



XI SILUBESA

Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

III-111 - AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO COMPOSTO PRODUZIDO A PARTIR DE LAMAS DE ETAR DE INDUSTRIAS TÊXTEIS DO VALE DO AVE COM SUPORTES ORGÂNICOS RESIDUAIS E SUA APLICAÇÃO NA AGRICULTURA

Mário Augusto Tavares Russo (1)

Prof. Coordenador do Instituto Politécnico de Viana do Castelo (IPVC), foi Vice-Presidente do IPVC e coordenador do curso superior de Engenharia Civil e do Ambiente da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do IPVC. É Prof. convidado da Universidade de Coimbra e da Universidade do Minho, onde ministra uma disciplina sobre resíduos sólidos em cursos de mestrado. É membro do GRAPESB (grupo de resíduos da Associação Portuguesa para Estudos de Saneamento Básico e da International Solid Waste Association..

Carlos Martins

Engenheiro civil, Prof. Adjunto do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, ex-Vice Presidente do Instituto dos Resíduos. Exerce actualmente funções de Administrador dos Serviços Municipalizados de Loures e é o Coordenador do GRAPESB – Grupo de Resíduos da APESB.

Manuela Costa e António Fernandes

Eng^{os} Agrónomos, Direcção Regional de Agricultura de Entre Douro e Minho (DRAEDM), membros da equipa de investigação financiada pelo programa comunitário AGRO, coordenada pelo primeiro autor do trabalho.

(1) Endereço:

Rua Amadeo de Sousa Cardoso, 100
4510-492 Fânzeres, Portugal

Tel 22 480 8944, fax 22 480 9016,  mariorusso@ipvc.pt

RESUMO

Utilizando-se lamas da estação de tratamento de águas residuais industriais (ERTARI) do Sistema Integrado de Despoluição do Vale do Ave (SIDVA) procedeu-se a compostagem conjuntamente com outros suportes orgânicos residuais tendo-se produzido diversos compostos que foram avaliados tendo em vista a sua utilização no solo como correctivo, resolvendo também o problema da sua deposição final.

Com efeito, o objectivo do trabalho é solucionar o grave problema das lamas produzidas pelas 3 ETARI que integram parte da solução preconizada pelo SIDVA (de um conjunto total de 8 ETARI), que presentemente já produzem mais de 26.000 toneladas de lamas. A solução prevista em projecto era a sua deposição em aterro sanitário construído junto de cada ETAR, revelou-se, naturalmente, um fracasso. As lamas estão a ser acumuladas em sacos de grande capacidade, porém começa a escassear espaço.

Foi proposta a co-compostagem das lamas com outros suportes orgânicos residuais ricos em carbono, como o bagaço de algodão, casca de pinheiro moído e serrim em proporções balanceadas para correcção do teor C/N inicial e o teor de humidade.

Apresentam-se, no presente trabalho, as metodologias utilizadas para a selecção das misturas e a caracterização física, físico-química e química de materiais, misturas e pilhas de compostagem, bem como os resultados da aplicação do composto na produção de alface e cevada, avaliando a capacidade de germinação e a fitotoxicidade.

Para se encetar o trabalho de co-compostagem procedeu-se a uma prévia avaliação da capacidade germinativa das lamas da ETAR de Rabada, tendo-se constatado que possuíam capacidade fertilizante (apesar dos consideráveis teores em azoto e fósforo), exigindo especiais cuidados de acompanhamento na sua aplicação.

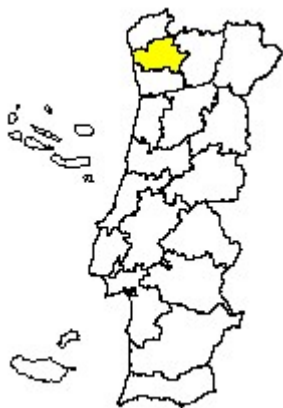
Utilizaram-se 3 tipos de misturas: i) lamas + serrim; ii) lama + casca de pinheiro e iii) lama + algodão + serrim, apresentando-se os resultados das caracterizações e os testes de germinação em vaso e de fitotoxicidade do composto produzido.

Palavras Chave: co-compostagem, lamas, germinação, fitotoxicidade, suportes orgânicos

1. INTRODUÇÃO

A entrada em vigor da Directiva europeia 1999/31/CE, conhecida como directiva aterros, transposta para o ordenamento jurídico português através do Decreto-Lei nº 152/2002 impõe metas para a valorização da matéria orgânica dos resíduos sólidos urbanos (RSU) com destino a aterros sanitários (vertederos) que vão progressivamente de 25, 50 e 65% desta fracção dos RSU. Se nos recordarmos que o Tribunal Europeu considerou a incineração como método de destruição térmica de resíduos, portanto um destino final, negando assim a hipótese de se considerar como válido este método como sendo de valorização, ganha força acrescida a compostagem e a digestão anaeróbia como formas de valorização orgânica de resíduos. Portugal, durante muito tempo, não teve problemas ambientais com as lamas (lodos) de Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), porque a cobertura nacional com o tratamento de águas residuais era muito baixo e, como consequência, a produção de lamas era negligenciável. Com a crescente construção de ETAR, para águas urbanas e industriais, passou a defrontar-se com crescentes preocupações com o destino final destas lamas. Sob o ponto de vista industrial, como é o caso do Vale do Ave, no distrito de Braga (mapa abaixo) onde se concentram as indústrias têxteis portuguesas, foi implantado um Sistema Integrado de Despoluição do Vale do Ave (SIDVA), com vista a recuperar o rio Ave, que estava a constituir-se num dos mais poluídos da Europa.

Com efeito, a indústria têxtil portuguesa, que se concentra nas margens do rio Ave, é responsável pela maior parte das exportações do sector e, também, durante muitos anos pela poluição do rio. Entretanto foi desenvolvido um Plano de despoluição constituído por emissários ao longo das suas margens e 8 estações de tratamento (ETAR), estando já em funcionamento 3, prevendo-se a conclusão das restantes 5 até 2005.



O Problema

As três Estações de Tratamento de Águas Residuais (Figura 1) em funcionamento produzem anualmente mais de 26.000 toneladas de lamas que são desidratadas em filtros de banda e ensacadas antes do seu depósito no alvéolo do aterro sanitário de apoio, adjacente à ETAR, como previsto no respectivo projecto, porém, não exequível, nem tão pouco segura e ambientalmente nada sustentável. O desafio é o que fazer com lamas em quantidades crescentes, com teores de humidade de cerca de 85%?

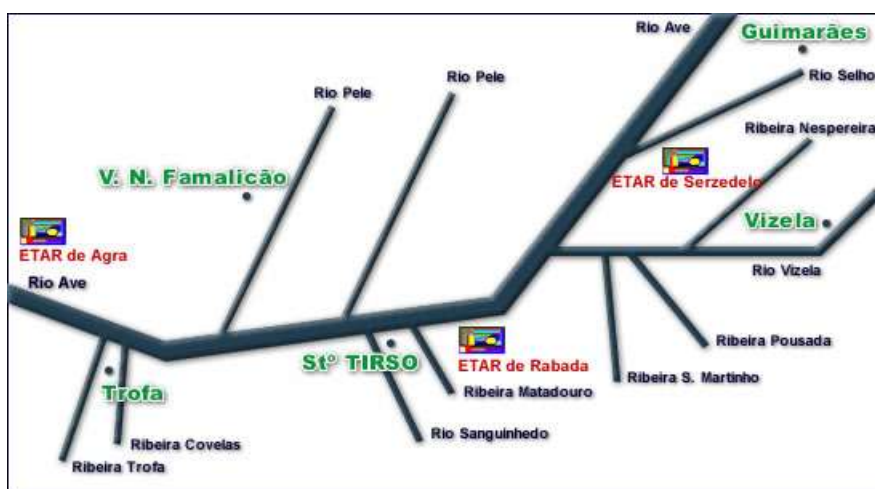


Figura 1 – esquema hidrográfico do Ave e ETAR do sistema integrado

Objectivos

Para resolver este grave problema, com tendências de aumento significativo com a entrada em funcionamento das restantes estações de tratamento, a empresa multimunicipal TRATAVE, responsável pelo funcionamento e gestão das ETAR do SIDVA e a Associação de Municípios do Vale do Ave (AMAVE) solicitaram ao um estudo para a solução

deste problema, tendo o Instituto Politécnico de Viana do Castelo proposto um plano. Neste contexto foi concebido um projecto de investigação e desenvolvimento experimental e de demonstração apresentado ao Programa AGRO, do Instituto Nacional de Investigação Agronómica (INIA), que mereceu a aprovação e respectivo financiamento, contemplando o estudo de processos de compostagem de lamas das ETAR com outros suportes orgânicos (serrim de madeira, casca de pinheiro e bagaços de ramas de algodão) e a sua aplicação no solo para a produção agrícola. Os trabalhos decorrem nas estações experimentais da Direcção Regional de Agricultura de Entre Douro e Minho (DRAEDM) em Merlim - Braga e em Vairão - Vila do Conde. Na primeira são realizados os estudos de co-compostagem e na segunda a aplicação do composto produzido no solo para a produção de hortícolas e a respectiva avaliação ambiental do sistema solo-planta.

