



III-185 – TESTE RESPIROMÉTRICO SIMPLIFICADO NA AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM EM UM REATOR AERADO DE FLUXO ASCENDENTE

André Luís de Sá Salomão ⁽¹⁾

Biólogo pela Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro UNIRIO. Mestrando em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual do Rio de Janeiro UERJ

Rodrigo Sondermann Muniz ⁽¹⁾

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro UFRRJ. Mestrando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro UERJ.

Darlan Azevedo Pereira

Engenheiro de Produção pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade do Porto, Portugal, Bolsista de Desenvolvimento Técnico Industrial CNPq -1.

Marcia Marques ⁽¹⁾

Marcia Marques (Gomes) é Prof. Adj. Depto. Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, UERJ. Docent pela Chalmers Technical University, Pós-Doutorado pela University of Kalmar, PhD em Engenharia Química pelo Royal Institute of Technology, Estocolmo, Suécia. Bacharel e Mestre em Biologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. Orienta alunos de iniciação científica, especialização, mestrado e doutorado, Líder do Grupo de Pesquisa *BioProcess*.

Endereço ⁽¹⁾: Rua São Francisco Xavier 524 sala 5024, UERJ, Rio de Janeiro RJ, CEP: 20550-900-Brasil e-mail: gipponi@globocom.com

RESUMO

O presente trabalho apresenta o teste respirométrico SOUR (*specific oxygen uptake rate*) como ferramenta de análise do grau de estabilidade do composto a partir de resíduos sólidos urbanos - RSU. Sendo um teste relativamente simples e com vasta aplicação, entre outras, permite inferir sobre a estabilidade do composto e obter indicações sobre a atividade metabólica de microorganismos aeróbios presentes no meio. O método utilizado SOUR (*specific oxygen uptake rate*) mede a taxa de consumo de oxigênio em uma amostra sólida em suspensão, na presença de nutrientes, oxigênio e controle do pH. Para verificar o grau de estabilização de um composto de 14 dias, utilizou-se como parâmetro o resultado do teste de respirometria de uma amostra de resíduo orgânico gerado na cozinha de um restaurante triturado (t_0) e de um composto maduro. Os resultados mostram que o composto de 14 dias apresentava atividade aeróbia. Esse retardamento do tempo de compostagem se deu pelo baixo valor de pH da amostra, indicando que esta ainda não atingiu a fase termofílica, e consequentemente a estabilização do composto. Esses resultados mostram que há grande dependência das práticas iniciais da compostagem, desde a separação da fração orgânica, até o tipo de resíduo orgânico utilizado na compostagem, tem influência direta na qualidade final do composto.

PALAVRAS-CHAVE: Teste respirométrico, resíduos sólidos, compostagem, pH, atividade microbiana.

INTRODUÇÃO

A compostagem de resíduos orgânicos é um dos métodos mais antigos de reciclagem de nutrientes durante a qual, a matéria orgânica é transformada em composto orgânico que pode vir a ser utilizado como fertilizante em plantações, jardins e canteiros (Jahnel *et al.* 1999; Gómez *et al.* 2005). O composto torna-se propício ao uso e aplicação no solo, devido ao processo aeróbio sofrido durante a compostagem, por microorganismos que transformam matéria orgânica em gás carbônico (CO_2), água (H_2O) e composto estabilizado (Gómez *et al.* 2006; Tremier *et al.* 2005; Mesquita & Pereira Neto 1992), sendo uma boa estratégia para a redução de resíduos e reaproveitamento da matéria orgânica (Tremier *et al.* 2005).

A estabilidade do composto é uma das características mais importantes a ser medida, pois mostra que a matéria orgânica biodegradável já foi decomposta, constituindo um importante aspecto da qualidade do composto. Contudo, essa estabilidade é um dos parâmetros mais complexos de se avaliar (Lasaridi & Stentiford 1998; Gómez *et al.* 2006).



Composto não estabilizado, quando utilizado como adubo, pode causar a imobilização microbiológica do nitrogênio, podendo criar ambientes anóxicos, devido ao consumo do oxigênio na decomposição da matéria orgânica biodegradável, e a redução do pH, alterando a solubilidade de alguns metais tóxicos e gerando uma contaminação do solo (Jahnel *et al.* 1999).

