

ANÁLISE COMPARATIVA DA ADEQUAÇÃO DA RELAÇÃO C/N E DO ÍNDICE CT/COT COMO PARÂMETROS DA EVOLUÇÃO DA COMPOSTAGEM

Ed Carlo Rosa Paiva (*), Antonio Teixeira de Matos, Renata Tâmara de Barros, Tatiana Dias Ribeiro da Costa
* Universidade Federal de Goiás, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil, Campus Catalão. Email: edcarlopaiva@yahoo.com.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar comparativamente a adequação da relação C/N e do índice CTC/COT como parâmetros da evolução da compostagem de carcaças de frango. O experimento, que consistiu na compostagem de carcaças de frango pelos métodos da composteira e leiras estáticas aeradas (LEAs), foi conduzido nas dependências do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da Universidade Federal de Viçosa, no período de julho de 2007 a janeiro de 2008. Os materiais utilizados na compostagem foram a cama-de-frango, o bagaço de cana-de-açúcar, a palha de café e a carcaça de frango. As proporções dos materiais (cama de frango, bagaço de cana-de-açúcar, carcaça de frango e água) utilizados na montagem dos diferentes tratamentos, tendo sido utilizados 0,3 kg de bagaço de cana-de-açúcar ou palha de café para cada 1 kg de carcaça de frango e 2 kg de cama-de-frango. A composteira foi construída com uma área e altura útil de $(1,5 \times 1,5) \text{ m}^2$ e 1,5 m, respectivamente e as LEAs com aproximadamente 2 m de base, 1 m de altura e 3 m de comprimento. A composteira e a LEA 01, montadas com carcaças de frango inteiras, foram montadas de forma estratificada. Diante dos resultados obtidos pode-se concluir que a relação C/N não se mostrou adequada para descrever a evolução da compostagem desse tipo de resíduo e, especialmente o final das fases termofílica ou de degradação ativa e de maturação ou humificação; O índice CTC/COT se mostrou mais adequado para descrever o processo de compostagem. Enquanto a CTC descreveu a redução do tamanho das partículas e conseqüentemente o aumento da superfície específica além dela estar relacionada ao processo de humificação o COT descreveu a presença de matéria orgânica presente e, assim, a sua redução indicou a redução da matéria orgânica ou a mineralização do material em compostagem.

PALAVRAS-CHAVE: compostagem, relação C/N, índice CTC/COT.

INTRODUÇÃO

O elevado crescimento populacional no planeta tem gerado, proporcionalmente, uma maior demanda por alimentos, e, conseqüentemente, grande quantidade de resíduos, o que constitui grande problema de ordem social, econômica e ambiental. Dentre as atividades produtoras de alimentos encontra-se a produção de frangos de corte.

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de carne de frango, ficando atrás apenas dos Estados Unidos e da China, sendo o maior exportador de carne de frango do mundo. Segundo dados da UBA (União Brasileira de Avicultura), em 2009, o Brasil produziu aproximadamente 11 milhões de toneladas, o que representou no cenário mundial cerca de 15%, ficando atrás dos Estados Unidos com, aproximadamente, 16 milhões de toneladas (22%) e a China cerca 12 milhões de toneladas (16,9%). O mesmo relatório relata que a carne de frango se encontra em segundo lugar no *ranking* da produção mundial de carnes, com 71,7 milhões de toneladas. O valor apresentado, correspondente a um aumento de 0,39% em relação ao ano de 2008, embora aparentemente pequeno é, na visão de especialistas, reflexo positivo, considerando-se tratar de um período de recuperação econômica mundial após a crise iniciada em 2008.

Com o aumento na produção de carne de frango, agrega-se um proporcional aumento na quantidade de resíduos gerados na atividade de criação dessas aves. Considerando que cada ave de corte produz de 1 a 1,5 kg de excretas durante a criação, e que o Brasil produziu aproximadamente 5,13 bilhões de frangos em 2011 (SILVA, 2012), que significou uma produção de, aproximadamente, 6,4 milhões de toneladas de excretas, naquele ano, no Brasil.

