

PRODUÇÃO DE FERTILIZANTE ORGÂNICO POR COMPOSTAGEM DO LODO GERADO POR ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS¹

FERNANDO FERNANDES², ANTONIO CARLOS PIERRO e RODOLFO YASSUHIRO YAMAMOTO³

RESUMO - O lodo gerado pela estação de tratamento de esgotos de Bom Retiro (Londrina, PR) e o bagaço de cana-de-açúcar foram analisados e cinco misturas destes resíduos foram compostadas em leiras aeradas. Quando o lodo passa previamente por longa digestão anaeróbica (4 meses), a atividade microbiológica é pouco intensa. O estágio termófilo foi observado na mistura mais equilibrada em nitrogênio e substratos energéticos. O sistema de aeração permite curto período de estabilização (15 dias), o que favorece a melhor utilização da área de compostagem, caso o processo seja praticado em larga escala. Os níveis de metais pesados observados são baixos se comparados a padrões internacionais. Após 180 dias de maturação os fertilizantes orgânicos apresentam relação C/N entre 12 e 24, facilidade de manuseio, e com 7 a 10% de material húmico solúvel em meio básico.

Termos para indexação: bagaço, cana-de-açúcar, digestão aeróbica, metais pesados.

ORGANIC FERTILIZER PRODUCTION THROUGH COMPOSTING OF SEWAGE SLUDGE

ABSTRACT - Sewage sludge produced by purification plant of Bom Retiro (Londrina-PR) and husks of sugarcane were analyzed and five mixtures of these components were composted in ventilated piles. Sewage sludge with previous excessive anaerobic digestion (4 months) obstructs high levels of microbial activity. Thermophilic stage was attained by the better balanced (nitrogen and energetic components) mixture. Ventilation system leads to a short stabilization period (15 days) which will allow better use of composting area if process is performed on a full scale. The levels of heavy metals observed are low if compared with international standards. After 180 days of ripening, organic fertilizer has C/N rate between 12 and 24, easy handling and 7-10% of humus content.

Index terms: husks, sugarcane, aerobic digesting, heavy metals.

INTRODUÇÃO

As estações de tratamento de esgotos purificam as águas lançadas nos corpos receptores concentrando a poluição no lodo, resíduo que contém microorganismos patogênicos, metais pesados (Sabey 1980) e micropoluentes orgânicos (Tarradellas & Diercxens 1983).

Das alternativas de eliminação do lodo, a reciclagem agrícola, desde que feita com critério, figura como possibilidade eficiente e viável economicamente. O lodo é rico em matéria orgânica,

possui bons teores de fósforo assimilável (Morel 1978) e demais nutrientes (Bettiol & Carvalho 1982).

A compostagem é uma alternativa biotecnológica de tratamento destes resíduos com finalidades agrônômicas (Finstein et al. 1983). O processo permite o controle de microorganismos patogênicos (Burge et al. 1981) e pode produzir um insumo agrícola de boa qualidade. A compostagem pode ser definida como uma biooxidação aeróbica exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizado pela produção de CO₂, água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável (Zucconi & De Bertoldi 1986).

Os componentes orgânicos biodegradáveis passam por etapas sucessivas de transformação sob a ação de diversos grupos de microorganismos (De

¹ Aceito para publicação em 5 de novembro de 1992.

² Eng. - Civil, Dr., Centro de Ciências Agrárias, Dep. de Agron., Univ. Estadual de Londrina. Caixa Postal 6001, CEP 86051-970 Londrina, PR. Bolsista do CNPq.

³ No curso de agron., Univ. Estadual de Londrina.

Bertoldi et al. 1982), que, de acordo com sua temperatura ótima, dividem-se em mesófilos (18-40°C) e termófilos (40-75°C).

No início do processo há grande desenvolvimento dos microorganismos mesófilos, com elevação da temperatura. A 45-50°C diminui a população mesófila, instalando-se a termófila, muito ativa, que eleva a temperatura a 60-70°C e provoca intensa degradação da matéria orgânica (Plat et al. 1984) e eliminação de patógenos.

Em seguida, após um período variável, a temperatura baixa progressivamente e a mistura é considerada estabilizada: os componentes orgânicos mais frágeis foram biodegradados, o substrato não apresenta malcheiro e teve início o processo de humidificação. A fase seguinte, a maturação, ocorre em temperatura ambiente, com pouca atividade microbiológica e predominância de transformações químicas (humificação).

