

Avaliação da estabilidade de materiais orgânicos por meio de incubação e da captura conjunta das emissões de CO₂ e de NH₃



Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 97

**Avaliação da estabilidade de
materiais orgânicos por meio
de incubação e da captura
conjunta das emissões de CO₂
e de NH₃**

Eva Adriana G. de Oliveira
Marco Antônio de A. Leal
Mayara dos Santos Rocha
José Guilherme Marinho Guerra
Raul de Lucena Duarte Ribeiro

Embrapa Agrobiologia
Seropédica, RJ
2014

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Agrobiologia

BR 465, km 7, CEP 23.891-000, Seropédica, RJ

Caixa Postal 74505

Fone: (21) 3441-1500

Fax: (21) 2682-1230

Home page: www.embrapa.br/agrobiologia

Comitê de Publicações

Presidente: Bruno José Rodrigues Alves

Secretária-Executivo: Carmelita do Espírito Santo

Membros: Ednaldo da Silva Araújo, Janaina Ribeiro Costa Rouws, Luc Felicianus Marie Rouws, Luís Cláudio Marques de Oliveira, Luiz Fernando Duarte de Moraes, Marcia Reed Rodrigues Coelho, Maria Elizabeth Fernandes Correia, Nátia Élen Auras

Supervisora editorial: Maria Elizabeth Fernandes Correia

Normalização bibliográfica: Carmelita do Espírito Santo

Tratamento de ilustrações: Maria Christine Saraiva Barbosa

Editoração eletrônica: Maria Christine Saraiva Barbosa

Foto da capa: Eva Adriana Gonçalves de Oliveira

1^a edição

1^a impressão (2014): 50 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Agrobiologia

AVALIAÇÃO da estabilidade de materiais orgânicos por meio de incubação e da captura conjunta das emissões de CO₂ e de NH₃ / Eva Adriana G. de Oliveira et al.

Seropédica : Embrapa Agrobiologia, 2014.

26 p. (Embrapa Agrobiologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 97).

ISSN: 1676-6709

1. Decomposição. 2. Respirometria. 3. Volatilização de amônia. I. Oliveira, Eva Adriana G. de. II. Leal, Marco Antônio de Almeida. III. Rocha, Mayara dos Santos. IV. Guerra, José Guilherme Marinho V. Ribeiro, Raul de Lucena Duarte. VI. Embrapa Agrobiologia. VII. Série.

631.42 CDD 23. ed.

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	9
Material e Métodos	11
Resultados e Discussão	15
Conclusões	22
Referências Bibliográficas	24

Avaliação da estabilidade de materiais orgânicos por meio de incubação e da captura conjunta das emissões de CO₂ e de NH₃

Eva Adriana G. de Oliveira¹

Marco Antônio de A. Leal²

Mayara dos Santos Rocha³

José Guilherme Marinho Guerra²

Raul de Lucena Duarte Ribeiro⁴

Resumo

As emissões de CO₂ e de NH₃ são indicadores do nível de estabilidade de materiais orgânicos aos processos de decomposição. Métodos baseados em incubação de amostras e na captura do CO₂ e do NH₃ são utilizados para quantificar estas emissões e podem ser realizados com equipamentos básicos de laboratório. Geralmente, as quantificações do CO₂ e do NH₃ emitidos não são realizadas conjuntamente no mesmo frasco de incubação. O objetivo deste trabalho foi avaliar a captura conjunta de CO₂ e de NH₃ em um único frasco de incubação. As emissões destes gases foram quantificadas das seguintes maneiras: 1) Captura conjunta de CO₂ e de NH₃; 2) Captura isolada de CO₂; 3) Captura isolada de NH₃. Também foram avaliados diferentes materiais: torta de mamona, palhada de gliricídia e bagaço de cana. As emissões de CO₂ e de NH₃ foram avaliadas diariamente durante 18 dias, e o pH e a condutividade elétrica (CE) das amostras foram avaliados ao final do processo. As emissões de CO₂ e de NH₃ da torta de mamona e

¹ Doutoranda do Curso de Pós-graduação em Fitotecnia, Inst. UFRRJ, Bolsista CNPq.
E-mail: evaadriana@ufrj.br.

² Embrapa Agrobiologia, BR 465, km 7, CEP 23.891-000, Seropédica-RJ. E-mails: marco.leal@embrapa.br, guilherme.guerra@embrapa.br.

³ Aluna de graduação em Agronomia da UFRRJ e bolsista CNPq. E-mail: may_ufrrj@hotmail.com.

⁴ Professor associado do curso de pós-graduação em Fitotecnia, UFRRJ. E-mail: raulucena@gmail.com

da gliricídia foram elevadas, enquanto o bagaço de cana apresentou reduzida emissão de CO₂ e nenhuma emissão de NH₃. Observou-se que os resultados de emissão de NH₃ obtidos nas incubações com captura conjunta diferiram dos resultados obtidos nas incubações com captura isolada. As análises de emissão de NH₃ com captura isolada, sem a presença de NaOH no frasco de incubação, podem apresentar resultados subestimados, provavelmente devido ao efeito de acidificação da amostra promovido pelo acúmulo de CO₂ no frasco de incubação. A presença de NaOH nas incubações reduz ou evita o acúmulo de CO₂ e a consequente redução do pH das amostra, o que torna os resultados de emissão de NH₃ mais próximos aos que seriam encontrados em ambiente aberto.