Segundo a Associação de Avicultores da Zona da Mata de Minas Gerais (AVIZOM) a cama de frango descartada dos criatórios, antes Instrução Normativa nº 8, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2004), que proibiu a prática de alimentar outros animais com a cama de frango, não constituía problema ambiental. Ao contrário, essa cama de frango era responsável pela viabilidade econômica do sistema de integração de frango na região, uma vez que todo esse material era comercializado como suplemento alimentar de gado. Entretanto, segundo a mesma entidade, as carcaças de aves mortas durante a fase de criação eram enterradas, lançadas nos rios da região, ou ainda, utilizadas como alimento para outros animais.

Nesse sentido, torna-se urgente o desenvolvimento de tecnologias que possibilite a destinação adequada, sob o ponto de vista sanitário e ambiental, se possível, com o aproveitamento desse resíduo para fins agrícolas.

Um das técnicas mais difundidas em todo mundo para o tratamento e disposição de resíduos orgânicos é a compostagem. Essa técnica apresenta uma série de variantes, tais como leiras reviradas manualmente ou mecanicamente, leiras estáticas, reatores fechados mecanizados e composteiras, utilizadas no tratamento dos mais diferentes tipos de resíduos orgânicos. A técnica da compostagem, sendo bem conduzida, produz como produto final um material estabilizado quimicamente e livre de microrganismos patogênicos. Tal produto, denominado composto, caracteriza-se por ser um material humificado e excelente condicionador do solo.

Estudos sobre compostagem em leiras tem sido desenvolvidos para diferentes tipos de resíduos, como bagaço de cana-de-açúcar, capim Napier picado, palha de café, aparas de madeira e resíduo de suinocultura (MATOS *et al.*, 1998; ROS *et al.*, 2006; CHIUMENTI *et al.*, 2007), utilizando reviramento; lodos de águas residuárias e a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (GUARDIA *et al.*, 2008, WANG *et al.*, 2011); utilizando leiras estáticas aeradas.

A compostagem de carcaças de aves, entretanto, tem sido desenvolvida, basicamente, pelo método da composteira, em geral, seguido do processo de leiras por reviramento manual (KUMAR, *et al.* 2007; ORRICO JUNIOR, *et al.*, 2010; PAIVA, *et al.*, 2012). Segundo Graves *et al.* (2000), a compostagem de carcaças em composteira é a técnica de tratamento de custo e tecnologia mais acessível aos produtores de aves. Entretanto, o processo por Leiras Estáticas Aeradas (LEAs) tem sido um dos mais difundidos para o tratamento de resíduos orgânicos por apresentar custos de operação similares ao processo “Windrow”, além de ser o único processo que combina adequada eliminação de patógenos com alto grau de estabilização do material orgânico (GOLUEKE, 1980). Devido a essas características, acredita-se que tal processo possa ser excelente alternativa à crescente demanda de tratamento e disposição final dos resíduos gerados na produção de carnes de frango no Brasil.

Para avaliar o desenvolvimento do processo de compostagem a variável mais utilizada tem sido a relação C/N, ou seja, a proporção entre os nutrientes Carbono e Nitrogênio, na massa em compostagem. Porém, estudos tem mostrado que essa variável não tem apresentado bons resultados quando da compostagem de resíduos com alto de Nitrogenio e, portanto, baixa relação C/N, como é caso de resíduos de carcaças de animais. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi analisar comparativamente a adequação da relação C/N e do índice CTC/COT como parâmetros da evolução da compostagem de carcaças de frango.

METODOLOGIA

O experimento, que consistiu na compostagem de carcaças de frango pelos métodos da composteira e leiras estáticas aeradas (LEAs), foi conduzido nas dependências do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da Universidade Federal de Viçosa, no período de julho de 2007 a janeiro de 2008. Os materiais utilizados na compostagem foram a cama-de-frango, o bagaço de cana-de-açúcar, a palha de café e a carcaça de frango.