Diferentes métodos já foram propostos para realizar a medição da estabilidade do composto, baseados nos parâmetros físicos (temperatura, demanda de aeração, cor e odor, densidade e capacidade de reter umidade); químicos (sólidos voláteis, taxa de C/N, DQO, polissacarídeos e substâncias húmicas); e biológicos (respirometria medida através do consumo do O₂ ou da produção de CO₂, atividade enzimática, consumo de ATP e crescimento de plantas e sementes) (Lasaridi & Stentiford 1998; Jahnel *et al.* 1999; Gómez *et al.* 2006). A taxa de respiração é considerada um bom indicador para avaliar a atividade bacteriana e a estabilidade do composto (Gómez *et al.* 2006) sendo possível obter uma escala para identificar em que estágio de maturação o mesmo se encontra (Scaglia *et al.* 2007).

Os métodos respirométricos baseados no consumo de O₂ são classificados de duas formas: dinâmico e estático (Adani *et al.* 2001; Gómez *et al.* 2005). No método dinâmico ocorre aeração de forma intermitente ao longo do teste que utiliza uma quantidade de amostra menor; já no método estático a aeração é interrompida durante o teste e a quantidade de amostra é maior (Adani *et al.* 2001; Gómez *et al.* 2006).

O teste respirométrico SOUR (*specific oxygen uptake rate*), é relativamente simples e amplamente aplicável, que visa determinar a estabilidade do composto e permite obter indicações sobre a caracterização da biomassa e a atividade dos organismos (Lasaridi & Stentiford 1998; Scaglia *et al.* 2007; Jahnel *et al.* 1999; Gómez *et al.* 2005). O teste de SOUR começou a ser estudado na Itália por Lasaridi & Stentiford (1998) e atualmente é bem utilizado por ser de fácil execução (Scaglia *et al.* 2007; Gómez *et al.* 2006; Adani *et al.* 2001, 2003).

O presente estudo teve como objetivo estabelecer parâmetros para avaliação da atividade microbiana aeróbia em diferentes fases do processo de compostagem, com vistas à definição de uma estratégia para o acompanhamento operacional de um reator de compostagem de resíduos sólidos urbanos - RSU de aeração forçada e fluxo ascendente. Tal reator originalmente projetado por pesquisadores suecos e operado em Julho-Agosto 2008 pelos autores na Suécia, encontra-se atualmente em fase de tropicalização para uso sob condições brasileiras na Ilha Grande, Município de Angra dos Reis, RJ.

MATERIAIS E MÉTODOS

Reator para compostagem: O reator aeróbio de fluxo ascendente desenvolvido por uma equipe de pesquisadores suecos que mantém acordo de cooperação internacional com a UERJ foi testado na Suécia e posteriormente transportado para a Ilha Grande, Angra dos Reis, RJ. Tal reator, ainda em fase de aperfeiçoamento, é constituído de um corpo em formato cilíndrico, construído com aço inoxidável e revestido por uma manta de isolamento térmico, nas dimensões de 96 cm de diâmetro e 185 cm de altura. Seu volume interno é de 830 litros, com uma capacidade de produção de 500 kg de composto por semana. Maiores detalhes são encontrados em Sondermann *et al.* (2009).

O reator foi alimentado diariamente, durante a fase teste de duas semanas em julho 2008 (verão europeu) com 25 kg de resíduos orgânicos provenientes de três pequenos restaurantes de marina na cidade costeira de Kalmar, Suécia. Após esse período, o reator foi limpo encaixotado e transportado para a Ilha Grande, RJ, onde o mesmo foi instalado em uma escola municipal para testes utilizando resíduos do restaurante da escola que atende 400 alunos diariamente. .