Evaluation of the stability of organic materials by incubation and joint capture of CO₂ and NH₃ emissions

Abstract

Emissions of CO₂ and NH₃ are indicators of the stability of organic materials to decomposition processes. Methods based on sample incubation and capture of CO₂ and NH₃ by using independent traps are used to measure these emissions and can be carried out with basic laboratory equipment. Generally, the quantification of CO₂ and NH₃ emitted are not performed together in the same incubation jar. The aim of this study was to evaluate the joint capture of CO₂ and NH₃ in a single incubation jar. The emissions of these gases were quantified by three ways: 1) Joint capture of CO₂ and NH₃ in the same incubation jar; 2) Isolated capture of CO₂ in one incubation jar; 3) Isolated capture of NH₃ in another incubation jar. Three different materials: castor cake, gliricidia straw and sugar cane bagasse were incubated. Emissions of CO₂ and NH₃ were recorded daily for 18 days, and the pH and electrical conductivity (EC) of the samples were measured at the end of the process. The emissions of CO₂ and NH₃ from castor cake and gliricidia were high, while the bagasse produced low emissions of CO₂ and no emissions of NH₃. We observed that results of NH₃ emissions obtained from incubations with joint capture differ from results obtained in the incubations with isolated capture. Isolated analyses of NH₃ emissions, without the presence of NaOH in the incubation flask, can be

underestimated probably due to the effect of acidification of the sample promoted by the accumulation of CO₂ in the incubation flask. In joint incubations, with presence of NaOH, does not occur CO₂ accumulation and pH sample reduction, and thus the results of NH₃ emissions are closer to those which would be found in an open environment.

Keywords: Decomposition, respirometry, ammonia volatilization.

Introdução

Diversos materiais orgânicos, geralmente resíduos e subprodutos que são gerados no ambiente urbano, pela agropecuária e pela indústria, podem ser utilizados como insumos para produção vegetal. Entretanto, muitos destes materiais são instáveis e estão sujeitos a processos de decomposição que podem reduzir sua qualidade e desempenho. Materiais orgânicos instáveis, quando armazenados, podem apresentar auto aquecimento, alteração das suas características originais e emissão de gases e odores desagradáveis. E quando aplicados ao solo, podem causar anaerobiose e a formação de substâncias tóxicas. A estabilidade pode ser definida como a capacidade de resistir aos processos de decomposição apresentada pelos materiais orgânicos. Segundo Gómez et al. (2006), um material é considerado instável se ele contém uma elevada proporção de substâncias biodegradáveis que possam sustentar elevada atividade microbiana.

A estabilidade de materiais orgânicos pode ser avaliada com base em características físicas, químicas ou biológicas, e diferentes métodos têm sido propostos. A respirometria, que mede a emissão de CO₂ ou o consumo de O₂, é um dos métodos mais comuns para a avaliação da estabilidade, de acordo com Wichuk e McCartney (2013). A emissão de NH₃ também pode ser utilizada como indicativo do nível de estabilidade de materiais orgânicos. O teste Solvita® é um procedimento utilizado para a determinação da estabilidade de materiais orgânicos, que se baseia na emissão de CO₂ e de NH₃ pela amostra (TMECC, 2002). É um teste recomendado pelo Composting Council Research and Education Foundation, referência mundial em compostagem. Changa et al. (2003) comprovou que o teste Solvita®, pode ser utilizado para caracterizar o grau de estabilidade de compostos orgânicos.

A emissão de CO₂ está relacionada, principalmente, com o auto aquecimento e com o consumo de O₂. Segundo Bernal et al. (1998), a rápida decomposição de materiais orgânicos adicionados ao solo pode elevar drasticamente a concentração de CO₂, reduzindo os níveis de

O₂ e resultando em condições anaeróbicas. São considerados instáveis materiais com emissão de CO₂ superior a 4,0 mg g⁻¹ dia⁻¹ (BERNAL et al., 2009; TMECC, 2002; WICHUK; McCARTNEY, 2013) em incubações realizadas em condições controladas, geralmente com umidade próxima à capacidade de campo e temperatura entre 25 e 35°C.

A volatilização de NH₃ está relacionada, principalmente, aos processos de perda de N e à poluição ambiental. Bernal et al. (2009) afirmam que elevadas perdas de N ocorrem na compostagem de estercos devido à elevada concentração de NH₃ e à presença de compostos facilmente degradáveis. Segundo Hafner et al. (2013), a emissão de NH₃ a partir de dejetos animais resulta em perdas significativas de N nos sistemas agrícolas e pode contribuir para a poluição do ar e a degradação dos ecossistemas. De acordo com Balsari et al. (2007), as emissões de NH₃ são uma preocupação devido a sua contribuição para eutrofização de cursos d'água e do ambiente e para a acidificação do solo e da água. Apesar da emissão de NH₃ ser um indicador da estabilidade de materiais orgânicos, ainda não foram estabelecidos valores limites, talvez porque qualquer emissão deste gás seja um indicativo de instabilidade.