As proporções dos materiais (cama de frango, bagaço de cana-de-açúcar, carcaça de frango e água) utilizados na montagem dos diferentes tratamentos seguiram as recomendações de DAM, *et al.* (2009), tendo sido utilizados 0,3 kg de bagaço de cana-de-açúcar ou palha de café para cada 1 kg de carcaça de frango e 2 kg de cama-de-frango. A composteira foi construída com uma área e altura útil de (1,5 x 1,5) m² e 1,5 m, respectivamente e as LEAs com aproximadamente 2 m de base, 1 m de altura e 3 m de comprimento. A composteira e a LEA 01, montadas com carcaças de frango inteiras, foram montadas de forma estratificada segundo recomendações de DAM *et al.* (2009). A montagem da composteira iniciou com a colocação de uma camada de 45 cm de cama de frango seca no fundo seguida de uma camada de 15 cm de palha de café. Depois disso, adicionou-se uma camada de carcaças, cobrindo em seguida com cama de frango até haver a formação de uma camada de, pelo menos, 5 cm de material sobre as carcaças. Adicionou-se água (o equivalente a 20% da massa das carcaças) sobre o material, para umedecê-lo. Repetiu-se essa sequência até ser colocada a última camada de aves. Cobriu-se, então, a pilha de material com uma camada dupla de cama de frango seca. Para LEA 01 obedeceu-se a mesma sequência, porém com a cama de frango e o bagaço de cana misturado antes da colocação no fundo, entre as carcaças e cobertura final. Nas LEAs 02 e 03, que utilizaram carcaças frango trituradas, antes da montagem os resíduos foram pré-misturados buscando a sua homogeneização, segundo recomendações de PEREIRA NETO (2007).

As LEAs continham cada uma um ventilador centrífugo (motor elétrico de ¼ HP de potência) de funcionamento controlado por timer analógico (precisão de 15 minutos) e termostato digital (precisão de 0,1 °C). As leiras foram montadas com seção transversal trapezoidal (LEA 01) e triangular (LEA 02 e 03) com medidas aproximadas de 2 m de base maior, 1, 5 m de base menor (LEA 01) e 1 metro de altura e comprimento de 3 m.

Os experimentos foram montados e monitorados foram: Tratamento 1: Composteira: carcaças de frango inteiras, palha de café e cama de frango. Tratamento 2: LEA 01: carcaças de frango inteiras, bagaço de cana-de-açúcar e cama de frango. Tratamento 3: LEA 02: carcaças de frango trituradas, bagaço de cana-de-açúcar e cama de frango. Tratamento 4: LEA 03: carcaças de frango trituradas, palha de café e cama de frango.

As variáveis monitoradas foram: temperatura, em três pontos da massa (base, centro e topo); relação C/N; Carbono Orgânico Total (COT = sólidos voláteis (SV)/1.8). As temperaturas foram monitoradas diariamente, a relação C/N, e COT = SV/1.8 (em base seca) foram determinadas a cada 15 dias (nos primeiros 60 dias) nas LEAs e a cada 20 dias (nos primeiros 60 dias) na composteira. As análises seguiram as recomendações de COT (KIEHL, 1985), nitrogênio total Kjeldahl e conteúdo de água (STANDARD METHODS, 1998). A CTC foi determinada pelo método proposto por HARADA E INOKO (1980). Na condução dos experimentos em LEAs, buscou-se manter o conteúdo de água na faixa 45 e 55 dag kg⁻¹, considerada ideal, segundo KIEHL (1985) e PEREIRA NETO (2007), para rápida degradação do material orgânico.

Para consideração do fim da fase ativa, bem como da fase de maturação, foram seguidas as recomendações apresentadas por KIEHL (1985). Assim, o fim da fase ativa de degradação foi considerado alcançado quando a relação C/N do material passou a ser menor que 18/1 e, ou, a temperatura das pilhas menor que 40°C. Findada a fase ativa o material das leiras e da composteira foram transportados para pátio para que ocorresse a fase de maturação. A fase de maturação foi considerada findada quando a relação C/N no material ficou em torno de 10/1, valor indicativo de estabilização do material, conforme sugerido por KIEHL (1985).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, estão apresentados os valores obtidos para as variáveis CTC, COT e relação C/N determinadas durante o período de compostagem do material, além dos valores calculados do índice CTC/COT.