Antes de serem introduzidos no reator, os resíduos orgânicos de cozinha passavam por um processo de triagem manual, para retirada de eventuais recicláveis provenientes de falhas do sistema de separação na fonte das unidades geradoras, e por uma trituração mecânica. O processo de trituração mecânica foi realizado num compartimento acoplado à câmara principal do reator. Todo resíduo introduzido no sistema passava pelo processo de trituração, com o objetivo reduzir o tamanho das partículas e aumentar a área de contato, acelerando o processo de degradação microbiológica.

A aeração era fornecida de forma contínua por um sistema de ventilação, acoplada a um misturador, de hélices que distribua o ar na base do reator, promovendo uma aeração homogênea. Essa aeração foi programada para



operar por 2 min no intervalo de 10 min, utilizando o composto como um filtro biológico para a redução do odor.

Método respirométrico: O teste de respirometria foi realizado segundo o método de *SOUR* (*specific oxygen uptake rate*) (Lasaridi & Stentiford, 1998), onde o consumo de oxigênio pela atividade microbiana era medido em uma amostra úmida do composto retirado do reator, nas diferentes fases de funcionamento. Uma amostra t_0 , uma com 14 dias e uma de composto estabilizado foram obtidas. Essa amostra de 8g (Figura 1) foi diluída em 500mL de água destilada em um erlenmeyer de 1 litro. Uma solução tampão de 15mL de fosfato (feita sem o uso de NH_4Cl para evitar a nitrificação e o conseqüente consumo de O_2 pela reação) e uma solução de nutrientes formada de CaCl_2 , FeCl_3 e MgSO_4 (5mL cada), foram preparadas, segundo o Standard Method para análise de DQO (APHA, 1992; Lasaridi & Stentiford 1998) e adicionadas na amostra. O experimento foi realizado com duas sub-amostras de uma mesma amostra composta.

O experimento foi realizado em um aparelho de banho maria (Figura 1) onde a temperatura foi mantida a 30°C com uma agitação constante para manter suspensas as partículas sedimentáveis, aumentando assim o contato entre a matéria orgânica e os microorganismos e melhorando a eficiência do processo. Tal temperatura foi escolhida, apesar de estar abaixo da temperatura ótima de atividade bacteriana, tendo em vista que em temperaturas superiores, a leitura do OD pelo eletrodo pode sofrer interferência (Lasaridi & Stentiford 1998). Em outro estudo (Gómez *et al.*, 2006), foi relatado o uso de temperaturas na faixa de 30 a 37°C.

A aeração foi feita através de uma bomba de aquário e um difusor (pedra porosa), para melhor distribuição do oxigênio e redução do tamanho das bolhas, mantendo uma eficiente taxa de oxigenação. Essa aeração foi ajustada para fornecer oxigênio de forma intermitente: a cada período de 20 min com aeração, seguia-se um intervalo de 15 min sem aeração, durante o qual ocorria a medição do OD. A medição foi feita com auxílio de um oxímetro digital (Figura 1) a uma profundidade entre 5 e 7 cm e os valores foram registrados a cada 10 seg, perfazendo um total de 91 medições a cada intervalo sem aeração. Os testes tiveram duração de 12 horas (amostra madura), 30 h (resíduo orgânico de cozinha recém obtido e triturado) e 32 h (composto com 14 dias).

Os dados obtidos foram analisados em planilha excel e, a partir destes, foram plotados os gráficos de regressão linear (OD x Tempo), calculado o R^2 , medindo dão quanto da variabilidade em Y que é explicada por X, sendo esta, uma função direta da correlação entre as variáveis OD e tempo.

O *SOUR* representa a taxa máxima de consumo de oxigênio, e foi calculada de acordo com a equação (1) (Lasaridi & Stentiford, 1998):

$$SOUR = \frac{60 \cdot ISl_{max} \cdot V}{m \cdot TS \cdot VS} \quad \text{equação (1)}$$

Onde: *SOUR* = taxa máxima de consumo de oxigênio ($\text{mg O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ VS h}^{-1}$); 60 = conversor de min para h; ISl_{max} = máxima inclinação absoluta, de consumo de oxigênio ($\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ min}^{-1}$); V = volume de suspensão (L); m = massa da amostra analisada (g); TS = fração de sólidos totais (de 0 a 1,0); VS = fração de sólidos voláteis (de 0 a 1,0).