2. Materiais e Métodos

O objectivo consistiu em conhecer os materiais com vista à escolha de misturas de lamas com os suportes residuais de modo a atingir-se um balanço C/N e teor de humidade abaixo dos 60% ou que permita a estruturação física da pilha para compostagem pelo processo "windrow" e por pilhas estáticas arejadas (oxigenação forçada).

Parâmetros químicos determinados: teor de humidade, carbono orgânico, matéria orgânica, pH, condutividade eléctrica, Azoto total e amoniacal, fósforo total e diversos nutrientes e metais.

Apresenta-se no Quadro 1 a composição dos materiais utilizados e no Quadro 2 as características das misturas no acto de constituição das mesmas no início da compostagem.

Quadro 1 – Características dos materiais originais utilizados na compostagem

Determinações	Lamas ETARI	Serrim	Casca pinheiro moída	Bagaço de algodão
Humidade (%)	86.6	47.73	37.21	5.63
C orgânico (%)	4.93	24.5	30.31	48.16
Matéria Orgânica (%)	8.44	42.24	51.90	83.04
pH	7.6	4.8	4.35	6.75
Condutividade mS/cm	2.624	0.902	2.09	24.6
Azoto total, %N	0.95	0.01	0.16	1.4
Azoto Amoniacal, ppm N	43	12		307
C/N	5	2450	189	34
P total (% P ₂ O ₅)	0.55	0.01	0.05	0.26
Ca total (% CaO)	0.42	0.12	0.24	1.83
Mn total (% MgO)	0.10	0.03	0.09	0.40
K total (% K ₂ O)	0.05	0.03	0.14	1.95
Na total (% Na)	0.06	0.02		0.13

Quadro 2 – características das misturas em compostagem à partida

Determinações	L+S (1:1)	L+S (2:1)	L+CP (1:1)	L+CP (3:1)	L+S+A (1,5:1:1)	L+S+A (3:0,21:0,15)
Humidade (%)	55.77	73.21	51.52	71.43	69.29	71.74
C orgânico (%)	18.91	12.94	20.18	13.86	15.82	11.18
Matéria Orgânica (%)	32.6	22.3	34.78	23.90	27.27	19.28
PH	6.5	5.8	6.20	6.9	8.60	9.15
Condutividade mS/cm	1.33	3.73	1.599	1.968	10.414	4.182
Azoto total, %N	0.59	0.50	0.67	0.92	0.91	0.82
Azoto Amoniacal, ppm N	49	228	93	231	409	502
C/N	32	26	30	15	17	14
P total (% P ₂ O ₅)	0.07	0.23	0.21	0.42	0.47	0.42
Ca total (% CaO)	0.14	0.16	0.25	0.27	0.70	0.28
Mn total (% MgO)	0.03	0.05	0.09	0.09	0.16	0.08
K total (% K ₂ O)	0.04	0.04	0.10	0.08	0.54	0.13
Na total (% Na)	0.03	0.05	0.04	0.06	0.07	0.05
Cu total (ppm Cu)	10	27	22	45	122	45
Fe total (ppm Fe)	234	324	793	750	688	510
Mn total (ppm Mn)	50	35	30	30	43	32
Zn total (ppm Zn)	25	43	45	63	76	61

2.1 Métodos Analíticos

Para se estudar as diferentes fases da degradação da matéria orgânica é necessário a realização periódica de análises de acompanhamento e conhecimento das transformações ocorridas. Deste modo são realizadas análises laboratoriais, com vista à determinação dos parâmetros de avaliação do processo.

De acordo com os parâmetros usualmente analisados, podemos classificar os métodos analíticos em:

Físicos: temperatura, porosidade, densidade e oxigénio na pilha;

Físico-químicos: teor de inertes, humidade, sólidos voláteis, carbono total e pH;

Químicos: proteínas, gorduras, N, P, K, NH₄, NO₃, CQO, Carbono Orgânico, Celulose Bruta e metais pesados;

Microbiológicos: coliformes fecais, estreptococos fecais, *E. coli*, *salmonellae* e ovos de helmintos;

Biológicos (ou agrícolas): testes de germinação, de fitotoxicidade.

2.1.1 Análises Físico-Químicas

Realizaram-se as seguintes análises físico-químicas: determinação do pH, condutividade, matéria orgânica total, teor de humidade, sólidos voláteis, carbono orgânico total, e teor de inertes.

Determinação do pH

As determinações do pH foram feitas, de acordo com Carnes e Lossin (1970) e Pereira Neto (1987).

Foram pesados 10 g de amostra "in-natura", recentemente colectada com a sua humidade natural, e foram adicionados 250 mL de água destilada. Agitou-se a mistura durante 3 a 4 minutos, com o auxílio de diversos magnetos, e deixou-se em repouso por 5 minutos. Após o período de repouso, filtrou-se a amostra em lâ de vidro, (também pode utilizar-se papel de filtro, com porosidade adequada), fazendo-se a determinação do pH no filtrado, usando o medidor de pH

digital, Hanna 8521, equipado com eléctrodo combinado de vidro.

Condutividade

Equipamento: condutivímetro digital

A medição da condutividade é feita a partir da amostra filtrada, conforme procedimento para o pH e com o mesmo equipamento.

Matéria Orgânica Total

A determinação da matéria orgânica total foi feita pelo método da perda por combustão, utilizado por Pereira Neto (1987).

Procedimento:

Pesa-se um cadinho de porcelana previamente calcinado entre 800 a 1000 °C;

Pesa-se 5 g de amostra, seca a $70 \pm 5^\circ\text{C}$, e coloca-se no cadinho;

Coloca-se o cadinho numa mufla aquecida a $550^\circ \pm 20^\circ\text{C}$ por uma hora.

Retira-se da mufla e resfria-se em excicador, pesando-se de seguida.

O teor de matéria orgânica é dado pela seguinte expressão:

$\text{MOT} = 100 \cdot (P1 - P2) / P1$, em que P1 é o peso do cadinho mais a amostra e P2 é o peso do cadinho após calcinação. O resultado é em % de M.O.T.

Teor de Humidade

A determinação do teor de humidade foi efectuada segundo recomendações de Pereira Neto, (1987), calculado a partir da perda de água em massa de 100 g da amostra, a qual foi desidratada numa estufa ventilada a 75°C por 24 horas e arrefecida num excicador, sendo então registados os valores. Foi também feita a determinação segundo Solyon (1977), utilizando-se 30 g do material, desidratando em estufa ventilada à temperatura de $100 \pm 5^\circ\text{C}$ em 24 horas, expresso em percentagem da base húmida. Os métodos são absolutamente equivalentes.

Teor de Humidade pelo Método do Microondas

A determinação do teor de humidade pelo método rápido do microondas é um procedimento muito interessante para o controlo de pátio, quando são necessários resultados e decisões rápidas. Procedimento adaptado de Pereira Neto (1989).

Amostra: 20 g pesadas com precisão

Equipamento: forno microondas ventilado marca Balay MW-2435E, dotado de tubo de ventilação, devido aos odores que emite, onde se coloca a amostra por 10 ± 2 minutos, com um goblé com água dentro do forno. Retira-se a amostra, coloca-se num excicador e depois de completamente fria procede-se à sua pesagem. O teor de humidade é determinado pela perda de água reflectida pela diferença percentual de massas antes e depois do microondas.

2.1.2 Caracterização química das lamas

Para a extracção das substâncias húmicas utilizou-se o método do pirofosfato de sódio com separação das fracções por variação do pH, sendo o doseamento do carbono orgânico dos ácidos fúlvicos, húmicos e da matéria orgânica efectuado através do método de Tinsley; para o doseamento do azoto (nitrogénio) total o método de Kjeldahl; para o doseamento dos elementos minerais, após prévia digestão das amostras com a mistura nitro-perclórica, recorreu-se ao espectrofotómetro de absorção molecular para a quantificação do fósforo e à espectrofotometria de absorção atómica, para a quantificação dos restantes elementos.