Como pode ser observado na Tabela 1 a relação C/N de todos os tratamentos, já após 60 dias de compostagem, apresentaram valores superiores aos iniciais. Tal comportamento tem sido observado por outros autores em experimentos semelhantes e com resíduos semelhantes.

Kumar *et al.* (2007), trabalhando com composteira, também observaram aumento no valor da relação C/N no composto final, em comparação com o obtido inicialmente. Esses autores obtiveram valores finais de relação C/N de 15,9 (±0,76) a 23,19 (±4,62), no tratamento com palha de arroz e de 16,35 (±1,06) a 18,0 (±1,64) no tratamento com feno de sorgo. Flynn & Wood (1996), analisando as mudanças químicas e de temperaturas na compostagem de cama de frango, também observaram, em leiras que iniciaram com relação C/N de 24, 26 e 26:1, após 84 dias de compostagem, relações C/N aumentadas ou ligeiramente reduzidas para valores de 22; 27 e 28:1, respectivamente. Acredita-se que tal comportamento seja devido às altas concentrações de nitrogênio e baixas relações C/N, presentes inicialmente no material a ser compostado seguidas de perda por volatilização da amônia ao longo do processo. Nestas circunstâncias a relação a relação C/N não se mostrou um bom parâmetro de avaliação do processo, tal como previsto inicialmente na metodologia.

Como pode ser observado, tanto a CTC como o índice CTC/COT foram aumentando à medida que o processo de degradação do material orgânico ocorria. Isto já era esperado, uma vez que tais variáveis estão relacionadas com o grau de humificação ou maturação do composto. A CTC, após 60 dias de manutenção do material na composteira, foi de 175 cmol_c kg⁻¹, o COT foi 41,5 dag kg⁻¹ e a relação CTC/COT foi de 4,2. Após 90 dias de compostagem, 30 dias de reviramento no pátio de compostagem, o material retirado da composteira apresentou CTC de 209 cmol_c kg⁻¹, COT de 36,4 dag kg⁻¹ e relação CTC/COT de 5,8.

Nos primeiros 30 dias de compostagem do material, no 2º Estágio do processamento, houve acréscimo de 19% no valor da CTC, juntamente com redução de 12,4 dag kg⁻¹ na concentração de COT. Isto ocorreu devido à degradação da matéria orgânica no reviramento ter sido muito mais rápida que no primeiro estágio, o que proporcionou maior humificação do material, proporcionando aumento no valor da CTC e a transformação do COT em dióxido de carbono, reduzindo, com isso, sua concentração. Além disso, estes valores corroboram, juntamente com a pequena redução na concentração de SV, com a idéia de que, no primeiro estágio, tal como conduzido pelos avicultores da Zona da Mata Mineira, praticamente, não ocorre degradação bioquímica do material. Sendo assim, os valores obtidos após os 60 dias podem ser considerados, aproximadamente, os valores que seriam obtidos por balanço de massa dos materiais compostados antes mesmo do início do experimento.

Tabela 1. Variáveis monitoradas durante o período de compostagem do material.

Experimentos	Dias	C/N	CTC (cmol _c kg ⁻¹)	COT (dag kg ⁻¹)	CTC/COT
COMPOSTEIRA	0	19,2	Não analisado	46.0	Não determinado
	20	9,6	Não analisado	45.5	Não determinado
	40	13,3	Não analisado	46.5	Não determinado
	60	27,6	175	41.5	4.2
	90	22,7	209	36.4	5.8
LEA 01	0	13,8	Não analisado	47.8	Não determinado
	15	5,8	Não analisado	46.0	Não determinado
	30	8,9	Não analisado	41.5	Não determinado
	45	9,3	192	36.4	5.3
	60	17,9	180	34.3	5.3
	90	18,1	Análise perdida	33.7	Não determinado
LEA 02	0	13,8	Não analisado	47.8	Não determinado
	15	9,0	Não analisado	41.9	Não determinado
	30	8,9	196	37.7	5.2
	45	8,4	192	37.4	5.1
	60	15,1	215	30.9	7.0
	90	14,6	197	34.0	5.8
LEA 03	0	13,6	Não analisado	47.8	Não determinado
	15	8,4	Não analisado	45.0	Não determinado
	30	7,5	183	40.5	4.5
	45	8,0	198	34.0	5.8
	60	17,8	Análise perdida	35.1	Não determinado
	90	17,4	212	21.8	9.7