Figura 1: Foto da pesagem do material, do teste de respirometria e do oxímetro digital juntamente com o timer respectivamente.



RESULTADO E DISCUSSÃO

As amostras analisadas (resíduo triturado, composto de 14 dias e composto maduro) apresentaram umidade de 41,3%; 56,5%; 56% e sólidos voláteis nos percentuais de 61%; 79%; 41,3% respectivamente.

A Tabela 1 refere-se à duração e ao SOUR encontrados nas três fases de compostagem testadas. Os dados referentes ao resíduo triturado e ao composto maduro serviram como base para analisar o estágio alcançado pelo composto após 14 dias de processamento, em abordagem semelhante à utilizada por Scaglia *et al.* 2007, que buscou padronizar uma escala para verificar o grau de maturação do composto, tendo como base os dois extremos, a amostra do resíduo que estava entrando no reator e o composto estabilizado e maduro. Com esses valores foi possível verificar que o composto do 14º dia apresentava atividade biológica aeróbia ainda alta e, portanto, se encontrava mais próximos do resíduo triturado do que do composto maduro (Lasaridi & Stentiford 1998; Gómez *et al.* 2005).

O pH ácido (5,07) no composto de 14 dias sugere que o mesmo se encontrava em fase anterior à termofílica, num processo prolongado de acidogênese, possivelmente provocado pelo tipo de resíduos introduzidos (frutas cítricas, gorduras, molhos para salada e temperos diversos), necessitando de um tempo maior para o consumo dos ácidos e aclimação dos microorganismos. Neste caso, o baixo valor de pH, está diretamente ligado ao estágio do processo de decomposição, retardando a atividade microbiana na decomposição de proteínas e alimentos crus (Nakasaki *et al.*, 1993). Lasaridi & Stentiford (1998), descrevem que algumas limitações no teste respirométrico podem ocorrer devido a um pH desfavorável, justificando o uso de uma solução tampão na realização da solução de análise.

Tabela 1. Diferentes fases do teste de respirometria: duração (h) e SOUR (mg O₂/ g VS/h).

Fases	Composto triturado t ₀		Composto com 14 dias		Composto maduro	
	Tempo de experimento (h)	SOUR (mg O ₂ g ⁻¹ VS h ⁻¹)	Tempo de experimento (h)	SOUR (mg O ₂ g ⁻¹ VS h ⁻¹)	Tempo de experimento (h)	SOUR (mg O ₂ g ⁻¹ VS h ⁻¹)
Inicial ou lag	0-6	0,55	0-10	0,25	0-8	0,11
Ativa	6-27	3,3	10-26	1,15	8-12	0,34
Pico de atividade	9	3,3	17	1,15	11	0,34
Estabilização	27 - 31	0,38	26-32	0,63	12	0,08

Nos gráficos das Figuras 2, 3 e 4, podemos observar as três fases do teste respirométrico. A primeira fase é a **lag** (ou inicial), que é caracterizada pela respiração endógena (Andreottola *et al.* 2005), onde o consumo de oxigênio é necessário somente para respiração celular, ou seja, a energia requerida para manter as funções da célula enquanto os microorganismos passam pela fase da aclimação, resultando numa baixa atividade microbiana e conseqüentemente um baixo consumo de oxigênio. A segunda fase, a **ativa**, é caracterizada pela respiração exógena e a degradação do substrato, onde podemos observar a maior atividade microbiana, com um alto consumo do oxigênio dissolvido e um pico de atividade, que é verificado no auge da atividade microbiana. Esta segunda fase pode ser dividida em duas etapas, como podemos observar na Figura 2. A primeira etapa da fase ativa é marcada por um substrato rapidamente biodegradável e a segunda etapa é marcada por um substrato lentamente biodegradável, esta última tem uma velocidade de consumo de oxigênio inferior a anterior, porém superior à endógena. (Andreottola *et al.* 2005). A última fase, a de **estabilização** é quando ocorre o decréscimo da atividade microbiana, marcado pelo esgotamento dos nutrientes e da matéria orgânica presente na amostra, e com isso observa-se novamente uma respiração endógena (Andreottola *et al.* 2005), o consumo por parte dos microorganismos torna-se estável, podendo ocorrer eventuais picos de atividades, como visto na Figura 3.

