



Emissões de CO₂ do solo com incorporação de resíduos de eucalipto e fertilização com N⁽¹⁾

Rodrigo Nogueira de Sousa⁽²⁾; Gustavo Conforti Ventura Mayrink⁽³⁾; Rafael da Silva Teixeira⁽⁴⁾; Emanuelle Mercês Barros Soares⁽⁵⁾; Ivo Ribeiro da Silva⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do Cnpq, FAPEMIG e grupo NUTREE.

⁽²⁾ Bolsista de Iniciação científica SIF/UFV, Curso de Agronomia, Viçosa, MG, CEP 36570-000, rodrigoagroufv@gmail.com; ⁽³⁾ Graduando em Agronomia pela UFV; ⁽⁴⁾ Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas, UFV; ⁽⁵⁾ Professor associado do departamento de solos da Universidade Federal de Viçosa. ⁽⁶⁾ Professor associado do departamento de solos da UFV.

RESUMO: Na última década a comunidade científica tem direcionado maior importância ao fenômeno do aquecimento global, buscando elaborar e validar estratégias que diminuam as emissões e mitiguem os principais gases do efeito estufa (CO₂, CH₄ e N₂O). O objetivo desse estudo foi avaliar a contribuição do N para as emissões de C-CO₂ durante a decomposição de resíduos total do solo. O experimento foi conduzido em condições controladas (25 ± 1 °C, no escuro). Os tratamentos foram definidos com base em fatorial incompleto [1 + (2 × 2)] × 3 e dispostos em DBC. As plantas foram crescidas em solução nutritiva. Os resíduos dessas plantas com duas relações C/N distintas foram incubados em duas combinações mais três tratamentos sem resíduo e sem N, com 50 mg dm⁻³ de N via NH₄NO₃ ou Alanina [N-Amino]. As unidades experimentais foram montadas em potes de vidro para captura da atmosfera gasosa, ao longo de 119 dias aproximadamente. A adição de resíduos de eucalipto com baixa relação C/N proporcionou maior decomposição da matéria orgânica do solo. Resíduos de eucalipto com baixa relação C/N decompôs mais rápido no solo. A adição de N retardou a decomposição da matéria orgânica do solo e dos resíduos de eucalipto, sobretudo pela fonte mineral de NH₄NO₃. Esse efeito vem sendo atribuído a diferentes mecanismos que podem ocorrer durante a decomposição dos resíduos ou da MOS como por exemplo inibição de enzimas degradadoras de lignina por compostos aminados de baixo peso molecular.

Termos de indexação: MOS, Nitrogênio, ¹³C.

INTRODUÇÃO

Após meados do século XIX, devido à acessão das indústrias e modernização da sociedade, as concentrações de dióxido de carbono na atmosfera, tem aumentado, em média de 280 ppm em 1850 para 380 ppm em 2005 (IPCC 2003), o qual contribui de forma expressiva para a potencialização do aquecimento global. Porém, apenas nas últimas

décadas a comunidade científica tem direcionado maior importância ao fenômeno, buscando elaborar e validar estratégias que diminuam as emissões e mitiguem os chamados gases do efeito estufa (GEE). Os principais representantes dos GEE são o dióxido de carbono (49%), metano (18%), clorofluorcarbonetos-CFC (14%) e o óxido nitroso (6%) (Santana, 2015).

Uma estratégia potencial de mitigação do CO₂ é favorecer a fixação biológica do C pelas plantas com posterior aporte vegetal ao solo. Neste contexto, plantações de florestas do gênero *eucaliptus* merecem destaque, por possuir alta eficiência de utilização de recursos com rápido crescimento em biomassa e aporte de C ao solo (Gama-Rodrigues e Barros, 2002).

No entanto, as taxas de decomposição e conversão do material vegetal à matéria orgânica do solo (MOS) estão diretamente ligadas à atividade dos microrganismos do solo (Moreira & Siqueira, 2006). Estudos demonstram que durante poucos dias de decomposição dos materiais vegetais, os carboidratos solúveis são decompostos conjuntamente aos componentes ricos em N, os quais determinarão a velocidade inicial de decomposição dos resíduos (Gunnarsson & Marstorp, 2002). Desta forma, o processo de decomposição é grandemente influenciado pelos teores iniciais de N na planta.