Rodella & Alcarde, (1994) misturando serragem e turfa, em diferentes proporções, verificou que a CTC e a relação CTC/COT variou proporcionalmente ao teor de matéria orgânica presente na mistura. Nesse experimento, a CTC variou de 5,48 cmol_c kg⁻¹, na mistura com 0% de turfa, até 51,57 cmol_c kg⁻¹, na mistura com 41% de turfa. A relação CTC/COT variou de 0,35 a 3,38. Segundo HARADA & INOKO (1980), valores de CTC/COT superiores a 1,7 indicam bom grau de humificação do material orgânico. De acordo com esse valor de referência, os compostos orgânicos obtidos neste trabalho podem ser classificados da seguinte forma: O material da composteira apresentou coeficiente de humificação de cerca de 2,5 vezes o valor de referência (1,7), já no final do 1º estágio de degradação, e de 3,5 vezes, nos 30 primeiros dias do 2º estágio; O material da LEA 01 apresentou coeficiente de humificação, aos 45 dias de compostagem, de 3 vezes o valor de referência (1,7). Após 60 dias de compostagem, essa relação se manteve; O material da LEA 02 apresentou coeficiente de humificação de 3 vezes o valor de referência (1,7), aos 30 dias e, manteve esse coeficiente aos 45 dias. Aos 60 dias, o coeficiente de maturação foi 4 vezes superior ao valor de referência e, aos 90 dias, esse valor reduziu para 3,4; O material da LEA 03 apresentou coeficiente de humificação de 2,7, aos 30 dias, de 3,4, aos 45 dias e de 5,7, aos 90 dias.

Avaliando os índices obtidos nos processos de compostagem que têm, em sua composição, os mesmos materiais, observa-se que: O material da LEA 03 apresentou coeficiente de maturação, aos 90 dias (9,7), 1,7 vezes o valor obtido no material da composteira (5,25). Como pode ser observado na Tabela 1, este valor foi conseguido não pelo ganho em termos de CTC, mas da redução na concentração de COT; O material da LEA 02 apresentou coeficiente de maturação, aos 90 dias, 1,3 vezes o valor obtido no material da LEA 01. Essa diferença é devida ao ganho, em termos de CTC, e também à redução na concentração de COT.

Diante destes resultados, acredita-se, que embora sem os resultados do índice CTC/COT das matérias primas e da mistura inicial, o referido índice tenha retratado melhor a evolução do processo de compostagem. Isso, porque enquanto a CTC descreve a redução do tamanho das partículas e consequentemente o aumento da superfície específica além dela estar relacionada ao processo de humificação o COT ($COT=SV/1.8$) está relacionado aos sólidos voláteis ou a matéria orgânica ainda presente. Assim, a sua redução indica também a redução da matéria orgânica ou a mineralização do material em compostagem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos pode-se concluir que:

A relação C/N não se mostrou adequada para descrever a evolução da compostagem desse tipo de resíduo e, especialmente o final das fases termofílica ou de degradação ativa e de maturação ou humificação; O índice CTC/COT se mostrou mais adequado para descrever o processo de compostagem. Enquanto a CTC descreveu a redução do tamanho das partículas e consequentemente o aumento da superfície específica além dela estar relacionada ao processo de humificação o COT descreveu a presença de matéria orgânica presente e, assim, a sua redução indicou a redução da matéria orgânica ou a mineralização do material em compostagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – *Standard methods for the examination of water and wastewater*. New York: APHA, WWA. WPCR, 20th Ed., 1998.
2. BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução Normativa No. 8/2004. **Proíbe em todo território nacional a produção, comercialização e a utilização de produtos destinados à alimentação de ruminantes que contenham em sua alimentação proteínas e gordura de origem animal**. Brasília, 2004.
3. DAM, A.; NIBBELINK, B. G.; WARD, D. Windrow Composting of Poultry Carcasses. Order n. 09-017, AGDEX 720/450, April 2009. Disponível em: <http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/>. Acesso em: 01/02/2011.
4. FLYNN, R.P.; WOOD, C.W. *Temperature and Chemical Changes During Composting of Broiler Litter*. *Compost Science & Utilization* (1996), vol. 4, No. 3, p. 62-70.
5. GOLUEKE, C.G. **Composting combined refuse and sewage sludge**. *Compost Science land utilization, USA*, 1980.
6. GRAVES, R.E.; HATTEMER, G.M.; STETTLER, D.; KRIDER, J.N.; CHAPMAN, D. **Composting**. In: UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE. Part 637 Environmental Engineering - National Engineering Handbook. Washington, 2000. 88p.
7. GUARDIA, A.; PETIOT, C.; ROGEAU D. Influence of aeration rate and biodegradability fractionation on composting kinetics. **Waste Management**, n. 28, p.73–84, 2008.
8. HARADA, Y.; YNOKO, A. *Relationship between cation-exchange capacity and the degree of maturity of city refuse composts*. *Soil Sci. Plant Nutr.* 26, 1980. p.353-362.
9. KIEHL, E.J. *Fertilizantes Orgânicos*. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1985, 492p.
10. KUMAR, V.R.S., SIVAKUMAR, K., PURUSHOTHAMAN, M.R., NATARAJAN, A.; AMANULLAH, M.M. *Chemical Changes During Composting of Dead Birds With Caged Layer Manure*. *Journal of Applied Sciences Research*, 3(10): 1100- 1104. INSInet Publication, 2007.
11. PEREIRA NETO, J. T. *Manual de compostagem, Processo de baixo custo* – ed. Revisada e aumentada. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007. 81 p.

12. MATOS, A. T.; VIDIGAL, S. M.; SEDIYAMA, M. A. N.; GARCIA, N. C. P.; RIBEIRO, M. F. Compostagem de alguns resíduos orgânicos utilizando-se águas residuárias da suinocultura como fonte de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.2, p.199-203, 1998
13. ORRICO JÚNIOR, M.A.P.; ORRICO, A.C.A.; LUCAS JÚNIOR, J. Compostagem dos resíduos da produção agrícola: cama de frangos e carcaças de aves. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.3, p.538-545, 2010.
14. PAIVA, E. C. R., MATOS, A.T., SARMENTO, A.P., PAULA, H. M., JUSTINO, E.A. Avaliação de sistema de tratamento de carcaças de frangos pelo método da composteira-windrow. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v.1, p.19 - 27, 2012.
15. RODELLA, A.A.; ALCARDE, J.C. *Avaliação de materiais orgânicos empregados como fertilizantes*. Sci. Agrícola, Piracicaba, 51(3):556-562, set./nov. 1994.
16. ROS, M.; GARCIA, C.; HERNANDEZ T. A full-scale study of treatment of pig slurry by composting: Kinetic changes in chemical and microbial properties. **Waste Management**, n. 26, p. 1108–1118, 2006.
17. SILVA, R.A. *Frango de Corte*. Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento/Departamento de Economia Rural. 2012. 4p. Disponível em: http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/qas/uploads/3170/frango_de_corte_17agosto_2012.pdf. Acesso em: 05/09/2012.
18. WANG, K.; LI, W.; GUO, J.; ZOU, J.; LI, Y.; ZHANG. L. Spatial distribution of dynamics characteristic in the intermittent aeration static composting of sewage sludge. **Bioresource Technology**, n. 102, p. 5528–5532, 2011.