A atividade microbiológica durante a compostagem depende das características físico-químicas do meio (Jeris & Regan 1973, Plat et al. 1984). Os principais fatores a serem observados são o tamanho das partículas, porosidade, umidade, aeração, pH e relação C/N.

Os parâmetros físicos-químicos ideais podem ser respeitados pela combinação de resíduos com características complementares. Neste estudo, o lodo utilizado tem consistência líquida, apresenta partículas sólidas muito finas e contém bom teor de nitrogênio, enquanto o bagaço de cana absorve o excesso de água e apresenta estrutura filamentososa, o que confere porosidade à mistura, além de ser uma fonte de carbono para os microorganismos.

O objetivo deste trabalho foi verificar se a mistura de lodo com bagaço de cana permite um ciclo de compostagem que atinja a fase termófila, investigar a evolução das misturas, bem como a

composição do fertilizante orgânico obtido e sua possível contaminação por metais pesados.

MATERIAL E MÉTODOS

Resíduos

A estação de tratamento de esgotos de Bom Retiro tem capacidade para tratar, no nível secundário, 90 l/s de influentes.

Chegando à estação, e após o tratamento preliminar, as águas servidas passam por um primeiro decantador. Os sólidos em suspensão que decantam nesta fase são recolhidos mecanicamente e constituem o lodo fresco.

Na fase seguinte as águas servidas passam por um tanque de aeração, onde a ação dos microorganismos é mais intensa, havendo também a formação biológica de flocos, que aglomeram as impurezas. Em seguida as águas servidas passam por um segundo decantador, onde sedimenta o lodo ativado.

O lodo ativado e o lodo fresco podem ser misturados num reator anaeróbico, onde permanecem por 40-45 dias, saindo desta digestão com a denominação de lodo digerido (Tabela 1).

O bagaço de cana-de-açúcar é um resíduo das destilarias de álcool e apresenta-se sob forma de fragmentos finos.

O farelo é resíduo das máquinas de beneficiamento de arroz e foi usado em pequenas doses como complemento energético em algumas misturas.

Composição das misturas

A composição das misturas foi determinada tomando-se por base os parâmetros que propiciam boas condições de atividade microbiológica: pH próximo da neutralidade, umidade de 60-65%, relação C/N entre 20 e 60.

O parâmetro umidade limitou a participação dos lodos nas misturas (Tabela 2).

As misturas 1 e 2 foram preparadas exclusivamente com bagaço e lodo. As misturas 3, 4 e 5 foram com-

TABELA 1. Características físico-químicas dos resíduos utilizados, expressas em % do peso seco.

Resíduo	pH	%H ₂ O	%cinzas	%C	%N	C:N	%P	%K	%Ca	%Mg
Lodo fresco	6,2	98-99	10-12	33,3	4,50-5,00	7	3,10	0,12	1,00	0,32
Lodo digerido	7,0	90-91	38-40	23,5	3,00-3,20	7	5,60	0,20	1,86	0,33
Lodo ativado	7,0	98-99	12-13	30,4	6,00-6,50	5	2,90	0,09	0,85	0,38
Bagaço de cana	4,1	50-55	3-6	35,2	0,19-0,21	176	0,06	0,02	0,05	0,02

TABELA 2. Composição das várias misturas, em kg de matéria seca.

Mis-tura	Lodo digerido	Lodo ativado	Lodo fresco	Bagaço de cana	Farelo de arroz	Uréia
1	8,07	-	-	115,00	-	-
2	-	-	7,80	115,00	-	-
3	9,31	-	-	115,00	-	3,00
4	9,31	-	-	115,00	8,00	3,00
5	3,20	5,17	-	115,00	8,00	3,00

plementadas com uréia para aumentar a disponibilidade de nitrogênio. As misturas 4 e 5 receberam farelo de arroz como complemento energético para os microorganismos.

Amostragem

Para a caracterização dos resíduos e das misturas foram coletadas amostras compostas provenientes de 5 pontos distintos, perfazendo um total de 3 kg de matéria úmida.

Temperatura

A temperatura foi medida com termômetro de filamento de mercúrio, diariamente, duas vezes ao dia.

A cada medida a leira foi escavada aproximadamente 20 cm em direção ao centro, onde era introduzido o bulbo até observar-se a temperatura de equilíbrio.

