8,2±0,1	7,9±0,1	7,7±0,2	8,2±0,3	7,9±0,3	7,7±0,3	9,2±0,1	9,1±0,1	9,1±0,1
105	8,0±0,2	7,8±0,1	7,8±0,2	7,6±0,2	7,6±0,1	7,7±0,1	8,8±0,1	9,0±0,1	9,2±0,1
Tempo (dias)	Condutividade eléctrica (mS m ⁻¹)								
00	FSC: 63±5 (n=15)			Palha: 11±1			FSC: 159±8 (n=15)		
07	57±10	58±6	61±15	49±6	46±11	47±3	146±11	170±18	187±12
14	91±19	83±7	81±7	65±9	68±5	68±6	170±31	156±18	127±8
28	73±4	64±10	50±7	56±6	57±4	55±3	147±15	113±22	115±1
42	61±10	52±4	45±2	50±7	51±4	53±6	109±24	90±17	78±4
63	67±6	47±2	49±6	49±6	53±4	49±3	106±11	94±14	72±2
91*/ 84**	67±2	47±5	58±7	52±8	56±10	53±8	110±14	82±8	68±2
105	108±13	80±4	87±8	101±6	101±7	90±8	115±11	72±8	62±2

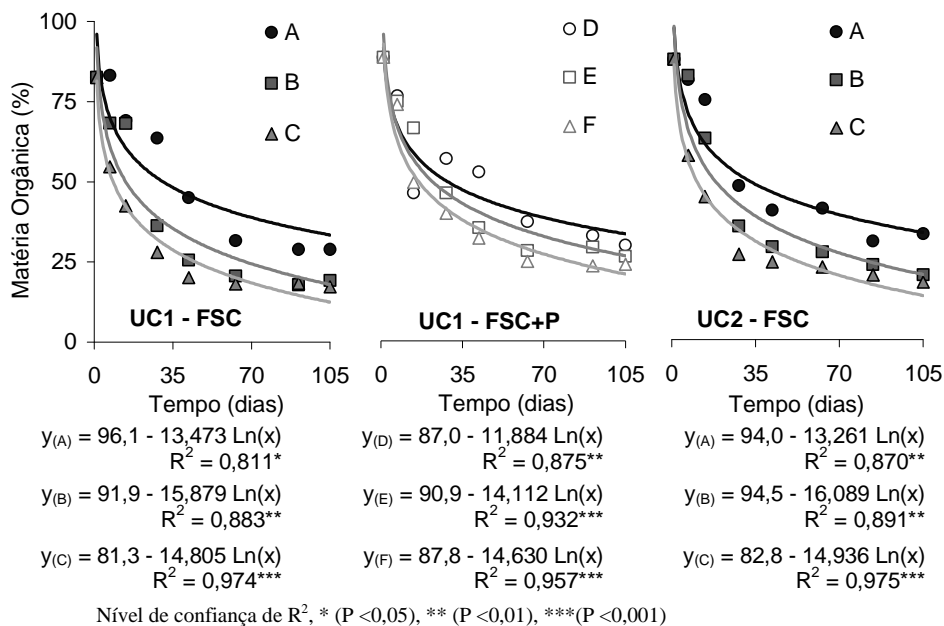
Os valores da menor diferença significativa para comparação entre médias (P <0,05) encontram-se entre parênteses: pH (0,19); CE (9,0 mS m⁻¹)

Matéria orgânica

O teor de MO (%) diminuiu de forma muito acentuada nos primeiros 2 meses de compostagem, devido à rápida mineralização do carbono orgânico facilmente mineralizável e, posteriormente, estabilizou. Assim, a evolução do teor da matéria orgânica durante as primeiras 15 semanas de compostagem pode ser representada por um modelo logarítmico (Figura 2) do tipo: $y = a - c * \text{Ln}(x)$, em que (y) representa a percentagem de matéria orgânica e (x) o tempo de compostagem em dias.

Esta diminuição no teor de MO foi mais acentuada quando aumentou o número de

revolvimentos, porque o arejamento provocou uma oxidação mais rápida da matéria orgânica. O teor de MO nas pilhas com palha, durante a compostagem, diminuiu de forma semelhante ao teor de MO das pilhas sem palha, mas com menores diferenças entre tratamentos com diferente número de revolvimentos. A redução de matéria orgânica foi também muito acentuada na UC2, existindo um efeito evidente do revolvimento na aceleração da mineralização do carbono. Contudo, no final do período de compostagem, a diferença de matéria orgânica entre as diferentes pilhas, com o mesmo número de revolvimentos, não foi significativa.



Valor da menor diferença significativa para comparação entre médias (P < 0,05): 7,9%

Figura 2 – Evolução da matéria orgânica (%) por massa de matéria seca, da fracção sólida do chorume (y) em função do tempo de compostagem em dias (x) em duas unidades de compostagem (UC1 e UC2), sem mistura (FSC) e com mistura de palha (FSC+P), em pilhas com um número mínimo (A e D), médio (B e E) e máximo (C e F) de revolvimentos

Azoto Kjeldahl

O teor de azoto na matéria seca durante o período de compostagem diminuiu de valores ligeiramente superiores a 1%, para valores ligeiramente inferiores a 1% nas pilhas com maior número de revolvimentos da UC1 (Quadro 4). No final do período de compostagem, o teor de N na matéria seca foi significativamente superior na pilha sem palha com menor arejamento, em comparação com as outras duas pilhas com maior arejamento.

O teor de azoto na UC2 também diminuiu com o aumento do número de revolvimentos, e foi semelhante ao teor de azoto que se verificou na UC1 (Quadro 4).

Relação C/N

Zucconi & Bertoldi (1987) sugeriram que, durante a compostagem, um decréscimo de uma relação C/N inicial de 35-40 para um valor final de 18-20, normalmente, implica um avançado grau de maturação. Neste estudo, a razão C/N ini-

cial variou entre 44 na UC1 e 40 na UC2 e diminuiu rapidamente durante, aproximadamente, dois meses (Figura 3), alcançando um valor de C/N=14 na UC1, e de C/N=15 na UC2, após 15 semanas de compostagem.

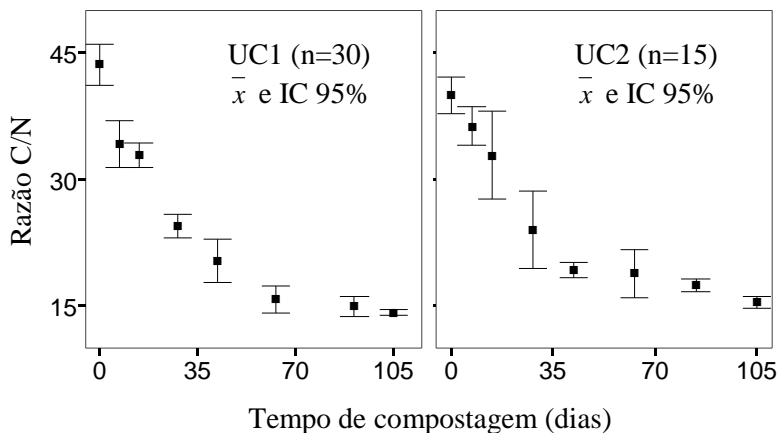
A razão C/N dependeu, principalmente, do teor de carbono orgânico porque as variações de MO ao longo do tempo de compostagem (Figura 2) foram muito mais fortes do que as variações de N (Quadro 4).

Com a evolução do processo de compostagem, a razão C/N diminuiu porque o carbono mineralizado e oxidado até à forma de CO₂, foi perdido para a atmosfera, enquanto o azoto mineralizado foi conservado em maior proporção por imobilização temporária na massa microbiana e, posteriormente, foi acumulado na forma de nitratos quando a actividade microbiana diminuiu, por falta de carbono disponível para o anabolismo (síntese de protoplasma) e para o catabolismo (produção de energia) microbiano.

QUADRO 4 – Evolução do teor de azoto Kjeldahl (g kg⁻¹) na matéria seca, em pilhas da fracção sólida do chorume (FSC) de duas unidades de compostagem (UC1 e UC2), e em pilhas com a FSC misturada com palha (FSC+P) na UC1 ($\bar{x} \pm \sigma$, n=5)

Unidade	UC1 – Outeiro Maior (*)						UC2 – Fajozes (**)		
Materiais	FSC			FSC + Palha			FSC		
Nº de revolvimentos	5	10	15	5	10	15	4	8	12
Tempo (dias)	N Kjeldahl (g kg ⁻¹ m.s.)								
00	FSC: 10,6±1,4 (n=15)			Palha: 4,8±0,3			FSC: 11,9±1,1 (n=15)		
07	14±1,3	11±3,1	10±1,4	12±1,5	11±1,5	10±1,0	13±1,3	11±0,5	12±1,6
14	11±2,0	11±2,7	8±1,5	8±1,3	10±1,5	8±1,6	12±4,2	12±0,6	9±0,7
28	14±1,3	10±0,5	8±0,6	11±2,4	9±0,6	9±1,1	10±2,4	11±2,8	8±0,5
42	11±5,1	8±0,4	7±0,7	13±3,0	10±0,2	9±1,0	11±3,3	8±0,9	7±0,5
63	10±3,5	8±0,6	7±0,7	12±1,7	10±0,9	9±1,0	12±3,3	8±0,5	6±0,5
91*/ 84**	11±1,7	7±0,4	7±0,5	13±1,2	10±0,9	8±2,2	12±2,3	9±0,7	6±0,3
105	12±3,5	7±0,4	7±0,7	11±1,4	10±1,2	9±1,1	10±1,0	8±0,8	6±0,7

Valor da menor diferença significativa para comparação entre médias (P <0,05): 1,60 g kg⁻¹



Valor da menor diferença significativa para comparação entre médias ($P < 0,05$): 4,3

Figura 3 – Evolução da razão C/N das pilhas de compostagem. Médias e respectivos intervalos de confiança 95% para as 30 amostras das 6 pilhas da UC1, e para as 15 amostras de 3 pilhas da UC2

Azoto nítrico

Durante 6 semanas, em que ocorreu a fase termófila da compostagem, o azoto nítrico foi imobilizado pelos microrganismos decompositores. Posteriormente, a nitrificação aumentou continuamente até ao final da compostagem (Quadro 5).

Nas pilhas com palha, em que a fase

termófila se prolongou até aos 2 meses, o aumento da nitrificação ocorreu de forma mais acentuada apenas após esse período de tempo. Na UC2, a nitrificação iniciou-se também de forma mais acentuada na fase final da compostagem, após a temperatura das pilhas ter diminuído. A inclusão de palha nas pilhas da UC1 retardou a libertação de azoto nítrico, provavelmente

QUADRO 5 – Evolução do teor de $N-NO_3^-$ ($mg\ kg^{-1}$), por massa de matéria original, em pilhas da fracção sólida do chorume (FSC) de duas unidades de compostagem (UC1 e UC2), e em pilhas com a FSC misturada com palha (FSC+P) na UC1 ($\bar{x} \pm \sigma$, $n=5$)

Unidade	UC1 – Outeiro Maior (*)						UC2 – Fajozes (**)		
Materiais	FSC			FSC + Palha			FSC		
Nº de revolvimentos	5	10	15	5	10	15	4	8	12
Tempo (dias)	Azoto nítrico ($mg\ kg^{-1}$)								
00	FSC: 150±48 (n=15)			Palha: 133±32			FSC: 35±7 (n=15)		
07	38±8	51±46	40±19	25±7	23±2	28±7	23±9	37±5	39±20
14	26±5	30±8	27±15	26±3	26±6	25±11	50±5	58±8	29±8
28	24±6	22±5	25±12	23±8	25±4	34±20	39±13	18±8	18±7
42	24±9	14±5	31±10	19±3	22±8	20±8	35±13	78±4	139±45
63	148±63	105±55	213±58	48±9	68±45	89±44	23±10	35±77	19±9
91*/ 84**	214±34	161±40	248±36	166±59	221±76	212±48	246±11	258±35	64±10
105	290±94	205±8	254±34	338±54	317±32	266±34	659±112	259±52	71±17

Valor da menor diferença significativa para comparação entre médias ($P < 0,05$): 35,9 $mg\ kg^{-1}$

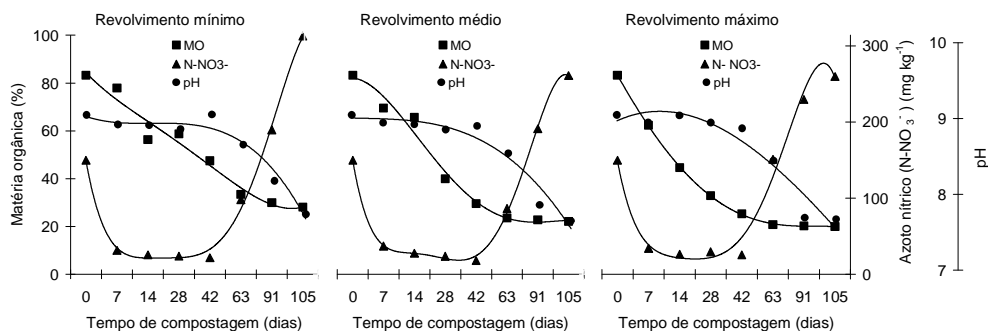


Figura 4 – Comparação entre a evolução da matéria orgânica na matéria seca, do azoto nítrico na matéria original, e do valor de pH das pilhas de compostagem da UC1. Médias das 2 pilhas (n=10)

devido à elevada razão C/N da palha. Durante a compostagem da FSC da UC1, de uma forma generalizada, a mineralização da matéria orgânica foi muito intensa durante os 2 meses de compostagem em que as temperaturas foram mais elevadas. Após este período de intensa actividade microbiana, iniciou-se a acumulação de azoto nítrico e o pH desceu, embora se mantivesse alcalino ao fim de 105 dias de compostagem (Figura 4).

CONCLUSÕES

A incorporação de palha nas pilhas de compostagem da fracção sólida do chorume, elevou as temperaturas máximas registadas durante a fase termófila aumentando, assim, a possibilidade de eliminação de organismos patogénicos e de sementes viáveis de infestantes.

A presença de palha nas pilhas de compostagem aumentou a temperatura no seu interior, mas não afectou a perda de humidade relativamente às pilhas sem palha. Possivelmente, a palha poderá beneficiar a difusão do oxigénio (o qual é responsável pela maior produção de calor proveniente da actividade microbiana aeróbia) sem que

aumente significativamente a evaporação. O aumento de arejamento provocado pelo número crescente de revolvimentos aumentou a dissipação do calor e a evaporação de água, contribuindo para as temperaturas mais baixas e para maiores perdas de humidade. Assim, quando a percentagem de humidade inicial não for limitante para a compostagem, poderá ser preferível, para aumentar a difusão do oxigénio, a utilização de palha de má qualidade ou de outros detritos vegetais grosseiros que não possuam qualidade para a alimentação animal, do que o revolvimento das pilhas, pelo elevado custo desta operação.

Aparentemente, a compostagem da FSC poderá processar-se em pilhas estáticas ou com o mínimo de revolvimentos, que poderá beneficiar o ambiente devido ao menor impacto da libertação de gases das pilhas para a atmosfera envolvente.

O teor de azoto nítrico no interior das pilhas é muito baixo durante a compostagem aumentando após a fase termófila. Por isso, será de esperar que nos primeiros 2 meses de compostagem, as perdas de azoto por lixiviação de nitratos sejam muito baixas, mesmo que ocorra drenagem de água nas pilhas. O pH da FSC é muito elevado e permanece estável durante a fase termófila

da compostagem. Este facto, por um lado, impede a presença de fungos capazes de degradar a lenhina e, por outro, favorece a passagem do azoto da forma amoniacal para amoníaco, aumentando a perda potencial deste elemento por volatilização. Por estas razões, parece determinante que, no início da compostagem, a fracção sólida do chorume possua um baixo teor de humidade (mesmo que o rendimento da máquina separadora seja inferior), na medida em que a compostagem poderá processar-se com o mínimo de revolvimentos, diminuindo as perdas de azoto por volatilização e os prejuízos ambientais que daqui resultam, incluindo os maus cheiros, a libertação de gases de efeito de estufa e a diminuição do teor de ozono na estratosfera.

AGRADECIMENTOS

O estudo da compostagem da fracção sólida do chorume referido neste artigo, realizou-se com o apoio dos fundos estruturais da União Europeia, através do projecto nº 794 financiado pela Acção 8.1 de DE & D do PO AGRO, INIAP, MADRP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amon, B., Amon, T., Boxberger, J. & Alt, C. 2001. Emissions of NH₃, N₂O and CH₄ from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **60**(1-3): 103-113.
- Bidlingmaier, I. W. 1985. Quality-testing of waste sewage sludge composts. *Acta Horticulture*, **172**: 99-116.
- Ford, M. & Fleming, R. 2002. Mechanical solid-liquid separation of livestock manure. Literature review. *Report to Ontario Pork*. Ridgetown College, University of Guelph.
- Gonçalves, M. S. & Baptista, M. 2001. *Proposta de Regulamentação sobre Qualidade do Composto para Utilização na Agricultura*. Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva, Instituto de Investigação Agrária, Ministério da Agricultura do Desenvolvimento Rural das Pescas, Lisboa.
- Hao, X. & Chang, C. 2001. Gaseous NO, NO₂, and NH₃ loss during cattle feedlot manure composting. *Phyton-annales Rei Botanicae*, **41** (3): 81-93.
- MADRP. 1997. *Código das boas práticas agrícolas para a protecção da água contra a poluição com nitratos de origem agrícola*. Ministério da Agricultura do Desenvolvimento Rural e das Pescas.
- Moreira, N. 1994. Situação e perspectivas da produção forrageira intensiva no Entre Douro e Minho. *Pastagens e Forragens*, **14/15**: 31-40.
- Riffaldi, R., Levi-Minzi, R., Saviozzi, A. & Capurro, M. 1992. Evaluation garbage compost. *Biocycle*. **1**: 66-69.
- 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.
- Trindade, H. 1997. *Fluxos e perdas de azoto em explorações forrageiras de bovicultura leiteira no noroeste de Portugal*. Tese de Doutoramento. UTAD, Vila Real.
- Witter, E. & Lopez-Real, J. M. 1987. Monitoring the composting process using parameters of compost stability. In: M de Bertoldi, M.P. Ferranti, P.L'Hermite & F.Zucconi (eds) *Compost: Quality and Use*, pp. 351-358. Elsevier Applied Science, London.

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. London. Elsevier Applied Science, London.