Além do N na planta, a fertilização com N mineral poderá desempenhar um importante papel no processo de humificação e formação dos componentes mais estáveis da MOS. Estudos têm demonstrado o potencial do N em aumentar os compartimentos estáveis da MOS quando este é aplicado em locais com predomínio de serapilheira de plantas com alto teor de lignina (Dijkstra et al., 2004).

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a contribuição do N interno (resíduo) e N externo (solo) para as emissões de C-CO₂ durante a decomposição de resíduos de eucalipto no solo.



MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em sala de incubação com condições controladas (25 ± 1 °C, no escuro). Os tratamentos foram definidos com base em fatorial incompleto $[1 + (2 \times 2)] \times 3$ e dispostos em blocos ao acaso (DBC). Os resíduos de eucalipto (híbrido de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*) utilizados foram previamente enriquecidos com ^{13}C , conforme Machado et al. (2011). As plantas foram crescidas em solução nutritiva (Clark, 1975) e, nas três semanas finais do cultivo, foi realizada a omissão do N da solução em metade dos vasos, permitindo a diluição do N nos tecidos das plantas em crescimento, e assim possibilitando a diferenciação dos teores internos de N. Assim, foi possível a obtenção de resíduos de baixa relação C/N (parte aérea: 65,0 e raiz: 40,0) e alta relação C/N (parte aérea: 150,0 e raiz: 55,0).

Os resíduos das plantas com duas relações C/N distintas foram incubados em duas combinações (Raiz marcada com isótopo de ^{13}C + parte aérea não marcada, RmPANm, e Raiz não marcada com isótopo de ^{13}C + parte aérea marcada, RnmPAm) em quantidades equivalentes de C e três fontes de N externo (sem adição, NH_4NO_3 ou Alanina [N-Amino], as duas na dose de 50 mg dm^{-3}) mais três tratamentos sem resíduo e sem N, com 50 mg dm^{-3} de N via NH_4NO_3 ou Alanina [N-Amino].

Para a incubação dos resíduos foram utilizadas amostras de um Latossolo Amarelo (0-20 cm) da região de Paula Cândido - MG, em área cultivada com pastagem de *Brachiaria brizantha* por mais de 20 anos. Esse cultivo de espécie C4 proporcionou um teor de $3,01 \text{ dag kg}^{-1}$ de C (C/N: 25,17) e uma maior abundância natural de ^{13}C na matéria orgânica do solo ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ igual a $-16,75 \text{ ‰}$).

As unidades experimentais foram montadas em potes de vidro com tampa rosqueável contendo um septo central, no qual era introduzida uma seringa (60 mL) para captura da atmosfera gasosa, ao longo do tempo. Foram realizadas 32 amostragens durante o período amostral de 2854 h (aproximadamente 119 dias). Em cada tempo de coleta foram determinadas as concentrações de CO_2 e $\delta^{13}\text{C}\text{-CO}_2$ nas amostras gasosas por meio de um Espectrômetro de Cavidade Ressonante tipo *ring-down* (CRDS, G2131-i, Picarro, Sunnyvale, CA)

Foi então realizado o particionamento do C- CO_2 em cada ponto de amostragem ao longo do tempo conforme a equação 1 e 2 (Moran et al., 2005):

$$f = \frac{[(\delta^{13}\text{C}\text{-CO}_2 \text{ trat.} - \delta^{13}\text{C}\text{-CO}_2 \text{ contr.}) / (\delta^{13}\text{C}\text{-CO}_2 \text{ (solo, raiz ou PA)} - \delta^{13}\text{C}\text{-CO}_2 \text{ contr.})]}{\text{Equação 1.}}$$

em que f é a proporção de C de raiz ou de parte aérea (PA) presente no C total da amostra de gás, *trat.* é o tratamento correspondente e *contr.* é o tratamento controle, sem resíduo, correspondente ao tratamento (solo, solo + NH_4NO_3 e solo + Alanina [N-Amino]).

O teor de C derivado de cada compartimento presente no gás foi calculado pela equação 2:

$$F = f \times \text{C-CO}_2 \quad \text{Equação 2.}$$

em que C é teor de carbono presente na amostra de gasosa coletada dos frascos.