Avaliação do estado de fertilidade dos solos

A análise química aos macronutrientes, pH e conductividade eléctrica dos solos foi efectuada nos extractos obtidos pelo método de extracção em água na razão 1:5 (p/v) (adaptado de Ryser *et al.* 1995), a extracção do fósforo de reserva

(" assimilável"), pelo método do lactato de amónio (Egnher Rhien modificado) a determinação da capacidade de troca catiónica e bases de troca pelo método do acetato de amónio 1 N ajustado a pH 7. Para a determinação do azoto total foi utilizado o método de Kjeldahl ; para o doseamento dos macronutrientes recorreu-se para o fósforo à espectrofotometria de absorção molecular, para o potássio e sódio a fotometria de chama e para os restantes elementos a espectrofotometria de absorção atómica. Para a determinação dos micronutrientes e metais pesados extraíveis do solo utilizou-se o método de Lakannen sendo o seu doseamento efectuado por espectrofotometria de absorção atómica com chama.

Apreciação do grau de higienização

O grau de higienização foi apreciado com base na pesquisa de *Salmonella* sp.e de *Escherichia coli*, conforme é exigido pela Decisão da Comissão Europeia para atribuição de rótulo ecológico a correctivo orgânico do solo (98/488/CE). Os métodos adoptados para a pesquisa de *salmonella* e da *E. coli* são respectivamente o de pré-enriquecimento com isolamento em placa e confirmação serológica e bioquímica (NP ISO 6579-1993(F) e o de fermentação em tubos múltiplos com determinação do NMP (número mais provável) pelas tabelas de McGrady (NP – 2308).

Teste biológico de germinação em placa

Para o teste de germinação adoptou-se a metodologia de Colin (1985), adaptada por Brito (1997). Os extractos obtidos a partir de misturas com concentrações crescentes de lama em água destilada 0; 1.25; 2.5; 5; 7.5 e 10 % (p/p) são distribuídos por placas de Petri , onde se procede à sementeira de 40 sementes de alface/placa; as placas, num total de 18 (6 tratamentos x 3 repetições), são posteriormente colocadas em estufa de germinação à temperatura controlada de 28 °C e sem iluminação.

Diariamente é efectuada a contagem e eliminação das sementes germinadas até não se observar a germinação de qualquer semente. Foi realizada a análise química aos extractos e determinados os seguintes parâmetros : pH, conductividade eléctrica, o teor em azoto, sódio e cloretos.

Teste biológico de vegetação em vaso

No teste de vegetação utilizou-se a cultura da alface (lechuga) como planta indicadora, vasos de 6 litros de capacidade e um solo de textura franca, medianamente rico em matéria orgânica. Na escolha das doses de aplicação de lama utilizaram-se como doses de referência as normalmente indicadas para uma lama, de 5 ton/ha e as doses indicadas para o estrume (abono) de bovino de 40 ton/ha. Para cada amostra de lama aplicou-se por vaso o equivalente a 0, 10, 20 e 40 ton/ha de matéria fresca, com 3 repetições por tratamento (Quadro 3).

Modalidades	ton/ha	g/vaso
0	0	0
0,5	10	22,4
1	20	44,9
2	40	89,7

Quadro 3 - Doses de aplicação de lama por tratamento

Os dois ensaios tiveram uma condução independente, não se pretendendo efectuar a comparação entre lamas. Os vasos foram aleatoriamente distribuídos em blocos sobre bancadas em estufa.

Procedeu-se à correcção da fertilidade do solo, relativamente ao fósforo, potássio e magnésio.

A dotação de água na rega resultou da conjugação dos seguintes parâmetros: capacidade de campo do solo (água retida à força extractiva pF 2,54), fase de desenvolvimento da cultura, condições de temperatura e humidade. Por conseguinte, a rega foi efectuada, sempre que necessário, de forma a manter a humidade do solo: a 60% da capacidade de campo (C.C.) numa primeira fase de desenvolvimento (até 8 folhas adultas), a partir desta fase a 80 % da C.C. e numa fase final a 100 % da capacidade de campo.

A monitorização diária da temperatura foi realizada através de termopares acoplados a um painel digital de aquisição de temperaturas, com 40 pontos, executado no Instituto Politécnico de Viana do Castelo, permitiu o acompanhamento da fase de degradação activa.



Figura .1 – Aspectos das pilhas à eq. Windrow e à direita com arejamento forçado

O doseamento dos elementos minerais dos resíduos e compostados foi efectuado, após digestão das amostras com a mistura nitro-perclórica (Isaac, 1980), por espectrofotometria de absorção molecular, no caso do fósforo, por fotometria de chama para o potássio e sódio, e por espectrofotometria de absorção atómica para os restantes elementos. A extracção das substâncias húmicas foi efectuada pelo método do pirofosfato de sódio, com separação das fracções por variação do pH (Jodice *et al*, 1984), e o doseamento do carbono dos resíduos orgânicos, dos ácidos húmicos e dos ácidos fúlvicos pelo método de Tinsley (Tinsley, 1950). Para o doseamento do azoto total utilizou-se o método de Kjeldahl, para a quantificação do azoto amoniacal o método de arrastamento pelo vapor, e para quantificar o azoto nítrico o método da liga de Devarda (Bremner, 1965).

Foram constituídas 3 modalidades de mistura de lama com os resíduos de algodão, casca e serrim: lama + serrim (LS), lama + casca (LC) e lama+ algodão+ serrim (LAS) – em proporções que asseguravam um equilíbrio entre o carbono e azoto (C/N) variável de 30, para as modalidades LS e LC (resíduos de difícil biodegradabilidade), a 25 para a modalidade LAS (materiais de mais fácil biodegradação). Para a mistura de materiais foi utilizada uma betoneira, efectuando-se alguns ajustamentos nas proporções, testando-se 2 proporções por modalidade. Os materiais foram dispostos em pilhas do tipo "windrow", de dimensão 2.00 m de base e 1.20 de altura, e foi ajustado o teor de água nas pilhas até obter-se a humidade máxima de 65 %. A composição das misturas de resíduos, para as modalidades constituídas, encontra-se descrita no Quadro 2.

Para promover o arejamento procedeu-se ao reviramento manual das pilhas de 3 em 3 dias até se constatar a queda da temperatura para valores ambientais. Foi efectuada a monitorização da temperatura e da humidade. Como se pode constatar as pilhas que atingiram temperatura mais elevada ($T > 50\text{ }^{\circ}\text{C}$) foram as correspondentes à mistura LAS 3:0,5:0,5, seguida da LC 3:1 e finalmente a LAS 3:0,2:0,4. A temperatura é um dos parâmetros indicadores da actividade microbiana, sugerindo as baixas temperaturas observadas uma fraca actividade bacteriana resultante de factores desfavoráveis sobre os microorganismos, limitando o seu desenvolvimento e actividade, designadamente o facto das lamas terem estado demasiado tempo estocadas em sacos, em anaerobiose, comprovado por análises microbiológicas em que se pode constatar pelas análises dos microrganismos indicadores comparando-se os valores à saída da instalação de desidratação e nas sacas de lamas que é de mais de 10 vezes. Outro factor importante que falhou foi no controle da humidade na fase de degradação activa aquando do "start-up" do processo de compostagem em algumas das pilhas por mascaramento do teor de humidade nas partículas de lamas não totalmente homogenizadas e falta de experiência dos operadores na Estação Experimental.

Também a deficiência de azoto das lamas têxteis que, ao contrário das lamas de ETAR urbanas, têm baixo teor de N, contribuindo para a fraca actividade microbiana: A relação C/N inicial de 14 a 17 é desfavorável, sendo mesmo de considerar que provavelmente esta relação será menor devido à bioindisponibilidade do carbono dos resíduos orgânicos da mistura.

Durante o processo de compostagem procedeu-se á colheita de amostras dos materiais que constituíam as várias pilhas, a fim de se monitorarem parâmetros indicadores da sua evolução: pH, carbono orgânico, azoto total e substâncias húmicas (Quadro 4).

De acordo com Mustin (1987), durante a fermentação aeróbia os microorganismos consomem 15 a 30 vezes mais carbono do que azoto contidos no substrato, pelo que, durante o processo de compostagem, a razão C/N decresce constantemente até atingir valores próximos de 10, variáveis de 8 a 15, dependendo da razão C/N inicial. Como se pode constatar, à excepção da modalidade LS 1:1, em que se verifica um decréscimo de 10 na razão C/N, nas restantes pilhas o decréscimo é muito ligeiro. A evolução anormal do processo de compostagem é confirmada pela evolução do teor das substâncias húmicas com o tempo, verificando-se que apenas a modalidade LS, na proporção 1:1, apresenta

uma subida daquele parâmetro, assim como da taxa de humificação e do índice de humificação.