Diferentes métodos podem ser utilizados para avaliação das emissões de CO₂ e de NH₃ a partir de resíduos orgânicos, apresentando diferentes níveis de precisão, custo e complexidade. Entre os métodos mais utilizados, estão aqueles baseados na realização de incubações e captura do CO₂ em soluções de NaOH e do NH₃ em soluções ácidas, que posteriormente são quantificados por titulação. Estes métodos são mais acessíveis, pois podem ser realizados utilizando-se equipamentos básicos de laboratório. Severino et al. (2004) quantificaram a emissão de CO₂ em diferentes adubos orgânicos por meio da sua captura e posterior quantificação por titulação. Hernandes e Cazetta (2001) descrevem um método simples, baseado na captura e posterior quantificação por titulação, para determinar a emissão de NH₃ em cama de aviário. Prochnow et al. (2001) avaliaram o efeito da adição de materiais com diferentes acidez residual sobre a volatilização de NH₃ em compostagem, por meio de incubação e captura de NH₃ em

solução de ácido sulfúrico. Li et al. (2013a) avaliaram a interação entre as emissões de CO₂ e de NH₃ em composto de bioassólido por meio de incubação realizada em reatores com fluxo contínuo de ar para recipientes externos contendo soluções para captura destes gases.

Nas metodologias baseadas em procedimentos de incubação e captura, a quantificação de CO₂ e de NH₃ geralmente não é realizada conjuntamente. A literatura científica é rica em relatos sobre experimentos de incubação que foram realizados em recipientes contendo apenas soluções para captura de CO₂ ou contendo apenas soluções para captura de NH₃ (HERNANDES; CAZETTA, 2001; SEVERINO et al., 2004; GÓMEZ et al., 2005). Não há relatos de trabalhos que avaliaram a possibilidade da realização de experimentos contendo, em um mesmo recipiente de incubação, solução para captura de CO₂ e solução para captura de NH₃. A avaliação conjunta, com captura de CO₂ e de NH₃ realizadas no mesmo frasco de incubação, proporciona redução de custos, pois reduz pela metade o número de frascos necessários para incubação. Além disto, ao quantificar estes dois gases em um mesmo recipiente de incubação, utilizando uma única amostra, a associação dos resultados de emissão de CO₂ com os de NH₃ são maiores, pois quando se realiza a captura desses gases em frascos separados, se utiliza duas amostras, que, eventualmente, podem apresentar diferenças amostrais.

O objetivo deste trabalho foi testar um novo método para a quantificação conjunta das emissões de CO₂ e NH₃ em um único frasco de incubação, tendo como controle as quantificações desses gases em frascos separados. Os métodos avaliados foram usados para comparar diferentes materiais orgânicos de origem vegetal quanto a sua estabilidade, utilizando as emissões de CO₂ e NH₃ como indicadoras.

Material e Métodos

A avaliação de emissão de gases foi realizada em um experimento cujos resultados foram avaliados por meio de dois fatoriais 3x2:

um para emissão de CO₂ e outro para a emissão de NH₃. O primeiro fator foi constituído por três diferentes materiais vegetais: torta de mamona, palhada de gliricídia (*Gliricidia sepium*) e bagaço de cana. O segundo fator foi constituído por duas formas de coleta de gases: com captura conjunta (CO₂ e NH₃) ou com captura isolada (somente CO₂ ou somente NH₃). O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Para avaliação de pH e de condutividade elétrica, os dados foram analisados por meio de um esquema fatorial 3x3, sendo o primeiro fator constituído por três diferentes materiais vegetais e o segundo fator constituído por três formas de coleta de gases: com captura conjunta (CO₂ e NH₃), com captura isolada de CO₂ e com captura isolada de NH₃.

Os três materiais vegetais foram escolhidos por apresentarem grandes diferenças de teores de nutrientes, principalmente de N, conforme se observa na Tabela 1. Para realização destas análises, os materiais foram secados em estufa de ventilação forçada com temperatura mantida a 65°C, e em seguida, processados em moinho tipo Wiley equipado com peneira com malha de 0,5 mm de diâmetro. Foram utilizados os procedimentos analíticos descritos por Silva (2009).

As três formas de coleta de gases usadas nas incubações foram as seguintes:

- 1) Captura conjunta de CO₂ e NH₃, mantendo dentro do mesmo frasco de incubação um recipiente contendo NaOH, para capturar CO₂, e outro recipiente contendo ácido bórico, para capturar NH₃.
- 2) Captura isolada de CO₂, mantendo dentro do frasco de incubação apenas um recipiente contendo NaOH.
- 3) Captura isolada de NH₃, mantendo dentro do frasco de incubação apenas um recipiente contendo ácido bórico.

Foram utilizadas amostras com 20 g de massa seca dos materiais avaliados, previamente umedecidas até a máxima capacidade de retenção, que foi alcançada com umidades de 51,2%, 75,6% e 81,8% para torta de mamona, gliricídia e bagaço de cana, respectivamente.