O C- CO_2 do resíduo total foi calculado pelo somatório de C- CO_2 derivado da raiz com o C- CO_2 derivado da parte aérea. O C- CO_2 do solo foi calculado conforme a equação 3:

$$\text{C-CO}_2(\text{solo}) = (\text{C-CO}_2\text{total} - \text{C-CO}_2(\text{Raiz} + \text{P.A.})) \quad \text{Equação 3.}$$

Para a análise estatística, foram utilizados contrastes para comparar os diferentes grupos obtidos pelos tratamentos, os quais foram testados pelo teste F.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve diferença para as emissões totais de C- CO_2 quando os resíduos de diferentes relações C/N foram adicionados. No entanto, o solo proporcionou em média mais emissões de C- CO_2 quando foram adicionados resíduos de alta relação C/N, enquanto os resíduos de baixa relação C/N foram os que emitiram maiores concentrações de C- CO_2 . A demanda de N pelos microrganismos do solo direcionam a dinâmica de decomposição da matéria orgânica do solo e dos resíduos (Kuzyakov, 2010). Desta forma, a não diferença das emissões totais de C- CO_2 parece indicar uma dinâmica de disponibilização de N para os microrganismos entre a matéria orgânica e os resíduos, em um processo denominado *Efeito priming* (Kuzyakov, 2010).

A adição de N nos solos incubados com os diferentes resíduos resultou em redução das emissões totais, do solo e dos resíduos. Quando se aplica N, independente da fonte utilizada, a emissão reduz de 2,36 para $1,96 \text{ mg g}^{-1}$ de solo (Figura 1 e Tabela 1).

A diminuição na emissão de C- CO_2 do solo e dos resíduos pela aplicação de N vem sendo relatada na literatura (Treseder, 2008), assim como observado no presente trabalho.

Esse efeito vem sendo atribuído a diferentes Baldockmecanismos que podem ocorrer durante a decomposição dos resíduos ou da MOS: a) Produção de compostos recalcitrantes aromáticos



pela reação entre amônio e grupos fenólicos da lignina (Stevenson, 1982); b) Inibição de enzimas degradadoras de lignina por compostos aminados de baixo peso molecular (Carreiro, 2000); c) Formação de compostos aminados que tornam-se protegidos da oxidação biológica por várias interações com os minerais (Baldock & Skjemstad, 2000); ou d) encapsulamento dentro de materiais biologicamente recalcitrantes (Knicker & Hatcher, 2001).

Quando são comparadas as fontes de N (mineral e orgânica), o $N-NH_4NO_3$ foi o mais efetivo na redução da emissão de C-CO₂ totais, do solo e dos resíduos (Figura 1 e Tabela 1), provavelmente devido à preferência de utilização do C-Alanina como fonte de energia. Esse aminoácido é de fácil decomposição pelos microrganismos (Dippold & Kuzyakov, 2013), resultando em estímulo à degradação de compostos mais recalcitrantes dos resíduos e no solo.

CONCLUSÕES

A adição de resíduos de eucalipto com baixa relação C/N proporcionou maior decomposição da matéria orgânica do solo.

Resíduos de eucalipto com baixa relação C/N decompõem mais rápido no solo.

A adição de N retardou a decomposição da matéria orgânica do solo e dos resíduos de eucalipto, sobretudo pela fonte mineral de NH_4NO_3 .

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem À FAPEMIG, ao grupo NUTREE e a Universidade Federal de Viçosa pelo apoio institucional e financeiro.

REFERÊNCIAS

BALDOCK, J.A.; SKJEMSTAD, J.O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. *Organic Geochemistry*, 31:697-710, 2000.

CLARK, R.B. Characterization of phosphate of intact maize roots. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 23:458-460, 1975.

DIJKAŠTRA, F.A.; HOBBIÉ, S.E.; KNOPS, J.M.H.; REICH, P.B. Nitrogen deposition and plant species interact to influence soil carbon stabilization. *Ecology Letters*, 7:1192-1198, 2004

DIPPOLD, M.A.; KUZYAKOV, Y. Biogeochemical transformations of amino acids in soil assessed by position-specific labelling. *Plant and Soil*, 373:385-401, 2013.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; BRITO, E.C. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho-Amarelo na região nordeste Fluminense (RJ). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:1421-1428, 2007.