Quadro 4 – Evolução dos parâmetros da compostagem para as modalidades lama + serrim (LS), lama + casca (LC) e lama + algodão + serrim (LAS).

Modalidades	Data	pH	C/N	ácidos fulvicos (g.kg ⁻¹ MS)	ácidos húmicos (g.kg ⁻¹ MS)	Substâncias húmicas (g.kg ⁻¹ MS)
LS 1:1	29-05	6,5	32	15,8	7,0	22,8
	27-08	5,3	24	20,1	10,8	30,9
LS 2:1	29-05	5,8	26	22,8	5,9	28,7
	27-08	5,0	27	15,4	6,0	21,4
LC 1:1	29-05	6,2	30	16,1	12,8	28,9
	27-08	4,9	33	9,4	4,4	13,8
LC 3:1	29-05	6,9	15	31,2	11,2	42,4
	27-08	4,6	17	10,1	5,1	15,2
LAS 3:0,5:0,5	29-05	8,6	17	33,2	23,4	56,6
	27-08	6,3	17	18,8	4,6	23,4
LAS 3:0,2:0,4	29-05	9,2	14	30,0	12,0	14,0
	27-08	6,2	14	14,7	10,1	24,8

Quadro 5 – Evolução de parâmetros indicadores da humificação

Modalidades	Data colheita	Índice de humificação	Taxa de humificação	Ac.húmicos/Ac. Fúlvicos
LS 1:1	29-05	1,6	5,3	0,43
	28-08	3,0	8,4	0,52
	31-12	6,6	14,6	0,83
LS 2:1	29-05	1,2	6,0	0,26
	28-08	1,8	6,3	0,38
LC 1:1	29-05	3,1	7,0	0,76
	28-08	1,0	3,3	0,48
LC 3:1	29-05	3,0	8,7	0,36
	28-08	1,2	3,7	0,5
LAS 3:0,5:0,5	29-05	4,6	11,1	0,71
	28-08	1,3	6,5	0,24
LAS 3:0,2:0,4	29-05	3,0	10,6	0,4
	28-08	2,8	6,9	0,71

Foi efectuada a monitorização do teor em metais pesados na lama, nas misturas com os materiais que constituíram a fonte de carbono: lama + serrim (LS); lama + casca (LC) e lama + algodão + casca (LAS), antes de iniciada a compostagem e nos compostos finais (Quadro 6). A observação do quadro permite concluir que os teores em níquel são metade do limite estipulado na legislação, nas modalidades onde foi aplicada maior proporção de lama: LC 3:1 e LAS 3:0,2:0,4, nas misturas de materiais originais. Relativamente à contaminação por crómio, observam-se teores mais baixos do que os do elemento níquel, mas também nas modalidades onde foi aplicada uma maior proporção de lama.

Verifica-se que a compostagem permitiu a redução para menos de metade, do teor em níquel (modalidades LAS 3:0,2:0,4 e LC 3:1) e em crómio (modalidade LAS 3:0,2:0,4).

Quadro 6 – Teor em Cu e Zn antes (T=0) e após compostagem (T=3 meses). Valores em mg/kg de MS

Resíduos	Tempo	Cu	Zn	Cd	Pb	Cr	Ni
Lama		433	619	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	10	10
Algodão		<i>n.d.</i>	4	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	2
LS 1:1	0	22	57	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>
	3 m	177	621	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>
LS 2:1	0	101	161	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>
	3 m	110	285	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	28
LC 1:1	0	45	93	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>
	3 m	59	164	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>
LC 3:1	0	158	221	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	140
	3 m	218	416	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	22	46
LAS 3:0,5:0,5	0	397	247	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	49	<i>n.d.</i>
	3 m	270	456	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	32	54
LAS 3:0,2:0,4	0	159	216	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	71	149
	3 m	166	405	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	20	36
Portaria 176/96		1000	2500	20	750	1000	300

n.d. – não detectável - valor inferior ao limite de detecção do espectrofotómetro de absorção atómica, de chama.

Para avaliar o grau de higienização dos compostos realizaram-se análises microbiológicas à lama utilizada no ensaio, logo à saída da prensa e após 1 mês de ensacagem, assim como análises aos compostos ao fim de 3 meses e ao fim de 6 meses de compostagem (Quadro 7). Nas análises microbiológicas foram pesquisados os microorganismos *Escherichia coli* e *Salmonella sp.*, que são os referidos na Decisão da Comissão 98/488/CE para atribuição de rótulo ecológico comunitário a correctores do solo. Os métodos utilizados são os descritos pelas normas de qualidade alimentar de pré-enriquecimento, seguido de isolamento em placa e confirmação sorológica e bioquímica para a *Salmonella* [NP ISSO 6579-1993(F)] e o da fermentação em tubos múltiplos e interpretação dos resultados pela tabela de McCrady para *E. Coli* (NP-2308).

Quadro 7 – Resultados das análises microbiológicas à lama à saída da prensa, após permanência em saco 1 mês, e aos compostos lama+serrim(LS), lama+casca(LC) e lama+algodão+serrim(LAS), ao fim de 3 meses de fermentação.

Parâmetros	Lama à saída	Lama ensacada	LS 1:1	LS 2:1	LC 1:1	LC 3:1	LAS 3:0,5:0,5	LAS 3:0,2:0,4	Decisão 98/488/CE
Coliformes fecais	> 1100	23	43	23	23	23	23	23	
<i>E. coli</i>	180	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 1000/ g
<i>Salmonella sp</i>	Neg.	Neg.	Neg.	Neg.	Neg.	Neg.	Neg.	Neg.	Ausente/25 g

Como se observa, ocorre uma diminuição na carga microbiana da lama após ensacagem, comparativamente à carga normalmente existente na lama logo à saída da ETAR, o que era expectável. Através da análise confirma-se que os compostos se encontram higienizados, face aos microrganismos pesquisados (*Salmonella sp* e *Escherichia coli*).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Evolução da temperatura

Apresenta-se na

Figura 3.1 a evolução da temperatura no decorrer na fase de degradação activa nas diversas pilhas, que mostra uma evolução esperada, atingindo valores termofílicos desejados.