Análises

A umidade foi determinada pela secagem em estufa, a 105°C até peso constante. O teor em elementos minerais foi obtido pesando-se as cinzas produzidas pela calcinação a 800°C durante 5 horas de 3 g da amostra seca.

Após a pesagem as cinzas eram dissolvidas em HCl e a solução filtrada em papel Watman n° 2. A solução, completada a 100 ml, serve à dosagem do fósforo por espectrofotometria óptica e à dosagem dos cátions por espectrofotometria de absorção atômica.

O pH foi determinado na suspensão de 10 g da mistura e 30 ml de água destilada, após 5 minutos de agitação.

O nitrogênio total foi determinado pelo método Kjeldahl, a partir de 2 g de amostra seca e triturada. Amostra idêntica foi utilizada para a dosagem do carbono, por oxidação química da matéria orgânica.

Os metais pesados foram extraídos de acordo com a metodologia descrita por Andersson (1976). A dosagem foi feita por espectrofotometria de absorção atômica.

Os ácidos húmicos e fúlvicos foram extraídos de acordo com a metodologia descrita por Duchaufour & Jacquin (1963).

Técnica de compostagem

Numa variação do método Beltsville (Finstein et al. 1983), as misturas foram preparadas e colocadas sobre tubos de PVC perfurados de 25 mm de diâmetro, dispostos em forma de espinha de peixe, por onde era injetado ar comprimido.

As misturas foram dispostas em leiras de perfil triangular (1,5 m de base e 1,0 m de altura) de 3 m de comprimento.

Uma vez disposta no local, a leira era recoberta com lona de plástico para evitar a evaporação excessiva da água e limitar as perdas de calor.

Após o período de estabilização (25 a 28 dias), as misturas eram transportadas para a área de maturação e dispostas em leiras sem aeração.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Temperatura

As misturas 1 e 2 não atingiram o estágio termófilo (Fig. 1 e 2). Elas não receberam qualquer complemento mineral, e, como o lodo tem participação limitada, a relação C/N destas misturas é muito alta (Tabela 3).

A mistura 3 possui composição similar à 1, porém recebeu uréia como complemento mineral, o que tornou a relação C/N mais favorável à ação dos microorganismos. Isto não bastou para que a mistura atingisse o estágio termófilo (Fig. 3). O lodo, por característica de funcionamento da estação, havia ficado em digestão anaeróbica por mais de 4 meses. Desta forma, a excessiva mineralização do lodo e a falta de alimentos energéticos facilmente biodegradáveis limitaram a atividade microbiológica.

À mistura 4 foi adicionado farelo de arroz. Após 6 dias de compostagem, a temperatura se aproximou de 60°C (Fig. 4), baixou em seguida, para apresentar novo pico após 15 dias.

Na mistura 5 foram utilizados lodo ativado e lodo digerido. A temperatura elevou-se gradativamente até atingir 60°C no 3° dia (Fig. 5). O estágio termófilo dura aproximadamente 5 dias.

A Fig. 5 mostra que, mesmo quando o processo de compostagem se desenvolve favoravelmente, a fase de estabilização é curta, durando aproximadamente 15 dias, resultado da aeração que acelera os processos de biodegradação e do baixo teor de alimento energético disponível para os microorganismos.

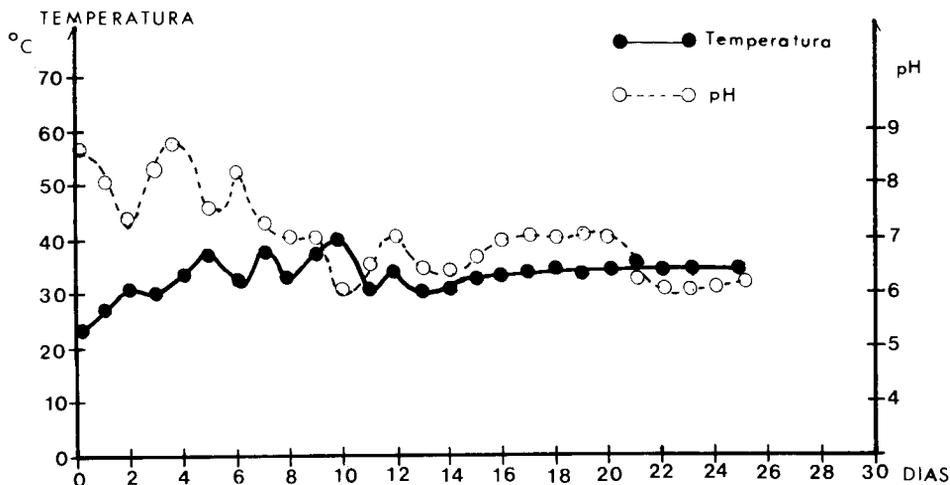


FIG. 1. Evolução da temperatura e do pH na mistura 1.