Tabela 1. Teores de C e de N, relações C:N e teores de Ca, Mg, K e P dos materiais vegetais utilizados.

	C (g kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)	C:N	Ca	Mg (g kg ⁻¹)	K	P
Torta de mamona	487,3	57,7	8,5	6,6	6,1	8,5	2,3
Gliricídia	507,6	39,5	12,9	16,9	4,8	17,5	2,2
Bagaço de cana	532,5	3,6	147,9	2,4	0,5	2,1	0,5

Para determinação da máxima capacidade de retenção de água, 100 g de amostras previamente secas em estufa (65 °C) foram saturadas com água, drenadas por uma hora e pesadas, obtendo-se o peso da amostra saturada. O valor médio de quatro repetições da diferença entre o peso da amostra saturada e o peso da amostra seca foi considerado como o conteúdo de água na máxima capacidade de retenção. Além dos frascos de incubação contendo os materiais orgânicos, também foram utilizados frascos vazios contendo NaOH e ácido bórico (branco 1), contendo somente NaOH (branco 2), e contendo apenas ácido bórico (branco 3).

A unidade experimental foi composta por um frasco de vidro com capacidade de 3000 mL, utilizado como câmara incubadora. As soluções fixadoras de amônia e de CO₂ foram mantidas em potes de plástico com capacidade de 70 mL. Para fixar a amônia volatilizada utilizou-se 25 mL de solução de ácido bórico 1,0% contendo os indicadores vermelho de metila e verde de bromocresol, normalmente empregados nas determinações de amônia pelo método de Kjeldhal. Para capturar o CO₂ evoluído, utilizou-se 25 mL de hidróxido de sódio 1,0 M.

A incubação foi realizada em câmara mantida sob temperatura de 25°C e ausência de luz. As emissões de CO₂ e de NH₃ foram avaliadas diariamente durante 18 dias. Os frascos de incubação foram abertos a cada 24 horas para efetuar a troca da solução de NaOH e ácido bórico.

Aos potes contendo NaOH retirados da incubação, foram adicionados 2,0 mL de cloreto de bário 10% (m/v) para precipitação do carbonato. A quantidade de CO₂ emitida pela amostra foi determinada por meio da titulação do NaOH residual com HCl 0,5 M padronizado, usando fenolftaleína 1,0% como indicador, observando-se o ponto final da titulação pela viragem de rosa para incolor. A quantidade de CO₂ emitida foi calculada por meio da seguinte equação:

$$\text{CO}_2 = (((V_b - V_a) \times M \times 22 \times 1000) / P_s) / T_i$$

sendo:

CO₂ = gás carbônico emitido (mg g⁻¹ dia⁻¹)

V_b (mL) = volume de ácido clorídrico gasto na titulação da solução controle (branco)

V_a (mL) = volume gasto na titulação da amostra

M = molaridade exata do HCl

P_s (g) = massa seca da amostra

T_i = tempo de incubação (dias)

Nos frascos contendo ácido bórico, as amostras que promoveram alteração da coloração da solução de lilás (solução de ácido bórico 1,0% antes da incubação) para verde até o final da incubação evidenciaram a ocorrência de emissão de NH₃, a qual reage com o ácido bórico causando a elevação do pH da solução. A determinação da quantidade de NH₃ fixada na solução de ácido bórico foi realizada por meio de titulação do ácido residual com solução padrão de H₂SO₄ 0,025 N. A quantidade de NH₃ emitida foi calculada por meio da seguinte equação:

sendo:

$$A = ((V \times N \times 17) / P_s) / T_i$$

A = NH ₃ emitida (mg g ⁻¹ dia ⁻¹)
V = volume do H ₂ SO ₄ utilizado na titulação (ml)
N = normalidade do H ₂ SO ₄
P _s (g) = massa seca da amostra
T _i = tempo de incubação (dias)

Também foram calculados os valores totais acumulados das emissões de CO₂ e de NH₃ ao longo dos 18 dias de compostagem. A proporção (%) de N emitido na forma de NH₃ em relação ao conteúdo total deste elemento nas amostras foi calculado com base nos valores totais de emissão de NH₃ e dos valores de conteúdo de N nas amostras. No final do período de incubação foram coletadas amostras dos materiais para realização de análise de pH e de condutividade elétrica (CE), que foram determinadas utilizando-se uma parte de substrato para cinco partes de água destilada (v/v) a 25° C, segundo o método descrito por Tedesco (1995).

As emissões de CO₂ e de NH₃ foram apresentadas em gráficos contendo os valores médios de três repetições e barras verticais correspondentes aos erros padrões. Os dados de valores totais de emissão de CO₂ e de NH₃, das proporções de C e de N emitidos em relação ao conteúdo total e dos valores de pH e de CE foram submetidos aos testes de Cochran e Lillefors para verificação do atendimento das pressuposições para a realização da análise de variância. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Os resultados de emissão diária de CO₂ ao longo de 18 dias de incubação estão apresentados na Fig. 1 e revelam grandes diferenças em função dos diferentes materiais avaliados. A torta de mamona e a gliricídia apresentaram, desde o início da incubação, fluxos de CO₂ superiores a 4,0 mg g⁻¹ dia⁻¹, com tendência de redução gradual. São considerados instáveis materiais com emissão de CO₂ superior a este valor. O bagaço de cana apresentou fluxos de CO₂ inferiores a 1,2 mg g⁻¹ dia⁻¹ ao longo do período de incubação.