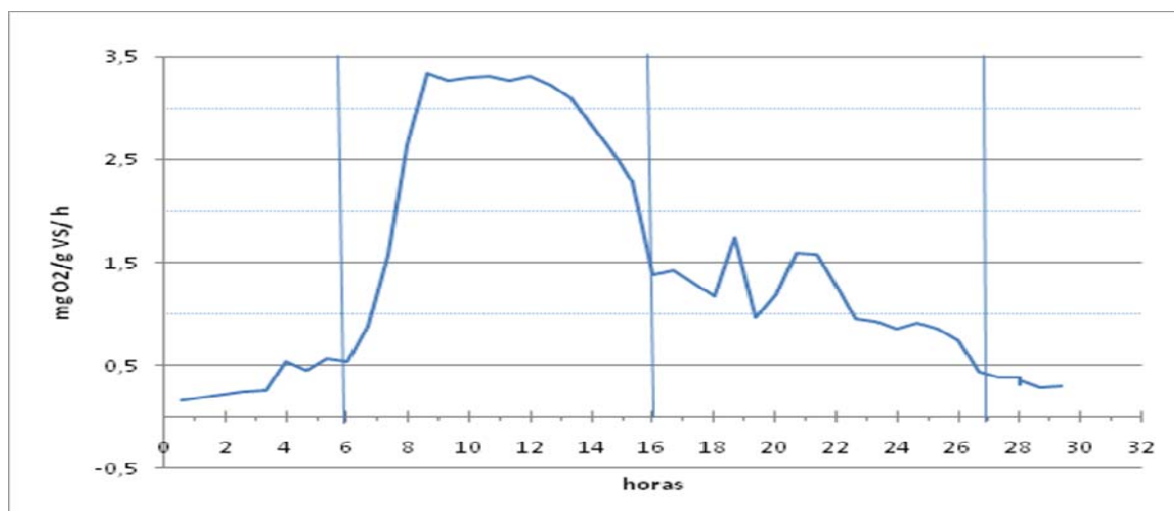


Figura 2: Variação dos dados do *SOUR test* durante 30 horas de análise do resíduo triturado.

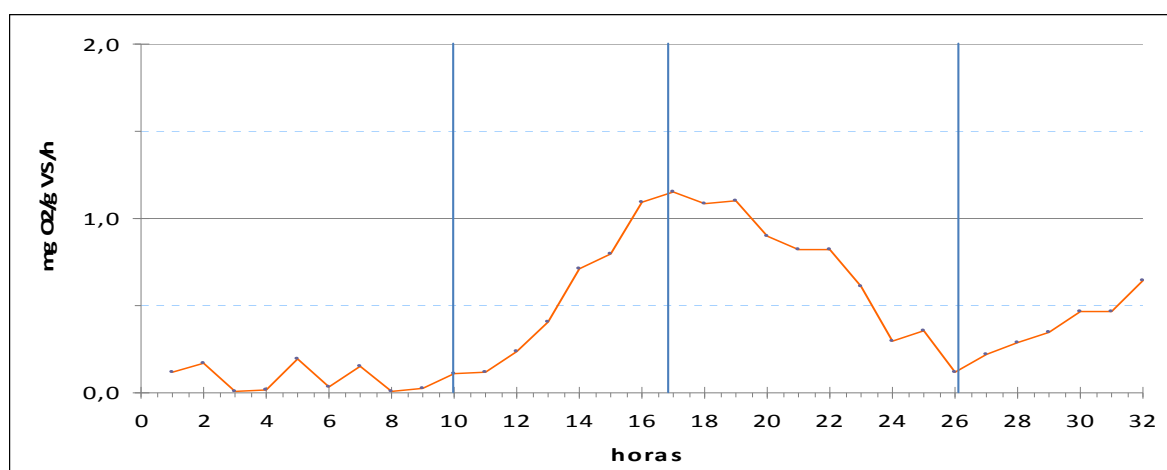


Figura 3: Variação dos dados do *SOUR test* durante 32 horas de análise do composto de 14 dias.