GUNNARSSON, S.; MARSTORP, H. Carbohydrate composition of plant materials determines N mineralization. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 62:175-183, 2002.

GUNNARSSON, A.S. Influence of non-cellulose structural carbohydrate composition on plant material decomposition in soil. *Biology and Fertility of Soils*, 45: 27-36, 2008.

International Panel on Climate Change (IPCC) 2003 *Good practice guideline for greenhouse gas inventories for land-use change, & forestry*. Kanagawa, Japan: Institute of Global Environmental Strategies (IGES).

JENSEN, L.S. Influence of biochemical quality on C and N mineralization from a broad variety of plant materials in soil. *Plant and Soil*, 273:307- 326, 2005.

KNICKER, H.; HATCHER, P.G. Sequestration of organic nitrogen in the sapropel from Mangrove Lake, Bermuda. *Organic Geochemistry*, 32:733-744, 2001.

KUZYAKOV, Y. Priming effects: interactions between living and dead organic matter. *Soil Biology & Biochemistry* 42, 1363-1371, 2010.

MACHADO, D.N.; NOVAIS, R.F.; SILVA, I.R.; LOUREIRO, M.E.; MILAGRES, J.J.; SOARES, E.M.B. Enriquecimento e alocação de ¹³C em plantas de eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35:857, 2011.

MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. *Microbiologia e Bioquímica do Solo*. 2.ed. Atual. e Ampl. Lavras: UFLA, p.729. 2006.

Santana, A. Gases do Efeito Estufa - Aquecimento Global. Disponível:<<http://www.infoescola.com/geografia/gases-do-efeito-estufa/>>. Acesso em: 4 jun. 2015.

STEVENSON, F.J. *Humus Chemistry. Genesis, composition and reactions*. New York, John Wiley & Sons, 1982.

THURIÉS, L.; PANSU, M.; LARRIÉ-LARROUY, M.C.; FELLER, C. Biochemical composition and mineralization kinetics of organic inputs in a sandy soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 34:239-250, 2002.

TRESEDER, K.K. Nitrogen additions and microbial biomass: a meta-analysis of ecosystem studies. *Ecology Letter*, 11:1111-1120, 2008.