As quantidades totais de CO₂ emitidas, acumuladas ao longo de 18 dias, estão apresentadas na Tab. 2. A torta de mamona emitiu,

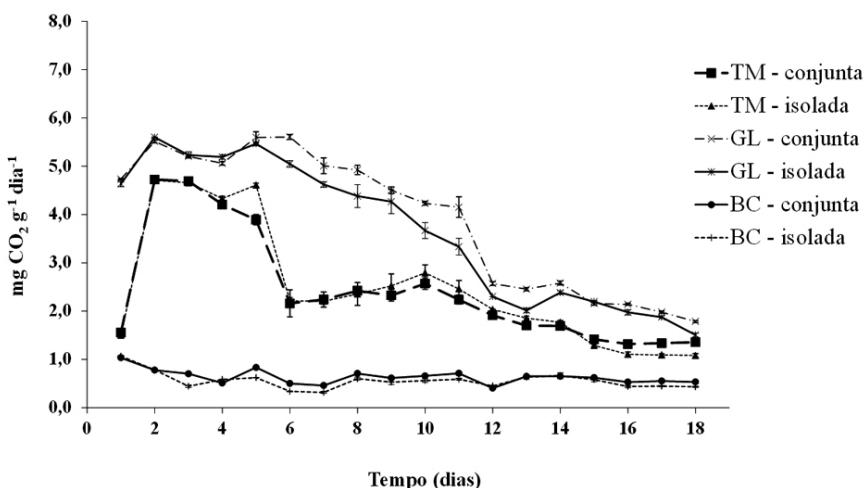


Fig. 1. Emissão de CO_2 observada pela incubação de diferentes materiais (torta de mamona – TM, gliricídia – GL e bagaço de cana – BC) obtida pelo método de captura conjunta de CO_2 e de NH_3 , ou pelo método de captura isolada de CO_2 . (Média de três repetições. Barras verticais indicam o erro padrão).

em média, $44,16 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1}$ de massa seca, equivalente à 8,33% do C total presente na amostra. Segundo Severino et al. (2004), a velocidade de mineralização da torta de mamona, medida pela respiração microbiana, foi cerca de seis vezes mais rápida que a do esterco bovino e quatorze vezes mais rápida que a velocidade de mineralização do bagaço de cana. A emissão de CO_2 pela gliricídia, foi maior que a da torta de mamona, com valor médio de $67,94 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1}$ de massa seca, equivalente à 12,82% do C total presente na amostra. O bagaço de cana apresentou emissão média de $10,78 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1}$ de massa seca, equivalente à somente 2,03% do C total presente na amostra. Este resultado mostra que, apesar da elevada relação C:N do bagaço de cana (147,9), este material apresentou atividade biológica e processos de decomposição durante o período de incubação.

Os resultados obtidos indicam que o tipo de incubação, com captura de CO_2 e NH_3 realizada de forma conjunta ou isolada, não influencia de

forma relevante os padrões de emissão de CO₂, conforme se observa na Fig. 1 e na Tab. 2. Apesar de a gliricídia apresentar diferença significativa nos valores de emissão de CO₂ em função do tipo de incubação, esta diferença foi pequena. A emissão total de CO₂ na incubação conjunta (70,19 mg CO₂ g⁻¹ de massa seca) foi apenas 6,8% maior que na incubação isolada (65,68 mg CO₂ g⁻¹ de massa seca). Já os valores acumulados de emissão de CO₂ pela torta de mamona e pelo bagaço de cana não diferiram significativamente dos valores obtidos nas incubações conjuntas. Estes resultados demonstram que o método de incubação conjunta proporciona resultados de emissão de CO₂ muito semelhantes aos obtidos no método de incubação isolada.

As emissões de NH₃ da torta de mamona e da gliricídia foram reduzidas no início do período de incubação e após o terceiro dia apresentaram valores crescentes até, aproximadamente, 15 dias de incubação, com posterior queda (Fig. 2). Durante os 18 dias de incubação, o bagaço de cana não apresentou emissão de NH₃, provavelmente devido ao seu reduzido teor de N e à sua elevada relação C:N. Observa-se na Tab. 3 que a torta de mamona apresentou, em média, o maior valor acumulado de emissão de NH₃, com 3,17 mg NH₃ g⁻¹ de massa seca, seguida pela gliricídia, com 1,59 mg NH₃ g⁻¹ de massa seca. Considerando-se a proporção do N que foi perdido por emissão de NH₃ em relação ao N total presente na amostra (Tab. 4), a torta de mamona também

Tabela 2. Valor total de emissão de CO₂ (mg CO₂ g⁻¹ massa seca) acumulados ao longo de 18 dias por diferentes materiais submetidos à incubação com captura conjunta de CO₂ e de NH₃, e à incubação com captura apenas de CO₂.