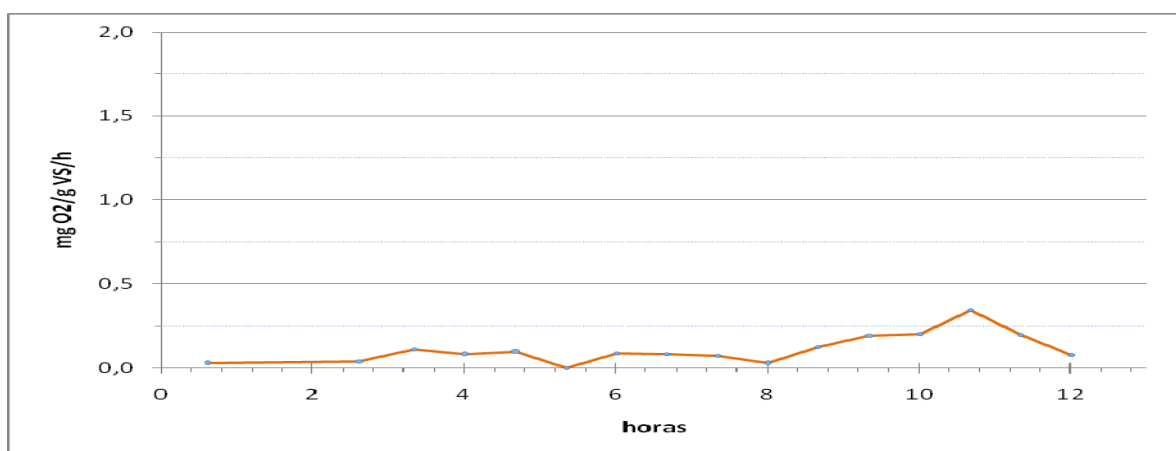


Figura 4: Variação dos dados do *SOUR test* durante as 12 horas de análise do composto maduro.

A regressão linear foi aplicada aos gráficos das Figuras 5, 6 e 7, onde estão contidos os dados de OD e consumido registrados durante o teste e o respectivo R^2 . Pode-se observar a evolução do teste de respirometria

e o consumo do OD nas fases de *lag*, ativa e de estabilização bem marcada, como na Figura 5. Na Figura 7 não é possível distinguir as fases, mas sim uma atividade biológica bem baixa, normalmente encontrada em compostos estabilizados. Todavia se a Figura 6 é comparada às figuras 5 e 7 observa-se que a primeira se encontra num estágio intermediário, embora mais próximo a um resíduo triturado, com a fase *lag* bem marcada e uma fase ativa presente.

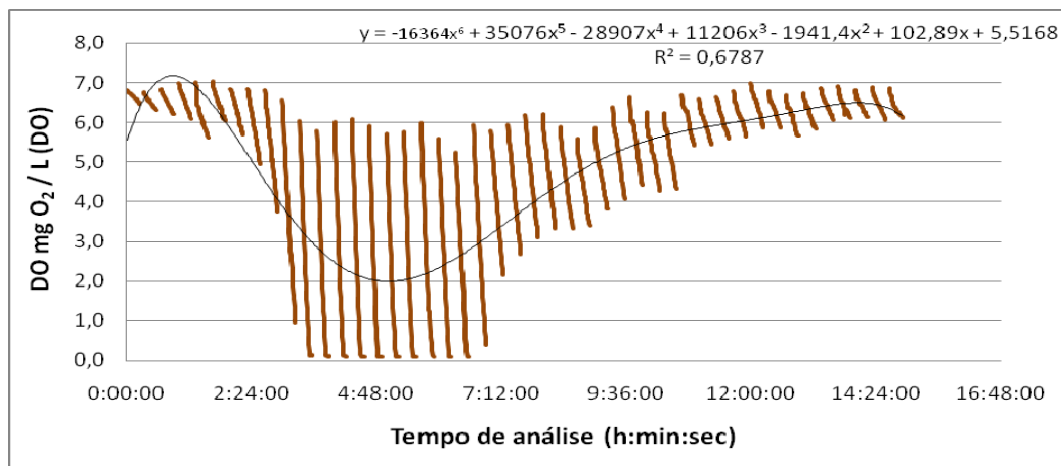


Figura 5. Dados de OD registrados durante o teste SOUR do resíduo triturado.