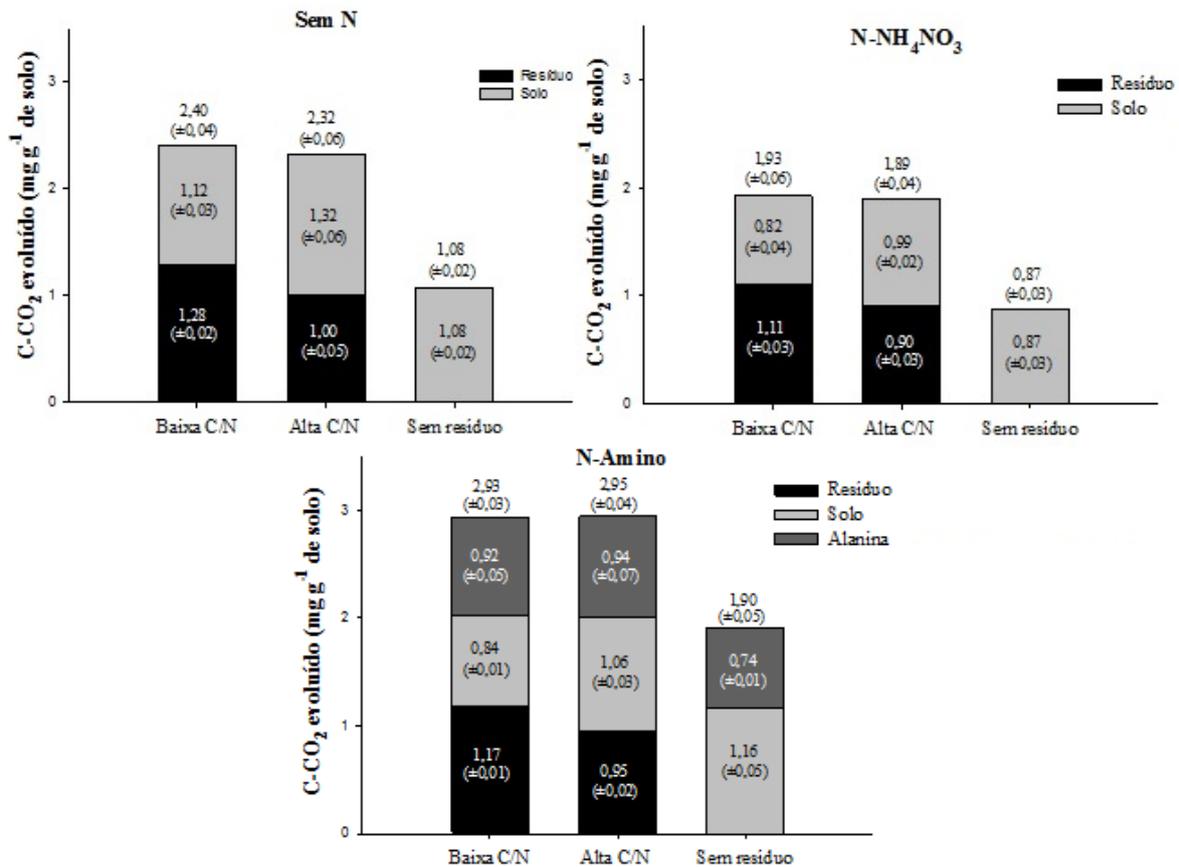


Figura 1. Valores acumulados de C-CO₂ (mg g⁻¹ de solo) do solo sem ou com resíduo (baixa ou alta C/N), sem ou com adição de 50 mg dm⁻³ de N (N-NH₄NO₃ ou N-Amino) após 119 dias de incubação. Valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão da média (n=4).

Tabela 1. Estimativa dos contrastes ortogonais e adicionais para as variáveis de C-CO₂ (mg g⁻¹ de solo) do solo, resíduo (raiz + P.A.) e solo + resíduo.

CONTRASTES	C-CO ₂ acumulado mg g ⁻¹ de solo		
	Solo	Resíduo	Solo + resíduo
C ₁ Efeito da adição do resíduo	0,11 ^{ns}	25,66 ^{**}	25,49 ^{**}
C ₂ Efeito da alta relação C/N do resíduo	2,35 ^{**}	-2,82 ^{**}	-0,44 ^{ns}
C ₃ Efeito da adição do N (N-NH ₄ NO ₃ e N-Amino) com resíduo de baixa relação C/N	-2,31 ^{**}	-1,15 ^{**}	-3,41 ^{**}
C ₄ Efeito da adição do N (N-NH ₄ NO ₃ e N-Amino) com resíduo de alta relação C/N	-2,35 ^{**}	-0,61 ^{**}	-2,87 ^{**}
C ₅ Efeito da adição do N-Amino sobre N-NH ₄ NO ₃ com resíduo de baixa relação C/N	0,08 ^{ns}	0,27 ^{**}	0,41 ^{**}
C ₆ Efeito da adição do N-Amino sobre N-NH ₄ NO ₃ com resíduo de alta relação C/N	0,24 [*]	0,17 [*]	0,51 ^{**}
C ₇ Efeito da adição de N (N-NH ₄ NO ₃ e N-Amino) sem resíduo	-0,69 ^{**}	0,00 ^{ns}	-0,47 ^{ns}
C ₈ Efeito da adição de N-Amino sobre N-NH ₄ NO ₃ sem resíduo	0,94 ^{**}	0,00 ^{ns}	1,16 ^{**}
C _{A1} Efeito da alta relação C/N do resíduo em comparação a baixa relação C/N com N-NH ₄ NO ₃	0,69 ^{**}	-0,80 ^{**}	-0,10 ^{ns}
C _{A2} Efeito da alta relação C/N do resíduo em comparação a baixa relação C/N com N-Amino	0,86 ^{**}	-0,90 ^{**}	0,00 ^{ns}

*, **, ns : significativo a 5 %, 1 % e não significativo pelo teste F (F_{Tab. (8,24)}: 2,36; F_{Tab. (3,24)}: 3,01; F_{Tab. (1,24)}: 4,26; F_{Tab. (8,24)}: 3,36; F_{Tab. (3,24)}: 4,72; F_{Tab. (1,24)}: 7,82).