	Conjunta		Isolada		Média
	Captura de CO ₂ e de NH ₃	Apenas captura de CO ₂	Apenas captura de CO ₂	Média	
Torta de mamona	43,75 a B	44,57 a B	44,16 B		
Gliricídia	70,19 a A	65,68 b A	67,94 A		
Bagaço de cana	11,47 a C	10,09 a C	10,78 C		
Média	41,80 a	40,12 a			

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. CV (%) = 4,77.

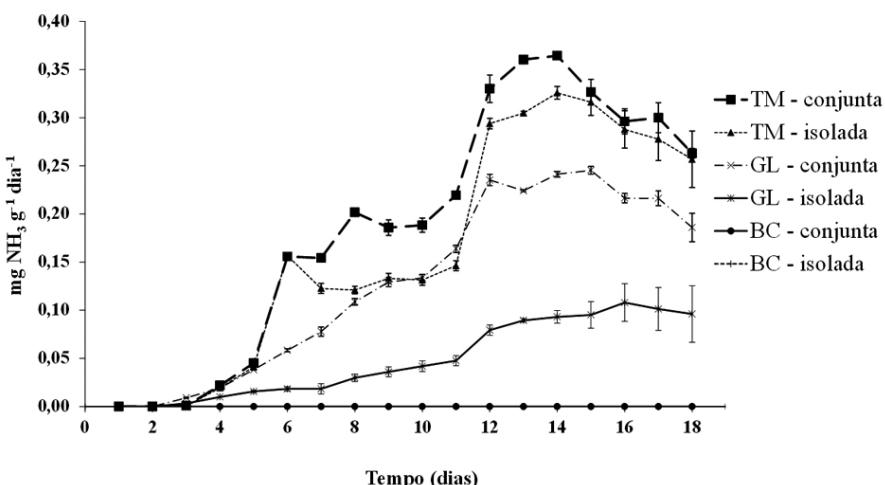


Fig. 2. Emissão de NH_3 observada pela incubação de diferentes materiais (torta de mamona – TM, gliricídia – GL e bagaço de cana – BC) obtida pelo método de captura conjunta de CO_2 e de NH_3 , ou pelo método de captura isolada de NH_3 . (Média de três repetições. Barras verticais indicam o erro padrão).

apresentou o maior valor médio (5,50%), significativamente superior ao que foi observado na gliricídia (4,03%). Estes resultados estão relacionados aos teores de N destes materiais ($57,7$, $39,5$ e $3,6 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente para torta de mamona, gliricídia e bagaço). Segundo Li et al. (2013b), materiais orgânicos com altos teores de N podem apresentar grande volatilização de NH_3 .

As curvas de emissão de NH_3 foram muito influenciadas pelo tipo de incubação (Fig. 2). As incubações conjuntas, com captura de CO_2 e de NH_3 no mesmo frasco, apresentaram valores de emissão de NH_3 maiores que os valores observados nas incubações isoladas, com captura apenas de NH_3 . Na gliricídia, este aumento nos valores de NH_3 emitidos ocorreu desde o início da incubação, e na torta de mamona, ocorreu a partir do sexto dia. Os valores totais de emissão de NH_3 , acumulados ao longo de 18 dias, também revelam este efeito (Tab. 3). A emissão total de NH_3 da torta de mamona foi de $3,41 \text{ mg}$

Tabela 3. Valor total de emissão de NH₃ (mg NH₃ g⁻¹ de massa seca) acumulados ao longo de 18 dias por diferentes materiais submetidos à incubação com captura conjunta de CO₂ e de NH₃, e à incubação com captura apenas de NH₃.

	Conjunta		Isolada		Média
	Captura de CO ₂	e de NH ₃	Apenas captura	de NH ₃	
Torta de mamona	3,41	a A	2,93	b A	3,17 A
Gliricídia	2,30	a B	0,88	b B	1,59 B
Bagaço de cana	0,00	a C	0,00	a C	0,00 C
Média	1,91	a	1,27	b	

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. CV (%) = 7,24.

Tabela 4. Proporção de N (%) emitido na forma de NH₃ em relação ao N total presente na amostra. Valores acumulados ao longo de 18 dias por diferentes materiais submetidos à incubação com captura conjunta de CO₂ e de NH₃, e à incubação com captura apenas de NH₃.

	Conjunta		Isolada		Média
	Captura de CO ₂	e de NH ₃	Apenas captura	de NH ₃	
Torta de mamona	5,92	a A	5,09	b A	5,50 A
Gliricídia	5,83	a A	2,24	b B	4,03 B
Bagaço de cana	0,00	a B	0,00	a C	0,00 C
Média	3,92	a	2,44	b	

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. CV (%) = 5,98.

NH₃ g⁻¹ de massa seca na incubação conjunta e caiu para 2,93 mg NH₃ g⁻¹ de massa seca na incubação isolada. Este feito foi mais evidente na incubação da gliricídia, com valores de 2,30 e 0,88 mg NH₃ g⁻¹ de massa seca nas análises conjunta e isolada, respectivamente.