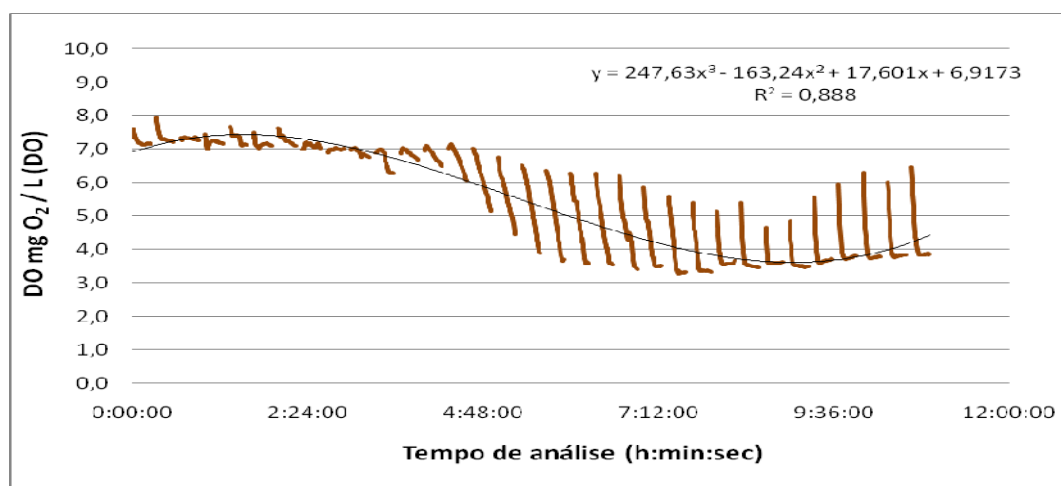


Figura 6. Dados de OD registrados durante o teste SOUR do composto de 14 dias.

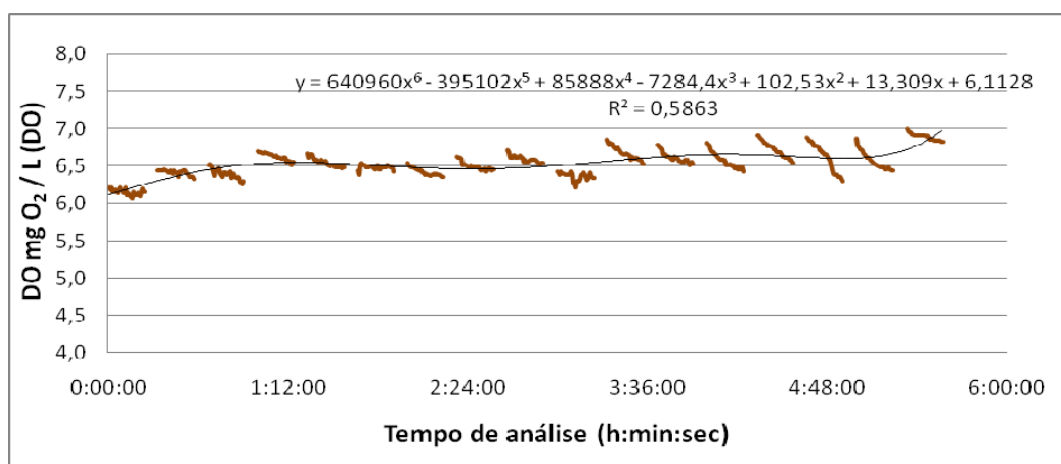


Figura 7. Dados de OD registrados durante o teste SOUR do composto maduro.



CONCLUSÕES

O teste respirométrico indicou uma atividade microbiana aeróbia da matéria orgânica aos 14 dias de compostagem, em um sistema de alimentação diária. Um dos fatores importantes para a evolução do processo de compostagem é o pH, sendo frequentemente observado que sua queda está associada com a formação de ácidos orgânicos no estágio inicial do processo, retardando o desenvolvimento dos microorganismos aeróbios.

O tipo de resíduo orgânico adicionado diariamente ao reator pode influenciar diretamente no tempo de compostagem, prolongando a fase ácida, retardando o início da fase termofílica e, conseqüentemente, a estabilização do composto.

O teste respirométrico pelo método de SOUR mostrou-se bastante eficiente na identificação do grau de avanço do processo de compostagem, com algumas vantagens em relação a outros métodos de análise disponíveis no mercado: é um teste que não requer equipamentos sofisticados ou caros e requer equipamentos normalmente encontrados nos laboratórios das instituições de ensino e pesquisa do Brasil. O método SOUR pode, portanto, ser utilizado no monitoramento do metabolismo microbiano aeróbio e na determinação do estágio de maturação do composto produzido pelo reator em estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADANI, F.; LOZZI, P.; GENEVINI P. Determination of biological stability by oxygen uptake on municipal solid waste and derived products. *Compost Science & Utilization* v.9 p. 163-178, 2001.
2. ADANI, F.; GIGLIOTTI, G.; VALENTINI, F.; LARAIA, R. Respiration index determination: a comparative study of different methods. *Compost Science & Utilization* v.11 p. 144-151, 2003.
3. ANDREOTTOLA, G.; OLIVEIRA, E.L.; FOLADORI, P.; DALLAGO, L.; PETERLINI, R.; CADONNA, M.. Método respirométrico para o monitoramento de processos biológicos. *Engenharia Sanitária Ambiental* v.10 n.1 p. 14-23, 2005
4. APHA. Standard Methods for the Examination of water and wastewater. Water Pollution Control Federation, Washington, DC. 18th Ed, 1992.
5. GÓMEZ, R.B.; LIMA, F.V.; BOLASELL, M.A.G.; GEA, T.; FERRER, A.S. Respirometric assays at fixed and process temperatures to monitor composting process. *Bioresource Technology* v.96, p. 1153-1159, 2005.
6. GÓMEZ, R.B.; LIMA, F.V.; FERRER, A.S. The use of respiration index in the composting process: a review. *Waste Manage Res* v.24, p. 37-47, 2006.
7. JAHNEL, M.C.; MELLONI, R.; CARDOSO, E.J.B.N. Maturidade de composto de lixo urbano. *Scientia Agricola* v.56, n. 2 301, 1999.
8. LASARIDI, K.; STENTIFORD, E.I. A simple respirometric technique for assessing compost stability. *Water Research* v.32, n.12, p. 3717-3723, 1998.
9. MESQUITA, M.M.F.; PEREIRA NETO, J.T. A compostagem no atual panorama da gestão de resíduo sólidos urbanos. *Ambiente Magazine* p. 21-23, 1992.
10. NAKASAKI, K.; YAGUCHI, H.; SASAKI, Y.; KUBOTA, H.. Effects of pH control on composting of garbage. *Waste Management & Research* v.11, p. 117-125, 1993.
11. SCAGLIA, B.; ERRIQUENS, F.G.; GIGLIOTTI, G.; TACCARI, M.; CIANI, M.; GENEVINI, P.L.; ADANI, F.. Precision determination for the specific oxygen uptake rate (SOUR) method used for biological stability evaluation of compost and biostabilized products. *Bioresource Technology*, v.98, p. 706-713, 2007.
12. SONDERMANN, R.; SALOMÃO, A.L.S.; MARQUES, M.; HOGLAND, W. Compostagem de resíduos orgânicos de restaurantes em um reator aeróbio de fluxo ascendente. 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental., 2009.
13. TREMIER, A.; GUARDIA, A.; MASSIANI, C.; PAUL, E.; MARTEL, J.L. A respirometric method for characterising the organic composition and biodegradation kinetics, for a mixture of sludge and bulking agente to be co-composted. *Bioresource Technology*, v.96, p. 169-180, 2005.