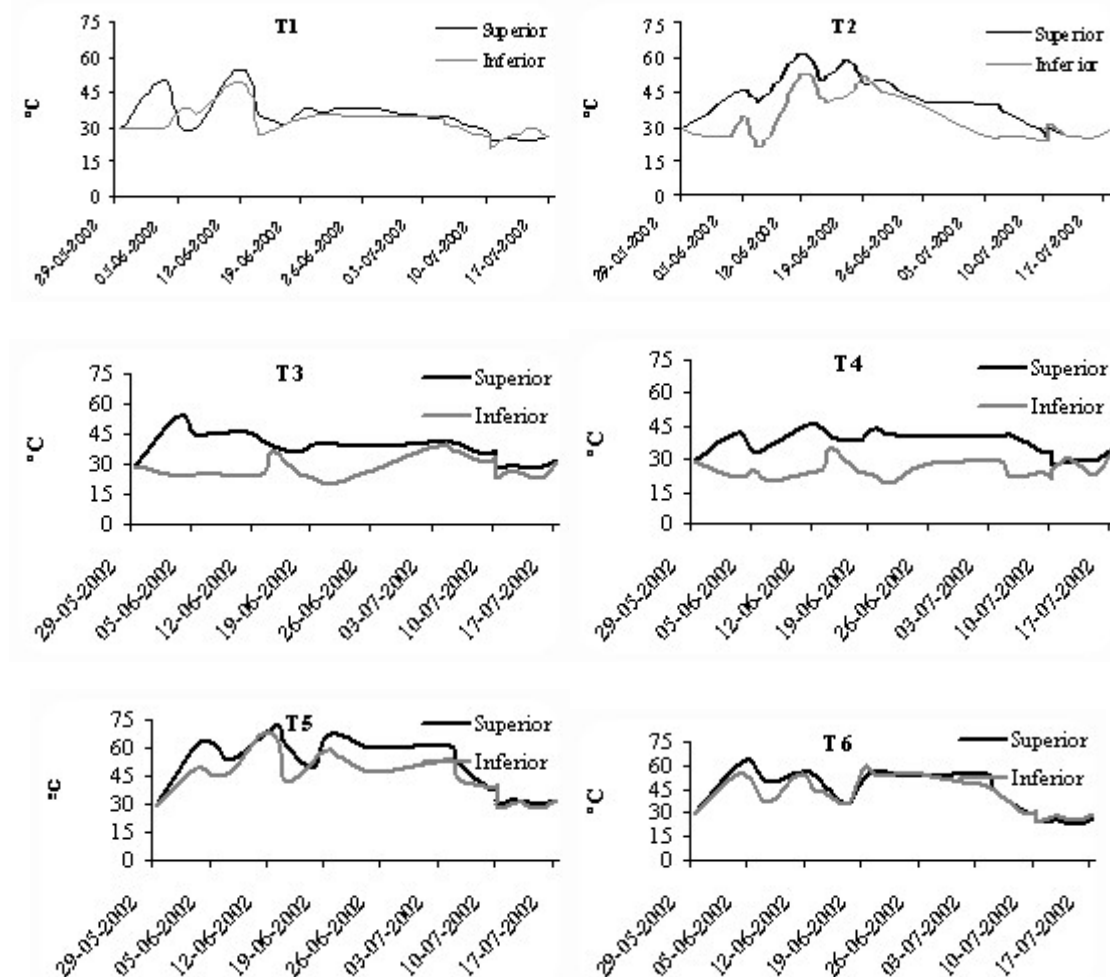


Figura 3.1 - Evolução temperatura: **T1** (lamas+casca de pinheiro 1/1), **T2** (lamas+casca de pinheiro 3/1), **T3** (lamas+serrim 1/1), **T4** (lamas+serrim 2/1), **T5** (lamas+serrim+fibra de algodão 3/0,5/0,5), **T6** (lamas+serrim+fibra de algodão 3/0,21/0,15)

Temperaturas de 50-70°C foram observadas nas pilhas T1, T2, T5 e T6. Na modalidade L+A+S (3:0,5:0,5) observaram-se temperaturas superiores a 72°C ao fim de 16 dias de compostagem. Estas temperaturas são consideradas críticas, pois afectam a sobrevivência dos microorganismos intervenientes na compostagem e têm como consequência um abrandamento da processo de decomposição e subsequente redução da temperatura (Cardenas *et al.*, 1980), o que veio a verificar-se.

A maior actividade fermentativa nas pilhas L+A+S (T5 e T6) está possivelmente relacionada com a maior biodisponibilidade do carbono que constitui as fibras de celulose do algodão, assim como com a maior superfície específica de contacto com os microorganismos activos no processo de compostagem. As menores temperaturas atingidas nos tratamentos com serrim e casca de pinheiro podem resultar da menor biodegradabilidade destes materiais, resultante da presença de lenhina e de compostos fenólicos. A menor disponibilidade do carbono, que constitui a fonte de energia necessária à actividade microbiana, traduz-se numa taxa de compostagem mais lenta que se reflecte numa menor libertação de calor.

Ao fim de 45 dias observou-se a estabilização das temperaturas para valores próximos da temperatura ambiente, iniciando-se a partir desta data a fase de maturação. Os resíduos permaneceram nas pilhas em maturação por um período de 90 dias, a fim de ocorrerem os fenómenos de humificação e de assegurar a estabilidade da matéria orgânica do composto final.

3.2 Evolução da matéria seca

A percentagem de matéria seca manteve-se, para a generalidade os tratamentos, dentro dos valores desejados, não actuando como limitante da compostagem (Figura 3.1).

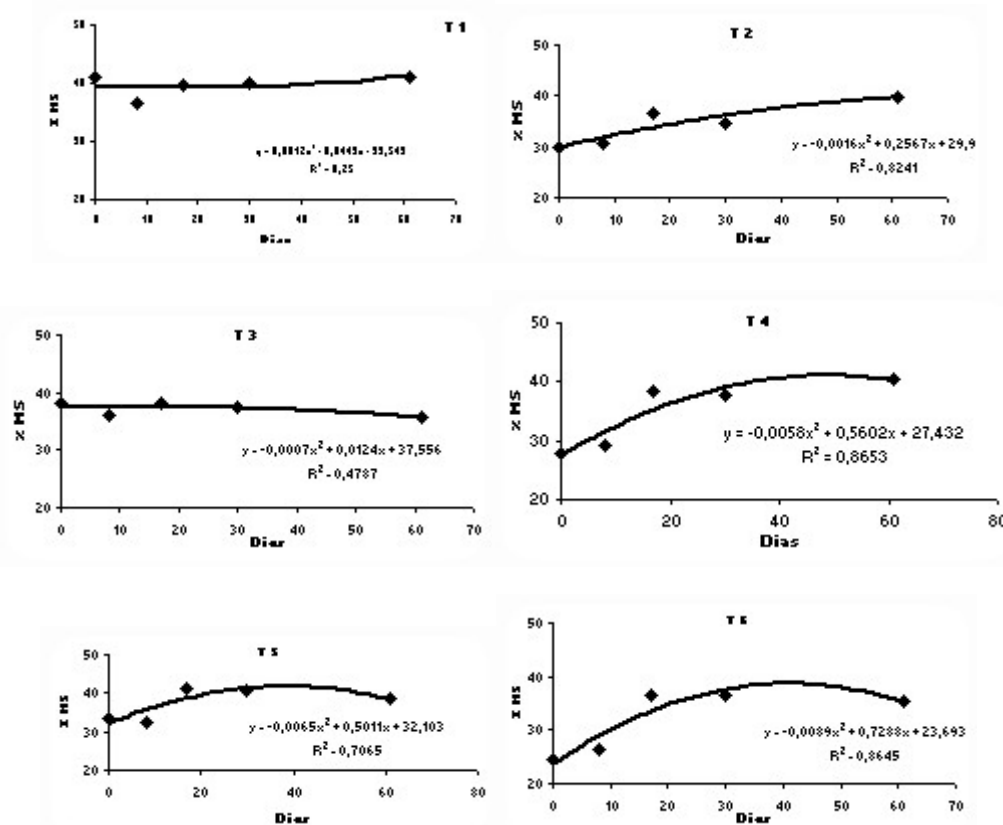


Figura 3.1 -Evolução da percentagem de matéria seca: **T1** (lamas+casca de pinheiro 1/1), **T2** (lamas+casca de pinheiro 2/1), **T3** (lamas+serrim 1/1), **T4** (lamas+serrim 2/1), **T5** (lamas+serrim+fibra de algodão 3/0,5/0,5), **T6** (lamas+serrim+fibra de algodão 3/0,21/0,15)

A percentagem de matéria seca reflecte o balanço hídrico dos compostos e este factor parece não ter condicionado o processo de compostagem em estudo. De acordo com Cardenas *et al.*(1980), quando o teor de matéria seca se situa entre os 60% e 65%, a decomposição torna-se significativamente mais lenta, podendo mesmo ocorrer a interrupção do processo para valores superiores a 70%.

O maior teor de água (baixo valor de matéria seca) inicialmente observado nas modalidades T2, T4 e T6 resulta do maior quantitativo de lama adicionado, efeito este que se diluiu ao longo do tempo. Estes dados estão em consonância com os referidos por Carvalho *et al.*(1994), de 15 a 25 %, como teores de matéria seca de referência a não serem ultrapassados, na compostagem de resíduos florestais. Contudo, não se constatou haver correlação entre o menor teor de matéria seca presente nos tratamentos T2, T4 e T6 e a maior temperatura atingida no processo de compostagem.

3.3 Evolução da matéria orgânica

Como resultado da degradação oxidativa da matéria orgânica que se processa durante a compostagem, o teor em carbono deverá diminuir com o tempo, sendo libertado para a atmosfera sob a forma de dióxido de carbono. Isto implica que o aumento do teor em matéria orgânica observado nos primeiros 40 dias, para a generalidade dos tratamentos com excepção da modalidade L+S (1:1) (Figura 3.1), só poderá ser explicado por um problema analítico relacionado com uma deficiente amostragem, devido à heterogeneidade dos materiais.