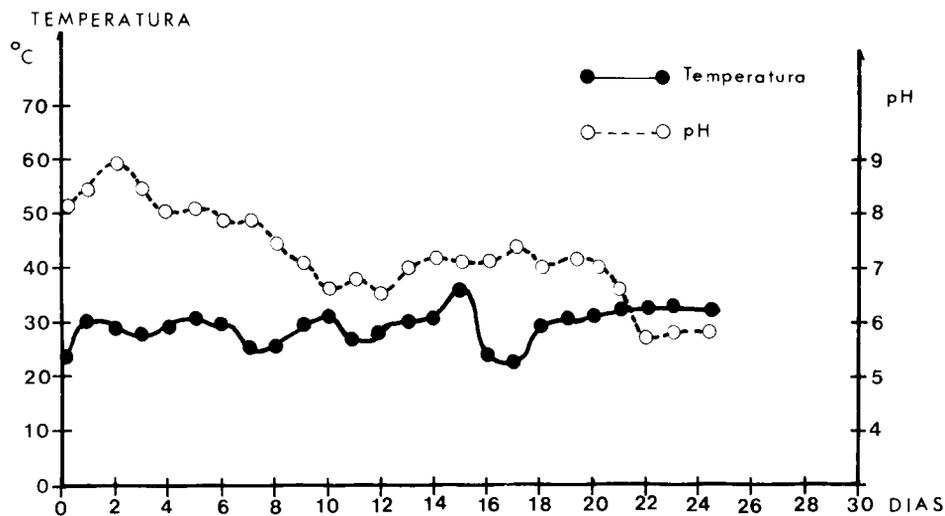


FIG. 2. Evolução da temperatura e do pH na mistura 2.

TABELA 3. Evolução da relação C/N e do teor em matéria orgânica, C e N expressos em % em relação ao peso seco.

Mistura	Início				30 dias				60 dias				180 dias			
	MO	C	N	C/N	MO	C	N	C/N	MO	C	N	C/N	MO	C	N	C/N
1	61,1	23,1	0,38	61	55,9	20,1	0,42	48	46,1	16,5	0,45	37	40,2	15,2	0,51	30
2	64,2	22,4	0,40	56	56,1	21,3	0,43	49	47,2	17,9	0,50	36	42,9	15,4	0,63	24
3	68,6	26,0	0,78	33	53,3	19,7	0,80	25	52,0	19,2	0,85	22	39,2	14,5	0,95	15
4	65,4	25,5	0,80	31	54,4	20,1	0,85	24	49,0	16,6	0,90	18	38,1	13,7	0,97	14
5	63,4	21,5	0,91	23	51,6	18,5	0,93	20	43,7	16,5	0,99	17	36,6	12,8	1,10	12

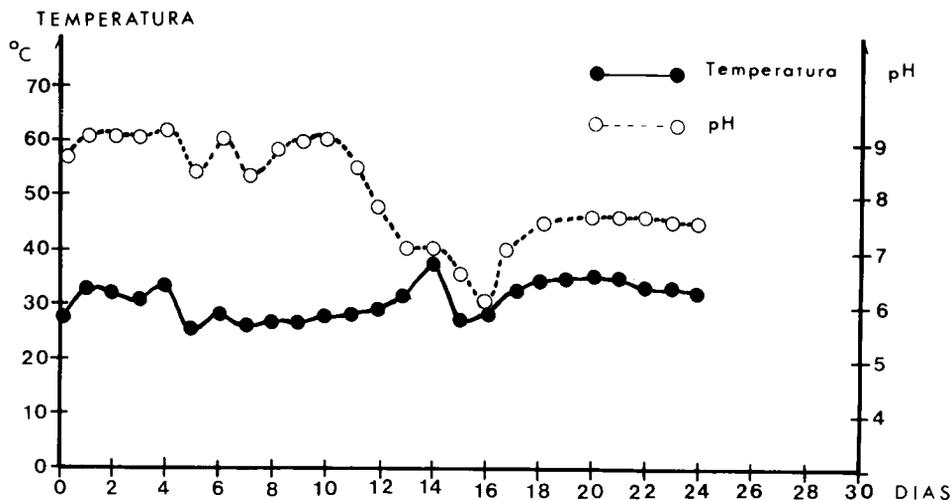


FIG. 3. Evolução da temperatura e do pH na mistura 3.