Os resultados indicam que os menores valores de emissão de NH₃ nas incubações realizadas em frascos com captura apenas de NH₃ podem ter sido devido ao efeito de acidificação da amostra promovida pelo

CO₂ emitido durante a incubação. Na incubação conjunta (com captura de CO₂ e de NH₃), o CO₂ emitido foi capturado pelo NaOH utilizado para quantificar a emissão deste gás. Na incubação isolada (contendo apenas ácido bórico), o CO₂ emitido que se acumula no interior do frasco de incubação pode ter sido, em parte, absorvido pela amostra, causando sua acidificação. Assim, a redução do pH pode ter sido a causa da redução da emissão de NH₃. Destaca-se que a gliricidia, que apresentou a maior redução de emissão de NH₃ na incubação com captura apenas de NH₃, também apresentou a maior emissão de CO₂ ao longo dos 18 dias de incubação. Segundo Blanes-Vidal et al. (2009), o pH superficial dos dejetos animais é um dos fatores que mais influenciam a volatilização de gases. Hafner e Bisogni (2009), modelando a especiação química de NH₃ em digestores anaeróbicos, observaram que o aumento da pressão parcial de CO₂ em recipientes de incubação resultou na redução do pH da solução e na redução da pressão parcial da NH₃. Sommer et al. (2003), estudando os processos que controlam a emissão de NH₃ de dejetos pecuários em condições de campo, encontraram respostas logarítmicas de aumento da emissão de NH₃ em função do aumento do pH, sendo que a curva de resposta aumenta drasticamente quando os valores de pH estão acima de 8,0.

Observa-se na Tabela 5, que as incubações realizadas com captura de CO₂, de forma isolada ou em conjunto com a captura de NH₃, apresentaram pH significativamente superior à incubação realizada apenas com captura do NH₃. Esta resposta ocorreu nas incubações da torta de mamona e da gliricídia, materiais que apresentaram elevada emissão de CO₂. Na incubação do bagaço de cana, material que apresentou reduzida emissão de CO₂, não houve diferença significativa entre valores de pH em função do tipo de incubação. Destaca-se que os valores de pH observados na torta de mamona e na gliricídia foram superiores à 8,2 e que os valores de pH do bagaço de cana foram inferiores à 6,4. Estes resultados reforçam a tese do efeito de acidificação da amostra promovida pelo CO₂ emitido durante a incubação.

Avaliação da estabilidade de materiais orgânicos por meio de incubação
e da captura conjunta das emissões de CO₂ e de NH₃

Os valores de condutividade elétrica observados após 18 dias de incubação estão apresentados na Tab. 6. Observa-se que diferenças significativas ocorreram somente entre os materiais, o que já era esperado devido às diferenças de teores de nutrientes. Não houve influência do tipo de incubação nesta característica.

Tabela 5. Valores de pH observados após 18 dias de incubação de diferentes materiais, submetidos à incubação com captura conjunta de CO₂ e de NH₃, à incubação com captura apenas de CO₂ e à incubação com captura apenas de NH₃.

	Conjunta Captura de CO ₂ e de NH ₃	Isolada Apenas captura de CO ₂	Isolada Apenas captura de NH ₃	Média
Torta de mamona	8,54 a B	8,53 a B	8,27 b B	8,45 B
Gliricídia	8,83 a A	8,83 a A	8,70 b A	8,79 A
Bagaço de cana	6,39 a C	6,39 a C	6,32 a C	6,37 C
Média	7,92 a	7,92 a	7,77 b	

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. CV (%) = 0,9.

Tabela 6. Valores de condutividade elétrica (mS cm⁻¹) observados após 18 dias de incubação de diferentes materiais, submetidos à incubação com captura conjunta de CO₂ e de NH₃, à incubação com captura apenas de CO₂ e à incubação com captura apenas de NH₃.

	Conjunta Captura de CO ₂ e de NH ₃	Isolada Apenas captura de CO ₂	Isolada Apenas captura de NH ₃	Média
Torta de mamona	5,04 a A	4,91 a A	4,81 a A	4,92 A
Gliricídia	4,01 a B	3,77 a B	3,79 a B	3,86 B
Bagaço de cana	0,25 a C	0,25 a C	0,26 a C	0,25 C
Média	3,10 a	2,98 a	2,95 a	

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. CV (%) = 13,43.

Em geral, foi observado que a torta de mamona e a gliricídia são materiais pouco estáveis, com elevada emissão de CO₂ e de NH₃, enquanto o bagaço de cana se mostrou mais estável, com reduzida emissão de CO₂ e nenhuma emissão de NH₃. O conjunto dos resultados demonstra que a avaliação de emissão de CO₂ pode ser realizada por meio da análise conjunta. O tipo de análise interfere significativamente na avaliação de emissão de NH₃, devido ao efeito do acúmulo de CO₂ sobre o pH das amostras. Os resultados revelam que a análise com captura conjunta dos gases proporciona resultados mais próximos da realidade, pois o NaOH presente nesta incubação captura o CO₂ emitido pela amostra, evitando que este altere o pH da amostra. Recomenda-se que as análises de emissão de NH₃ realizadas com incubações isoladas, sem a captura de CO₂ por meio da presença de NaOH no frasco de incubação, sejam realizadas com cautela, considerando-se o efeito de acidificação da amostra devido ao acúmulo de CO₂.