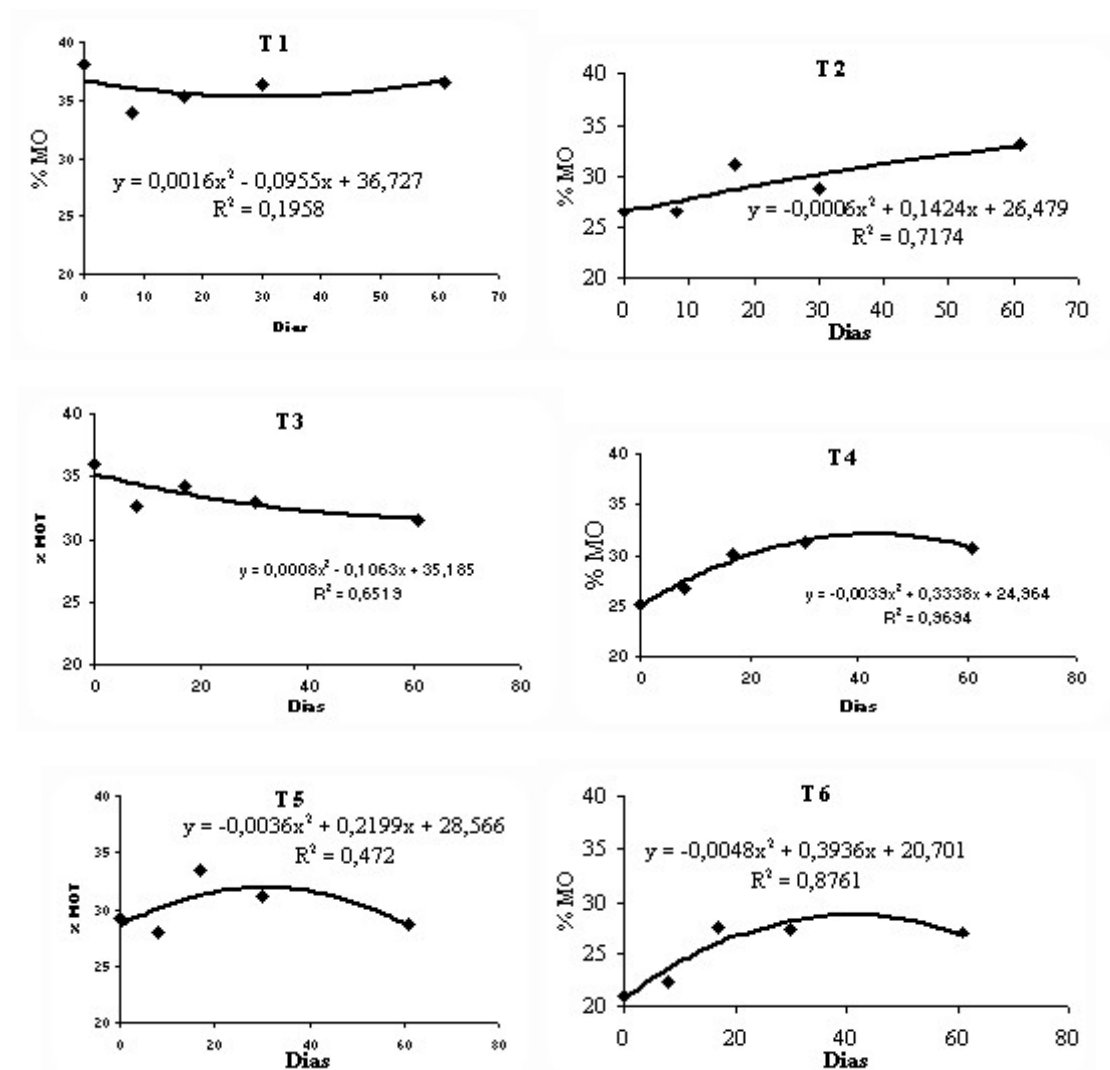


Figura 3.1 -Evolução da matéria orgânica: **T1** (lamas+casca de pinheiro 1/1), **T2** (lamas+casca de pinheiro 3/1), **T3** (lamas+serrim 1/1), **T4** (lamas+serrim 2/1), **T5** (lamas+serrim+fibra de algodão 3/0,5/0,5), **T6** (lamas+serrim+fibra de algodão 3/0,21/0,15)

Como se pode constatar ao fim de 40 dias de compostagem, quando os materiais já se encontravam mais degradados, tornando possível a obtenção de uma amostra mais homogênea, já se observa o decréscimo esperado no teor em matéria orgânica. Aos 90 dias de compostagem obteve-se uma taxa de perda de matéria orgânica comparativamente à existente nos substratos iniciais, de 12,4% para T2, 14% para T3, 29,8% para T4, 29,9 % para T5 e 9,5 % para T6. Dada a natureza dos materiais iniciais como a casca de pinheiro e o serrim, muito lenhificados e de difícil decomposição estas taxas não são consideradas baixas (Pereira, *c.p.*). De Bertoldi (1999) refere que a quantidade de matéria orgânica biodegradável nos materiais de partida tem de ser alta uma vez que durante o processo cerca de 30 % é mineralizada e cerca de 20 % sofre humificação.

3.4 Evolução do azoto total

A quantidade de azoto total diminuiu no decurso do processo de compostagem (Figura 3.1). Esse facto só poderá ser explicado por perdas de azoto por volatilização, sob a forma de amoníaco, fenómeno este que ocorrerá sobretudo quando se realiza o reviramento das pilhas de compostagem (Kirchmann e Landuvall, 1998).

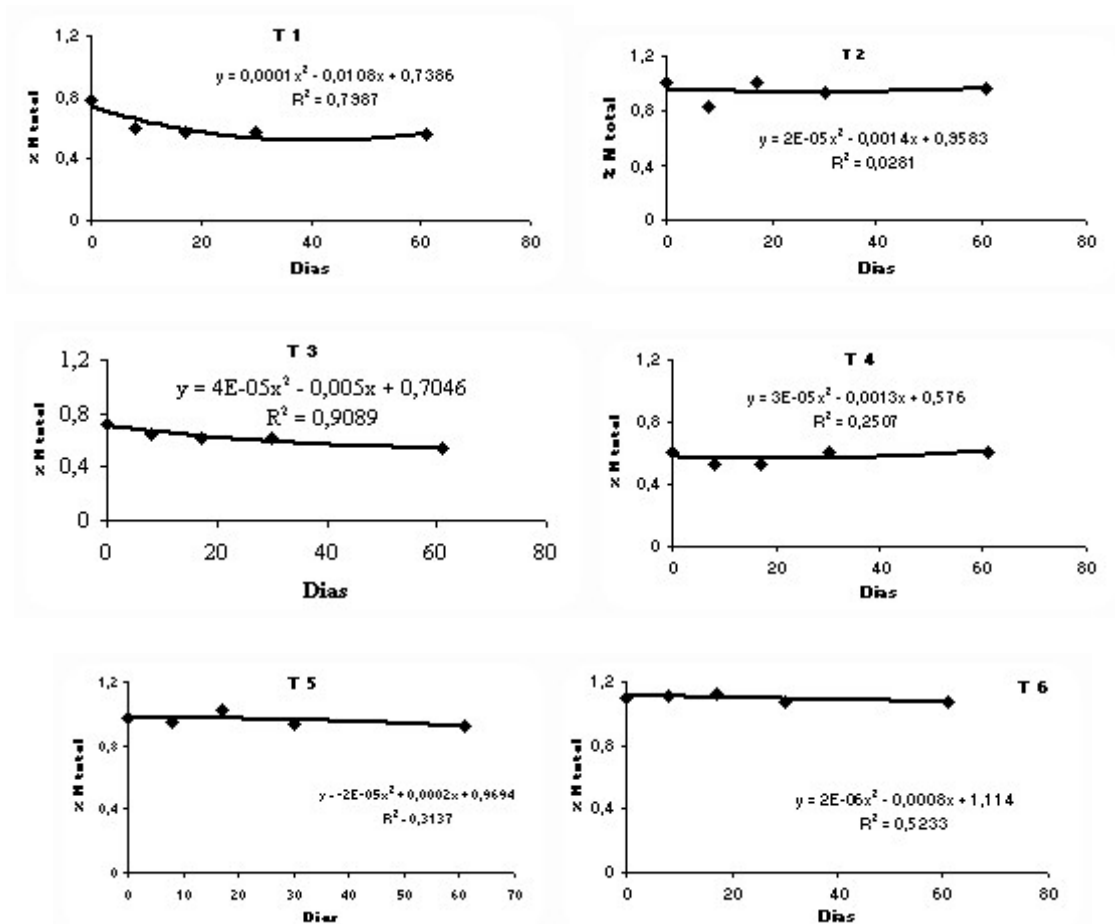


Figura 3.1 - Evolução da relação N total: **T1** (lamas+casca de pinheiro 1/1), **T2** (lamas+casca de pinheiro 2/1), **T3** (lamas+serrim 1/1), **T4** (lamas+serrim 2/1), **T5** (lamas+serrim+fibra de algodão 1,5/1/1), **T6** (lamas+serrim+fibra de algodão 3/0,21/0,15)

O odor a amoníaco era particularmente notório nos tratamentos T5 e T6, que continham fibra de algodão e que correspondem a substratos com valores de pH e com teores em azoto mais elevados (baixas razões C/N iniciais).

Estas perdas podem ser minimizadas, quer através da criação de condições desfavoráveis à produção de amoníaco, recorrendo a misturas que promovam o abaixamento do pH (Raviv *et al.*, 2001), quer através imobilização do amoníaco presente nos substratos, pela adição fertilizantes fosfatados solúveis em água. Neste último o ião fosfato combina-se com o azoto amoniacal para formar fosfato de amónio (Mitchel *et al.*, 1990, Santos, 1991). A aplicação deste aditivo valoriza o composto do ponto de vista agrícola.

3.5 Evolução da relação C/N

Verifica-se, para a generalidade dos tratamentos, um aumento da razão C/N à excepção de T5, onde esta relação permaneceu relativamente constante, durante os dois meses de compostagem (Figura 3.1).

Esta evolução está em desacordo com a que se processa normalmente durante a compostagem. Segundo Mustin (1987), durante a fase de fermentação activa, os microorganismos consomem 15 a 30 vezes mais carbono do que azoto, pelo que naturalmente a razão C/N deverá decrescer durante a compostagem até um valor variável de 8 a 15, dependendo do valor de C/N inicial do substrato.

O aumento do C/N observado durante o processo pode resultar do já referido na evolução da matéria orgânica, mas também pode ser em parte atribuído a perdas de azoto, sob a forma de amoníaco, principalmente durante a primeira semana de compostagem (2ª amostragem).

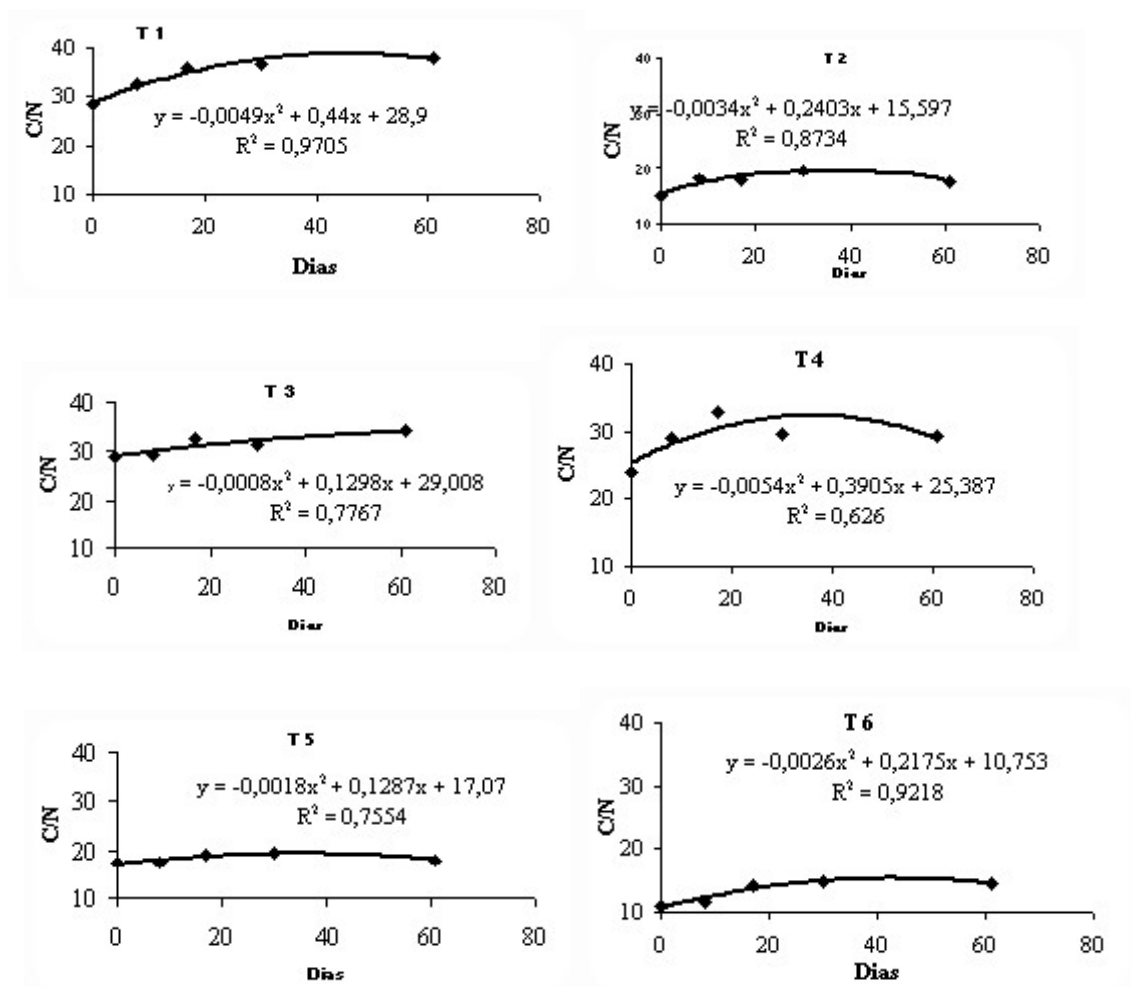


Figura 3.1 - Evolução da relação C/N: **T1** (lamas+casca de pinheiro 1/1), **T2** (lamas+casca de pinheiro 2/1), **T3** (lamas+serrim 1/1), **T4** (lamas+serrim 2/1), **T5** (lamas+serrim+fibra de algodão 3/0,5/0,5), **T6** (lamas+serrim+fibra de algodão 3/0,21/0,15)

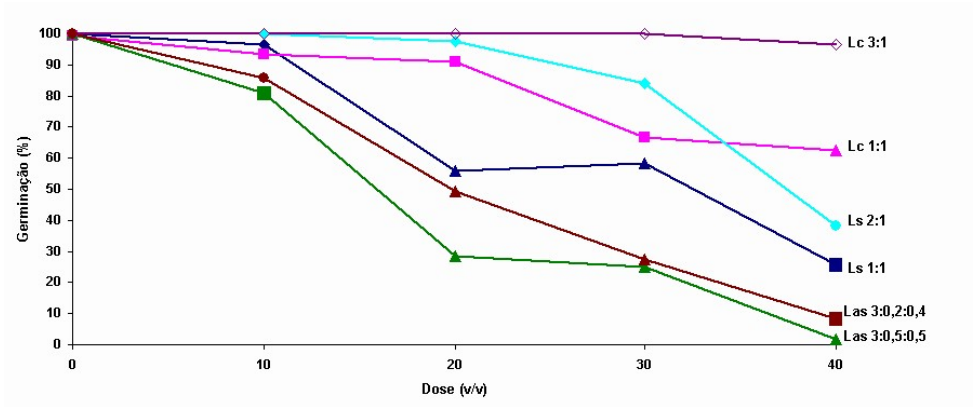
3.6 Teste de Fitotoxicidade

Foram utilizadas as amostras de composto produzido, nas misturas de lamas e os suportes utilizados (serrim, casca de pinheiro moída e bagaço de algodão) e da testemunha.

Foram preparados extractos aquosos com as concentrações 0%, 10%, 20%, 30% e 40% v/v. Foram pipetados 3 ml para cada placa de Petri e colocadas 40 sementes de alface, estas foram para a estufa.

Procedeu-se à mistura do substrato em análise e a turfa com acidez corrigida com as proporções de 25 e 50% de volume do substrato. Distribuíram-se 50 sementes de cevada, e cobriram-se com 40 ml de areia. O ensaio durou cerca de 15 dias, segundo Souteiro & Baptista, 2001.

Resultados:



Teste de germinação

Gráfico 1- Percentagem de sementes germinadas para concentrações crescentes de composto.

Para o mesmo composto símbolos iguais não diferem significativamente ($p < 0,05$) de acordo com o teste de Duncan.



Figura .1 - LC 1

Nota: vasos com 25% de substrato, seguido da testemunha e com 50% de volume de substrato.

Teste de produção de biomassa

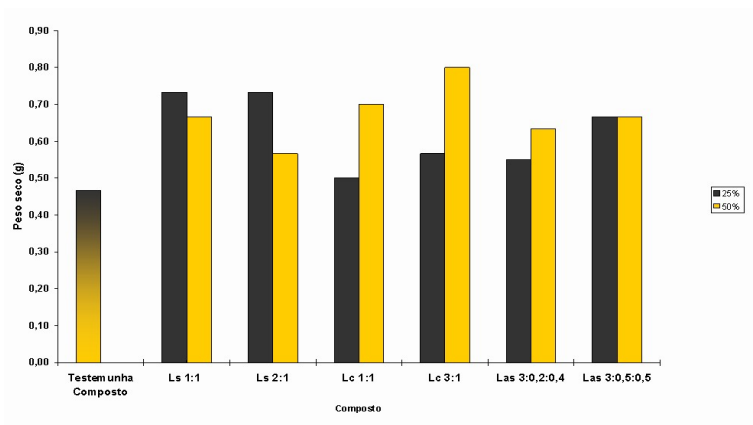


Gráfico 2 - Produção de biomassa de cevada para 25 e 50% de mistura de composto com turfa corrigida.

Apresenta-se nos quadros seguintes as principais características dos materiais compostados no fim da maturação, onde se constata que algumas das modalidades de mistura não apresentam características típicas de um bom composto,

designadamente quando se constata que o C/N apresentado é elevado, explicação devida à carência de N das lamas utilizadas e, por conseguinte, degradação incompleta dos materiais misturados, pese embora a sua capacidade de germinação, de produção de biomassa e como condicionador para os solos.

Quadro 8 – Caracterização analítica dos compostos (valores expressos na matéria original)

Parâmetros	Unid	LS 1:1	LS 2:1	LC 1:1	LC 3:1	LAS 3:0,5:0,5
pH		4,8	5,5	5,8	5,5	6,5
Humidade	g kg ⁻¹	291,7	461,5	516,1	500,0	428,6
Matéria orgânica	g kg ⁻¹	423,6	328,9	343,3	326,4	371,8
Carbono orgânico total	g kg ⁻¹	245,7	190,8	199,2	189,3	215,7
Ácidos Húmicos	g kg ⁻¹	16,2	2,0	1,2	1,0	3,2
Ácidos Fúlvicos	g kg ⁻¹	19,6	7,0	2,7	4,2	5,7
Taxa de humificação	%	14,6	4,7	2,0	2,7	4,1
Azoto total	g kg ⁻¹	10,7	8,0	8,2	10,3	19,9
Azoto mineral	g kg ⁻¹	2,0	1,4	0,8	1,1	1,2
Azoto amoniacal(N-NH ₄ ⁺)	mg kg ⁻¹	410	172	31	22	70
Razão C/N		23,0	23,9	24,3	18,4	10,8
Fósforo (P)	g kg ⁻¹	7,314	5,372	2,657	10,671	14,971
Potássio (K)	g kg ⁻¹	4,710	3,393	3,301	5,721	10,742
Cálcio (Ca)	g kg ⁻¹	1,364	1,791	1,047	1,980	3,657
Magnésio (Mg)	g kg ⁻¹	2,231	2,262	1,530	2,750	5,943
Sódio (Na)	g kg ⁻¹	0,7	0,6	0,4	0,8	1,3
Condutividade eléctrica (CE)	mS cm ⁻¹	0,869	0,763	0,500	0,918	1,115

Quadro 9 – Caracterização analítica dos compostos (valores expressos na matéri

Parâmetros (mg kg ⁻¹)	Portaria 176/96	LS 1:1	LS 2:1	LC 1:1	LC 3:1
Cobre (Cu)	1000	177	110	59	218
Zinco (Zn)	2500	621	285	164	416
Cádmio (Cd)	20	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>
Chumbo (Pb)	750	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>
Crómio (Cr)	1000	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	22
Níquel (Ni)	300	<i>n.d.</i>	28	<i>n.d.</i>	46

n.d. – não detectável - valor inferior ao limite de detecção do espectrofotómetro de absorção

4. Conclusões

Os materiais experimentados nas misturas são adequados à compostagem, sendo que nas modalidades em que se utiliza o serrim e a casca de pinheiro há que corrigir com azoto (N) de modo a aumentar a biodisponibilidade deste elemento elevando-se o C/N para valores adequados. Apesar desta constatação, ainda assim, constatou-se capacidade de compostagem em graus diferenciados, com maior destaque para a boa compostagem quando a mistura contém bagaço de algodão (N adequado).

Teste de germinação

Dos compostos analisados constatou-se que a mistura LC 3:1 apresenta maior percentagem de germinação em todas as concentrações (de 10 a 40% v/v). Com efeito, para concentrações de até 40% (v/v) a germinação é superior a 98%. Para concentrações de 10% todos os tratamentos apresentam germinação superior a 80%. Para a concentração de 20% (v/v) os tratamentos de LC e LS apresentam germinação acima de 95%. A 30% (v/v) LC e LS apresentam germinação acima de 90%. Os compostos Lc 1:1 e Ls 1:1 revelaram fitotoxicidade a partir das concentrações de 20 % (v/v), e Ls 2:1 apresenta fitotoxicidade a partir de 30 % (v/v). Os piores resultados foram constatados nos tratamentos LAS 3:0,5:0,5 e LAS 3:0,2:0,4, inibindo a germinação das sementes de alface logo para a proporção de 10% (v/v).

Os factores responsáveis pela inibição da germinação podem ter sido: salinidade e o teor em sódio para LAS 3:0,5:0,5 e LAS 3:0,2:0,4; o azoto amoniacal pela acumulação de concentrações tóxicas de amoníaco para as modalidades Ls 1:1, Ls 2:1 e LAS 3:0,2:0,4; e a acidez para o composto Ls 1:1. Outros factores podem ter influenciado os resultados nomeadamente a presença de concentrações tóxicas de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, não tendo contudo sido realizada esta determinação.

Teste de fitotoxicidade

Neste teste não foi detectada fitotoxicidade e denotou-se em todos os compostos e nas duas modalidades de tratamento um aumento na produção de biomassa em relação à testemunha. Mediante os resultados obtidos os compostos estudados podem ser usados quer como substrato quer como correctivos do solo.

Referências Bibliográficas

1. Walter, I., Mirales de Imperial, R., Funes, E. & Bigeriego, M. "Caracterización de los lodos residuales de las estaciones depuradoras del plan de saneamiento integral de Madrid (PSIM)" - in Investigación Agraria, Producción y protección vegetales by Ministerio de Agricultura Pesca e Alimentación, Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias Vol. 4, No 3 (1989)
2. Souteiro, M. & Baptista, M. – "Método de referência – Gutezeichen Kompost RAL-GZ 251 (1992)" - in Proposta de regulamentação sobre qualidade do composto para utilização na agricultura (Norma Portuguesa) (2001).
3. Finstein, M.S. and Miller, F.C. (1985) - "Principles of Composting Leading to Maximisation of Decomposition Rate, Odour Control and Cost Effectiveness", in Composting of Agricultural and Other Wastes, ed. Gasser, J. K. R., Elsevier Applied Sc. Pub., London, pp 13-26.
4. Golueke, C. G. (1981) - "Principles of Biological Recovery". Biocycle, 22. Pp 36-40.
5. Haug, R. T. (1993) - The Practical Handbook of Composting Engineering". Lewis Publishers, Florida, USA.
6. Kiehl, E. J. (1985) - "Fertilizantes Orgânicos, Ed. Agronômica Ceres Ltda., SP, Brasil 492 pp.

7. Lossin, R.D., 1971 "Compost Studies" - Compost Science, Nov.-Dec. (6): 11-16.
8. MacGregor, S. T., *et al.*, (1981) - "Composting process control based on interaction between microbial heat output and temperature". Applied Environmental Microbiology, pp 1000-1009.
9. Mustin, Michel, 1987. *Le compost- gestion de la matière orgânique*. Editions Francois Dubou, Paris.
10. Pereira Neto, J. T. (1987) - "On the Treatment of Municipal Refuse and Sewage Sludge Using Aerated Static Pile Composting - a Low Technology Approach". PhD These University of Leeds, UK. Pp 376.
11. Russo, M. A. T., (1997) - "Compostagem de Resíduos Sólidos: Avaliação de Diferentes Sistemas e Efeito da Recolha na Qualidade do Composto Produzido", Tese para Prof. Coordenador, ESTG/IPVC.
12. Sikora, L.J., *et al.*, (1983) - "Factors Affecting the Composting Process", in Proceedings of International Conference on Composting of Solid Wastes and Slurries, ed. Ed. Stentiford, 1983, pp1-22.