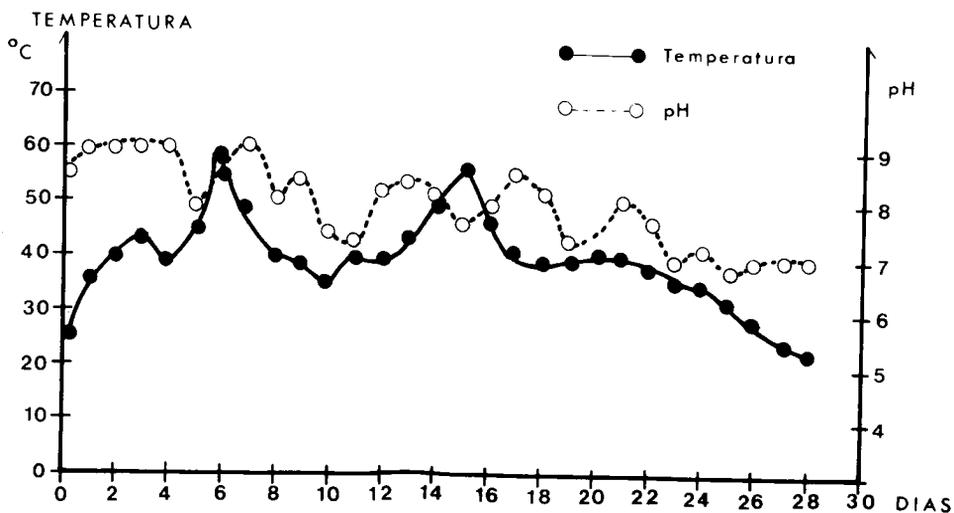


FIG. 4. Evolução da temperatura e do pH na mistura 4.

pH

Em todos os casos a evolução do pH esteve dentro dos limites favoráveis à atividade microbológica (Fig. 1 a 5).

As misturas 3, 4 e 5, enriquecidas com uréia, apresentaram níveis de pH mais elevados, conseqüência da hidrólise da uréia com conseqüente liberação de amônia.

Matéria orgânica e relação C/N

A bioxidação de um substrato orgânico e a

conseqüente perda de carbono implicam diminuição da relação C/N do substrato e concentração aparente de elementos minerais.

As relações C/N das misturas (Tabela 3), embora distintas no início do processo, apresentam tendência convergente ao longo do tempo. As transformações mais rápidas ocorrem no início do processo, e após 180 dias as relações C/N, à exceção da mistura 1, estão em níveis aceitáveis para a utilização agrícola.

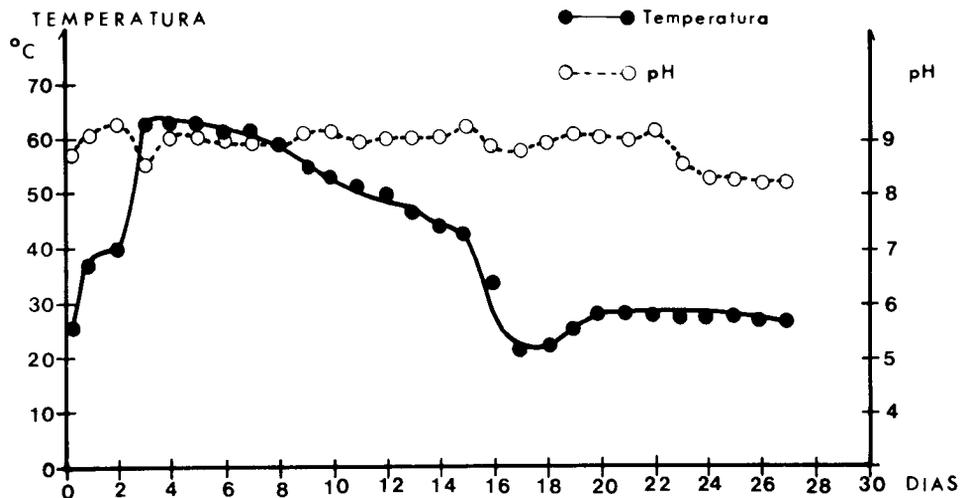


FIG. 5. Evolução da temperatura e do pH na mistura 5.

Metais pesados

Os metais pesados contidos no lodo provêm de efluentes industriais, de águas pluviais e, em menor grau, dos esgotos domésticos.

Os lodos estudados são pouco contaminados por metais pesados (Tabela 4), pois a estação recebe poucos efluentes industriais. Além disso, na preparação da compostagem, o lodo é misturado a grande quantidade de bagaço de cana, o que dilui ainda mais a concentração de alguns metais no produto final.

Vários países, de acordo com seus critérios e condições de solo, estabeleceram limites em teores de metais pesados para que os lodos possam ser utilizados como fertilizantes (Tabela 5).

Com referência neste indicativo, ainda que preliminarmente, os metais pesados não devem constituir empecilho para a reciclagem agrícola dos lodos em questão. No caso de se efetivar esta prática, é aconselhável um monitoramento para as características do lodo e dos solos que recebem o fertilizante.

Características do produto final

Após 6 meses de maturação, as misturas apresentam as composições mostradas pela Tabela 6.

Os teores de nitrogênio e fósforo poderiam ser mais elevados se o lodo fosse mais seco e pudesse ter maior participação nas misturas. Os teores de

TABELA 4. Teor de metais pesados nos resíduos e misturas utilizados, expressos em ppm em relação ao peso seco.

Resíduo	Al	Ba	Cd	Pb	Cu	Cr	Fe	Mn	Ag	Zn
Lodo ativado	6.910	142	2	97	160	128	7.269	82	22	1.038
Lodo digerido	8.563	110	N.D.	89	132	60	8.527	152	25	705
Lodo fresco	16.091	202	6	309	296	176	12.570	275	43	1.501
Composto 1	21.700	27	N.D.	38	78	60	15.135	277	11	89
Composto 2	16.459	62	N.D.	126	106	68	11.821	180	16	258
Composto 3	19.947	39	N.D.	82	80	44	12.681	266	12	212
Composto 4	17.101	44	N.D.	72	79	52	11.487	199	13	195
Composto 5	13.245	60	N.D.	94	93	56	11.789	201	15	272

TABELA 5. Teores máximos de metais pesados admitidos (mg/kg de matéria seca) para que lodos de estações de tratamento de esgotos possam ser incorporados ao solo (Kofeod 1983).

	Dina-marca	Suécia	Alema-nha	Suiça	C.E.E.
Pb	400	300	1.200	1.000	750
Cd	8	15	30	30	20
Cr	-	1.000	1.200	1.000	750
Co	-	50	-	100	-
Cu	-	3.000	1.200	1.000	1.000
Ni	30	500	200	200	300
Hg	6	8	25	10	16
Zn	-	10.000	3.000	3.000	2.500
Mn	-	-	-	500	-
Mo	-	-	-	-	-

potássio são baixos, pois, sendo muito solúvel, pouco deste elemento fica retido no lodo.

O baixo teor de matéria orgânica observado após 180 dias de maturação (Tabela 6) mostra que os compostos estão em avançado processo de humificação. Esta hipótese é confirmada pela evolução dos teores de ácidos húmicos e fúlvicos extraídos em meio básico. Pode-se observar que há um incremento ao longo do tempo (Tabela 7) na quantidade total de húmus estável, com predominância dos ácidos húmicos, o que é um indicador do bom índice de polimerização da fração extraída (Viel 1989).

CONCLUSÕES

1. É possível tratar por compostagem os resíduos produzidos pela estação de Bom Retiro.
2. A adição de um resíduo energético para os

TABELA 6. Características das misturas após 6 meses de maturação, expressas em % e ppm em relação ao peso seco.

Composto	pH	MO	N%	P%	K%	Ca%	Mg%	Na (ppm)
1	5,9	40,2	0,51	0,07	0,09	0,25	0,07	66
2	5,6	42,9	0,63	0,34	0,07	0,82	0,12	16
3	5,1	39,2	0,95	0,15	0,11	0,75	0,13	9
4	4,9	38,1	0,97	0,34	0,14	0,57	0,18	12
5	4,9	36,1	1,10	0,40	0,14	0,68	0,15	10

TABELA 7. Teor de ácidos húmicos e fúlvicos, expressos em % em relação ao peso seco.

Composto	120 dias			180 dias		
	Ácidos húmicos	Ácidos fúlvicos	Total	Ácidos húmicos	Ácidos fúlvicos	Total
1	3,55	1,32	4,87	6,20	2,10	8,30
2	5,81	1,12	6,93	7,32	2,61	9,90
3	4,60	1,79	6,39	5,50	2,00	7,50
4	4,81	1,22	6,03	5,47	1,82	7,20
5	5,02	1,22	6,24	8,90	1,73	10,70

microorganismos foi necessária para a instalação da fase termófila.

3. A tecnologia proposta permite curto período de estabilização (15 dias) e pode ser reproduzida em escala industrial.

4. Os níveis de metais pesados são baixos, se confrontados com padrões internacionais.

AGRADECIMENTOS

Ao Eng. Químico Cláudio Waldir Nunes, chefe da Divisão de Controle de Qualidade da SANEPAR (Londrina), e aos funcionários da estação de tratamento de esgotos de Bom Retiro pelo apoio prestado.

Ao Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) pelas dosagens das soluções por espectrofotometria de absorção atômica.

Ao corpo docente e aos funcionários do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Londrina.

REFERÊNCIAS

- ANDERSSON, A. On the determination of some heavy metals in organic material. *Swedish Journal of Agricultural Research*, v.6, p.145-150, 1976.
- BETTIOL, W.; CARVALHO, P.C.T. Lodo de esgoto como fertilizante para a cultura do milho (*Zea mays* L.) híbrido HMD-7974. *Fertilizantes*, v.4, n.3, p.9-11, dez. 1982.
- BURGE, W.D.; COLLACICCO, D.; CRAMER, W.N. Criteria for achieving pathogen destruction during composting. *Journal of Water Pollution Control*, v.53, n.12, p.1683-1689, 1981.
- De BERTOLDI, M.; VALLINI, G.; PERA, A. Ecologia microbica del compostaggio. *Annales de Microbiologie*, v.32, p.121-135, 1982.
- DUCHAUFOR, P.; JACQUIN, F. Recherche d'une méthode d'extraction et de fractionnement de composés humiques contrôlée par électrophorèse. *Annales Agronomiques*, v.14, n.6, p.885-919, 1963.
- FINSTEIN, M.S.; MILLER, F.C.; STROM, P.F.; Mac GREGOR, S.T.; PSARIANOS, K.M. Composting ecosystem management for waste treatment. *Biotechnology*, v.1, n.4, p.347-353, 1983.
- JERIS, J.S.; REGAN, R.W. Controlling environmental parameters for optimum composting III: pH, nutrients, storage and paper content. *Compost Science*, v.14, n.3, p.16-22, 1973.
- KOFOED, A.D. Optimum use of sludge in agriculture. In: UTILIZATION OF SEWAGE SLUDGE ON LAND: RATES OF APPLICATION AND LONG-TERM EFFECTS OF METALS, 1983, Uppsala, *Anais...* Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1983. p.2-21.
- MOREL, J.L. Boues résiduares et fertilisation phosphatée. *Phosphore et agriculture*, n.73, p.15-22, 1978.
- PLAT, J.Y.; SAYAG, D.; ANDRE, L. High rate composting of wool industry wastes. *Biocycle*, v.25, n.2, p.39-42, 1984.
- SABEY, B.R. The use of sewage sludge as a fertilizer. In: HANDBOOK OF WASTE CONVERSION. New York: M. Van Nostrand Reinhold Company, 1980. p.72-134.
- TARRADELLAS, J.; DIERCXSENS, P. Les micropolluants organiques dans les boues d'épuration. *Schweizer Archiv fur Tierheilkunde*, n.125, p.589-605, 1983.
- VIEL, M. **Contrôle et valorisation de la thermogénèse au cours de la biodégradation aérobie de déchets agro-industries et urbains à teneurs variables en graisses.** Toulouse: Institut National Polytechnique de Toulouse, 1989. 166p. Thèse de Doctorat.
- ZUCCONI, F.; De BERTOLDI, M. Compost specifications for production and characterization of compost from municipal solid waste. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM COMPOST: PRODUCTION, QUALITY AND USE. Udine, 1986. *Anais...* Londres: Elsevier Applied Science Publishers, 1986. p.31-50.