Conclusões

Os resultados de emissão de CO₂ obtidos nas incubações com captura conjunta não diferem de forma relevante dos resultados obtidos nas incubações com captura isolada.

Os resultados de emissão de NH₃ obtidos nas incubações com captura conjunta diferem significativamente dos resultados obtidos nas incubações com captura isolada. As análises de emissão de NH₃ sem a captura de CO₂ por meio da presença de NaOH no frasco de incubação podem apresentar resultados subestimados, provavelmente devido ao efeito de acidificação da amostra promovido pelo acúmulo de CO₂ no frasco de incubação. Nas incubações com a presença de NaOH, não ocorre acúmulo de CO₂ e redução do pH da amostra tornando os resultados de emissão de NH₃ mais próximos aos que seriam encontrados em ambiente aberto.

Avaliação da estabilidade de materiais orgânicos por meio de incubação
e da captura conjunta das emissões de CO₂ e de NH₃

A torta de mamona e a gliricídia podem ser considerados materiais orgânicos muito instáveis, pois apresentaram elevada emissão de CO₂ e de NH₃, enquanto o bagaço de cana pode ser considerado estável, pois apresentou reduzida emissão de CO₂ e nenhuma emissão de NH₃.

Referências Bibliográficas

BALSARI, P; AIROLDI, G; DINUCCIO, E.; GIOELLI, F. Ammonia emissions from farmyard manure heaps and slurry stores effect of environmental conditions and measuring methods. **Biosystems Engineering**, v. 97, n. 4, p. 456-463, 2007.

BERNAL, M. P.; ALBURQUERQUE, J. A.; MORAL, R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: a review. **Bioresource Technology**, n. 100, p. 5444-5453, 2009.

BERNAL, M. P.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; PAREDES, C.; ROIG, A. Carbon mineralization from organic wastes at different composting states during their incubation with soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, n. 69, p.175-189, 1998.

BLANES-VIDAL, V.; SOMMER S. G.; NADIMI, E. S. Modelling surface pH and emissions of hydrogen sulphide, ammonia, acetic acid and carbon dioxide from a pig waste lagoon. **Biosystems Engineering**, n. 104, p. 510-521, 2009.

CHANGA, C. M.; WANG, P.; WATSON, M. E.; HOITINK, H. A. J.; MICHEL JR., F.C. Assessment of the reliability of a commercial maturity test kit for composted manures. **Compost Science and Utilization**, v.11, n. 2, p. 125–143, 2003.

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**, n. 96, p. 1153-1159, 2005.

GÓMEZ, R. B., LIMA, F.V., FERRER, A. S. The use of respiration indices in the composting process: a review. **Waste Management & Research**, n. 24, p. 37-47, 2006.

HAFNER, S. D.; BISOGNI, J. J. Modeling of ammonia speciation in anaerobic digesters. **Water Research**, v. 43, n.17, p. 4105-4114, 2009.

HAFNER S. D.; MONTES, F.; ROTZ, C. A. The role of carbon dioxide in emission of ammonia from manure. **Atmospheric Environment**, 66, p.63-71, 2013.

HERNANDES, R.; CAZETTA, J. O. Método simples e acessível para determinar amônia liberada pela cama aviária. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 3, p. 824-829, 2001.

LI, Y.; LI, W.; WU, C.; WANG, K. New insights into the interactions between carbon dioxide and ammonia emissions during sewage sludge composting. **Bioresource Technology**, n. 136, p. 385-393, 2013a.

LI, Z.; LU, H.; REN, L.; HE, L. Experimental and modeling approaches for food waste composting: A review. **Chemosphere**, v. 93, n.7, p. 1247-1257, 2013b.

PROCHNOW, L. I.; CUNHA, C. F.; KIEHL, J. C.; ALCARDE, J. C. Controle da volatilização de amônia em compostagem, mediante adição de gesso agrícola e superfosfatos com diferentes níveis de acidez residual. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 26, p. 65-70, 2001.

SILVA, F. C. da. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 627 p.

SEVERINO, L. S.; COSTA, F. X.; BELTRÃO, N. E. M.; LUCENA, A. M. A.; GUIMARÃES, M. M. B. Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 5, n.1. 2004. Disponível em: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/500/50050105.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2013.

SOMMER, S. G; GNERMONT, S.; CELLIER, N. J.; HUTCHINGS, N. J; OLESEN, J. E.; MORVAN, T. Processes controlling ammonia emission from livestock slurry in the field. **European Journal of Agronomy**, v. 19, n. 4, p.465-468, 2003.

TEDESCO, M. J. **Análise de solos, plantas e outros materiais.** 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p.

TMECC. TEST METHODS FOR THE EXAMINATION OF COMPOSTING AND COMPOST. **Field sampling of compost materials:** organic and biological properties: respirometry. Holbrook, NY: Composting Council Research & Education Foundation, 2002. p. 02.01-5 - 02.01.-7

WICHUK, K. M.; McCARTNEY, D. Compost stability and maturity evaluation: a literature review. **Journal of Environmental Engineering and Science**, v. 8, n.5, p. 601-620, 2013.



Agrobiologia

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento

