

### **III-051 - MINERALIZAÇÃO DO RESÍDUO PROVENIENTE DA SECAGEM DOS GRÃOS DE CAFÉ APLICADO SUPERFICIALMENTE NO SOLO**

**Igor Rozado Bosa**<sup>(1)</sup>

Graduando em Engenharia Agrônoma pelo Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Santa Teresa.

**Paola Alfonsa Vieira Lo Monaco**<sup>(2)</sup>

Graduada em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Engenharia Agrícola (UFV). Doutora em Recursos hídricos e ambientais (UFV). Professora do Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Santa Teresa.

**Henrique Teodoro Barth**<sup>(3)</sup>

Graduando em Engenharia Agrônoma pelo Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Santa Teresa.

**Vinicius Bonatto Roldi**<sup>(4)</sup>

Graduando em Engenharia Agrônoma pelo Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Santa Teresa.

**Ismail Ramalho Haddade**<sup>(5)</sup>

Graduado em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Zootecnia (UFV). Doutor em Produção Animal pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro e Pós-doutorado em Biometeorologia e Bem-Estar Animal, pela Universidade de Évora. Portugal. Professor de ensino básico técnico e tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Rua Izidoro Formentini, S/N – Santo Antônio do Canaã – Santa Teresa – ES – CEP: 29654-000 – Brasil – Tel: (27) 99813-5953 – e-mail: [igorrozadobosa@gmail.com](mailto:igorrozadobosa@gmail.com)

#### **RESUMO**

O aproveitamento de resíduos do beneficiamento dos grãos de café (moinha de café) como adubo de culturas agrícolas implica na necessidade de se conhecer a dinâmica de sua decomposição e liberação dos nutrientes neles contidos, de modo a auxiliar o produtor rural no manejo desses resíduos, sobretudo na melhor época de sua aplicação no solo. Objetivou-se, com a realização deste trabalho, avaliar a dinâmica do carbono e do nitrogênio orgânicos durante o processo de mineralização do referido resíduo, quando aplicados superficialmente em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd). O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente ao acaso, com dez tratamentos, relacionados a diferentes períodos pós-disposição no solo (0, 7, 13, 20, 27, 34, 48, 69, 98, 147 dias) e quatro repetições. Amostras foram coletadas para as quantificações das concentrações do carbono orgânico facilmente oxidado (COfo), nitrogênio orgânico (NO) e nas determinações de suas respectivas frações mineralizadas. A avaliação da mineralização do COfo, por ser mais estável e menos suscetível às variações climáticas, é a mais apropriada para a estimativa da fração mineralizada do resíduo. A aplicação da moinha de café em LVAd, durante o mês de agosto, proporciona, após 140 dias, frações mineralizadas de COfo e NO em torno de 92,8 e 57,4%, respectivamente, nas condições climáticas da região Serrana do Espírito Santo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Moinha de café, dinâmica de decomposição, adubação.

#### **INTRODUÇÃO**

A cafeicultura é uma atividade agrícola de grande importância econômica para o desenvolvimento socioeconômico do estado do Espírito Santo. No entanto, associado à elevada produtividade, o processamento de frutos do cafeeiro gera grande quantidade de resíduos, tais como palha, polpa, mucilagem e a água residuária, dependendo do processo de beneficiamento adotado.

Segundo Meneghelli et al. (2016), especificamente na etapa na qual se utilizam secadores, é gerado um resíduo conhecido na região Centro Serrana do Espírito Santo por “moinha de café”. A moinha é composta por restos vegetais tais como folhas, galhos, restos de inflorescências e grãos malformados do próprio cafeeiro, que, quando secados juntamente com o mesmo, sofrem queima e são rejeitados do secador. Diariamente, durante o beneficiamento dos grãos de café, os produtores retiram esse resíduo depositado abaixo do secador, o estocam e posteriormente realizam sua distribuição nas lavouras do próprio cafeeiro, por conter muitos nutrientes para

as plantas. No entanto, os produtores desconhecem como é a dinâmica desse material orgânico no solo e quando estará mineralizado, para que se possa planejar a adubação da cultura de forma que possa absorver eficientemente os nutrientes disponibilizados, o que depende das condições edafoclimáticas da região.

O aproveitamento agrícola desses resíduos é uma alternativa econômica e ambientalmente viável, quando as doses de aplicação estiverem adequadas para atendimento das necessidades das culturas, sem que haja disponibilização acima da sua capacidade em absorver nutrientes (MATOS, 2010). O potencial de utilização desses resíduos na adubação das culturas implica na necessidade de se conhecer a dinâmica de decomposição e liberação dos nutrientes neles contidos, visando-se estabelecer estratégias que permitam sincronizar a liberação de nutrientes com a época de maior demanda pelas culturas agrícolas, evitando-se, assim, a imobilização e, ou, a rápida mineralização desses (PITTA et al., 2012).

Segundo MATOS (2010), o uso de resíduos orgânicos na agricultura, como fertilizante, além de disponibilizar macro e micronutrientes, também representa proteção ambiental e conservação de recursos naturais, uma vez que, dentre outros benefícios, a correta disposição dos resíduos no solo proporciona melhoria da estruturação e da estabilização dos agregados, aumento da porosidade total, melhoria das condições físico-hídricas, aumento da capacidade de retenção de água e complexação/quelatação de substâncias tóxicas. Por outro lado, se os resíduos forem dispostos acima da capacidade de suporte do solo ou da necessidade das culturas pode gerar problemas ambientais associados às perdas de nitrogênio, aumento na população de patógenos e vetores e na concentração de metais pesados além de possibilitar a salinização de solos agrícolas (PEREIRA et al., 2015).

Diante disso, alguns trabalhos tais como os conduzidos por Pereira et al. (2015), Paula et al. (2013) e Diniz et al. (2016) foram realizados com o intuito de avaliar a mineralização e degradação de alguns resíduos no solo, sendo a fração mineralizada importante variável na definição das doses de sua aplicação no solo (Paula, 2012). A obtenção dessa é, entretanto, complexa e influenciada por grande número de fatores que interferem na dinâmica do C e N no solo, como condições edafoclimáticas, características do resíduo e forma como ele é disposto no solo (PAULA et al., 2013).

Em decorrência da falta de informações sobre a dinâmica de mineralização da moinha de café no solo e, sobretudo nas condições edafoclimáticas da região Serrana do Espírito Santo, esse estudo torna-se essencial, pois possibilita o uso e a época correta de aplicação desses resíduos agrícolas no solo. Tal fato proporciona a eliminação de um problema ambiental das propriedades que geram tais resíduos, em razão de serem aproveitados e dispostos de forma harmônica no meio ambiente e, ao mesmo tempo, promove redução nos custos de adubação, beneficiando toda a cadeia, do produtor ao consumidor. Assim, objetivou-se, com a realização deste trabalho, avaliar a dinâmica do carbono e do nitrogênio orgânico durante o processo de mineralização do resíduo proveniente da secagem dos grãos de café (moinha de café), quando aplicados superficialmente no solo.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O experimento foi realizado em condição de campo, em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, no Ifes campus Santa Teresa, no município de Santa Teresa, Espírito Santo, nas coordenadas geográficas: latitude de 19°48' Sul, longitude 40°40' Oeste e altitude de 130 m. A temperatura média anual é de 24 °C e a pluviosidade entre 900 e 1200 mm.

O resíduo proveniente da secagem dos grãos café foi coletado em um secador de uma propriedade agrícola, localizada no Município de Santa Teresa, Espírito Santo. Os resíduos foram utilizados na forma como foram coletados, ou seja, sem trituração ou peneiramento.

A caracterização química e físico-química da moinha de café foi realizada no Laboratório de Qualidade da Água e de Resíduos Sólidos do IFES – campus Santa Teresa. A análise físico-química consistiu na determinação da condutividade elétrica (CE), por meio de um condutivímetro de bancada. A análise química consistiu na determinação do pH, por meio de um peagâmetro de bancada, e na quantificação das concentrações de carbono orgânico facilmente oxidável (CO<sub>fo</sub>), carbono orgânico total (CO<sub>T</sub>), nitrogênio total (N<sub>T</sub>), fósforo (P) e potássio (K), seguindo-se metodologia descrita por Matos (2015). Na Tabela 1 apresentam-se as características químicas e físico-químicas da moinha de café utilizada no experimento.

**Tabela 1. Atributos químicos e físico-químico (CE) da moinha de café utilizada no experimento**

pH	CE	CO <sub>fo</sub>	CO <sub>T</sub>	N <sub>T</sub>	N <sub>org</sub>	P <sub>T</sub>	K	C/N
	dS m <sup>-1</sup>	-----dag kg <sup>-1</sup> -----						
5,60	6,49	31,74	41,26	2,31	2,07	0,14	0,71	17,86

<sup>1</sup>pH – potencial hidrogeniônico em água; CE – condutividade elétrica 1:2,5 (v:v); CO<sub>fo</sub> - carbono orgânico facilmente oxidável; CO<sub>T</sub>- carbono orgânico total; N<sub>T</sub> - nitrogênio total; P - fósforo; K – potássio.

A dose de resíduo aplicada no solo foi baseada na quantidade requerida de N para uma produção de 50-70 sacas ha<sup>-1</sup> de grãos pelo cafeeiro, o que equivale a 380 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N, conforme recomendado por Prezotti et al. (2007). As quantidades equivalentes aplicadas por área foram calculadas, considerando-se 2.000.000 kg de solo por hectare (massa de solo em 10.000 m<sup>2</sup>, para a camada 0-0,2 m de profundidade e com densidade do solo de 1,12 kg dm<sup>-3</sup>).

O experimento foi conduzido segundo delineamento inteiramente ao acaso, com dez tratamentos e quatro repetições, sendo considerados na composição dos tratamentos os diferentes períodos pós-condicionamento do resíduo nos anéis (0, 7, 13, 20, 27, 34, 48, 69, 98 e 147 dias).

O acompanhamento do processo de mineralização foi realizado enterrando-se anéis perfurados de tubulação de PVC com 20 cm de diâmetro e 5 cm de altura, para permitir o livre movimento de solutos entre os dois meios (Figuras 1 e 2).



**Figura 1. Anéis perfurados utilizados para acondicionar o resíduo do beneficiamento de grãos do café no solo.**



**Figura 2. Detalhe do cravamento dos anéis no solo e da disposição do resíduo sobre a superfície do solo.**

O resíduo foi aplicado superficialmente sobre o solo, no interior dos anéis. Amostras com, aproximadamente, 100 cm<sup>3</sup> de material foram coletadas aos 0, 7, 13, 20, 27, 34, 48, 69, 98, 147 dias, após a instalação do experimento, para análise da concentração do carbono orgânico facilmente oxidado (COfo) e das concentrações de nitrogênio total, nitrogênio inorgânico nas formas amoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e nítrica (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), seguindo-se o método descrito por Matos (2015).

Os teores de COfo e NO, obtidos no tempo de 0 a 147 dias, foram utilizados diretamente na Equação 1, para a obtenção das frações mineralizadas observadas (FmCOfo(ob)), propostas por Paula et al. (2013).

$$FmCOfo(Ob) = 100 * [(COfo(Trat)_{in} - COfo(Cont)_{in}) - (COfo(Trat)_{fin} - COfo(Cont)_{fin})] / (COfo(Trat)_{in} - COfo(Cont)_{in}) \quad \text{equação (1)}$$

Em que:

COfo(Trat)<sub>in</sub> e COfo(Trat)<sub>fin</sub> = C orgânico facilmente oxidável no solo/resíduo, respectivamente no início e final do período de incubação da amostra (dag kg<sup>-1</sup>);

COfo(Cont)in e COfo(Cont)fin = C orgânico facilmente oxidável no solo, respectivamente no início e final do período de incubação da amostra (dag kg<sup>-1</sup>).

No que se refere ao nitrogênio orgânico (Equação 2):

$$\text{FmNO(Ob)} = 100 * [(\text{NO(Trat)in} - \text{NO(Cont)in}) - (\text{NO(Trat)fin} - \text{NO(Cont)fin})] / (\text{NOfo(Trat)in} - \text{NOfo(Cont)in}) \quad \text{equação (2)}$$

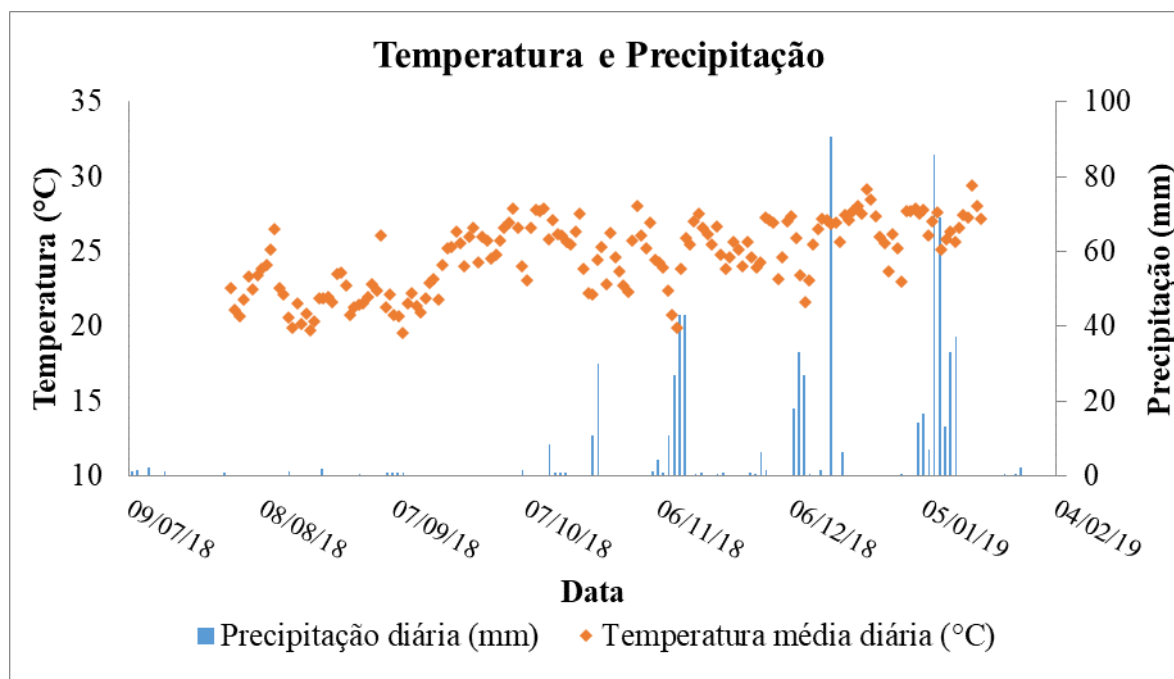
Em que:

NO(Trat)in e NO(Trat)fin = N orgânico no solo/resíduo, respectivamente no início e final do período de incubação da amostra (dag kg<sup>-1</sup>);

NO(Cont)in e NO(Cont)fin = N orgânico no solo, respectivamente no início e final do período de incubação da amostra (dag kg<sup>-1</sup>).

Os teores de C orgânico COfo(min) e N orgânico NO(min), mineralizados ao longo do tempo, foram obtidos pelas diferenças entre os teores no dia em que foi aplicado o resíduo (Dia zero) e os quantificados na data imediatamente posterior.

Dados climáticos de precipitação e temperatura foram coletados durante os meses de agosto de 2018 a janeiro de 2019, na estação meteorológica do IFES- *campus* Santa Teresa, para serem utilizados como informações auxiliares na discussão dos resultados. Dessa forma, apresenta-se na Figura 3 os dados de temperatura do ar e precipitação durante o período experimental.



**Figura 3. Dados de temperatura e precipitação durante a fase de monitoramento da decomposição da moinha de café disposta superficialmente no solo.**

Os dados foram submetidos previamente ao Teste de Levene (Homocedasticidade) e Shapiro-Wilk (Normalidade) e, analisados conforme DIC, com 10 tratamentos (referente ao período pós-condicionamento dos resíduos nos anéis) e quatro repetições, avaliados por meio de análise de regressão linear (modelo linear), conforme a Equação 3:

$$y_{ij} = m + I_i + e_{ij} \quad \text{equação (3)}$$

Em que:

$y_{ij}$  = valor observado

$m$  = constante geral

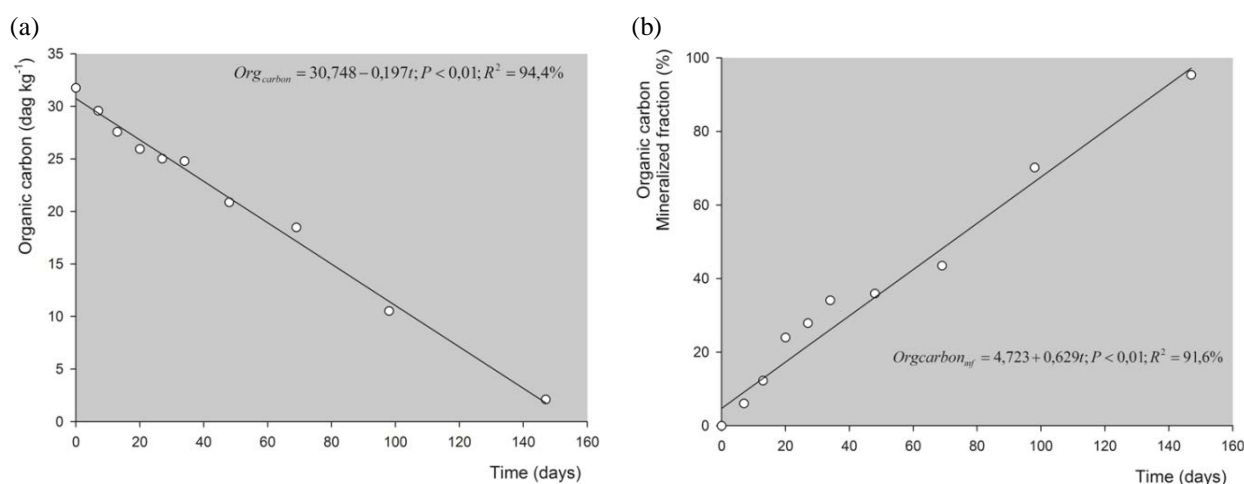
$I_i$  = efeito da idade

$e_{ij}$  = erro aleatório pressuposto NID

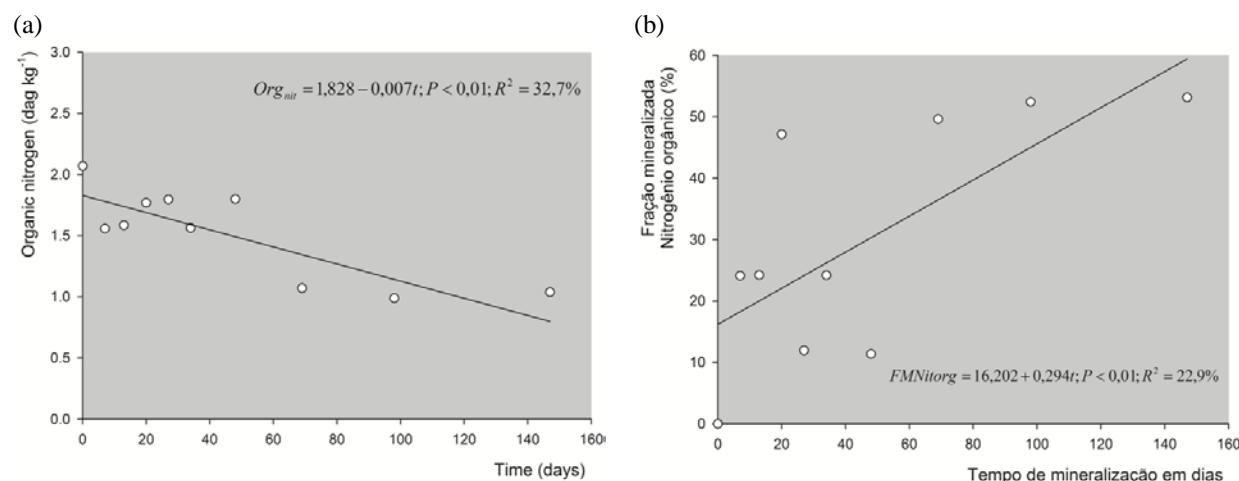
As equações de regressão foram utilizadas para descrever o comportamento do carbono orgânico e do nitrogênio orgânico, bem como suas respectivas frações mineralizadas, ao longo do período pós-condicionamento no solo. Para todos os procedimentos foi adotado um “ $\alpha$ ” de até 0,01.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 4(a) e 4(b) apresentam-se os conteúdos de carbono orgânico e as frações mineralizadas de carbono orgânico, respectivamente, e, nas Figuras 5(a) e 5(b), os conteúdos de nitrogênio orgânico (diferença entre o nitrogênio total e o nitrogênio amoniacal) e as frações mineralizadas de nitrogênio orgânico da moinha de café, ao longo do tempo de degradação no solo.



**Figura 4. Conteúdo de carbono orgânico (a) e das frações mineralizadas de carbono orgânico (b) da moinha de café, ao longo do tempo de degradação no solo.**



**Figura 5. Conteúdo de nitrogênio orgânico (a) e das frações mineralizadas de nitrogênio orgânico (b) da moinha de café, ao longo do tempo de degradação no solo.**

De acordo com os resultados apresentados na Figura 4a, verifica-se um comportamento linear decrescente do carbono orgânico da moinha de café, ao longo dos dias de monitoramento, em razão do processo de mineralização. O decréscimo no teor de carbono orgânico durante a mineralização é inerente a tal processo,



pois se deve, principalmente, à liberação de CO<sub>2</sub>, resultante da respiração dos microrganismos responsáveis pela transformação da matéria orgânica (KIEHL, 2002).

Na Figura 4b verifica-se que as frações mineralizadas de carbono orgânico, aos 30, 60, 90, 120 e 150 dias de monitoramento, foram de 23,6; 42,5; 61,3; 80,2 e 99,1 %, respectivamente.

Comparando-se os resultados obtidos neste trabalho com os obtidos por outros autores, embora tenham utilizado outros resíduos, verifica-se que a fração mineralizada de carbono orgânico, neste trabalho, foi mais lenta. Pereira et al. (2015), ao estudarem o processo de decomposição do carbono orgânico (CO) e nitrogênio orgânico (NO) dos resíduos da pupunheira, em condições de campo e laboratório, e em duas formas de aplicação (com incorporação ou em disposição superficial no solo), verificaram que as frações mineralizadas de CO<sub>fo</sub> estimadas, foram, após 28 dias de incubação do resíduo, 50,98 %, quando os resíduos foram dispostos superficialmente. Paula et al. (2013), ao analisarem diferentes métodos de estimativa das frações mineralizadas dos esterco de bovinos, suínos e galinhas, bem como do lodo de esgoto e do composto de lixo urbano, em campo, quando incorporados ou dispostos sobre um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd), verificaram que as frações mineralizadas de CO<sub>fo</sub> estimadas, foram, após 30 dias de incubação do resíduo, superiores a 75,6 %, nos resíduos dispostos superficialmente.

Segundo Figueiredo et al. (2012), diversos fatores interferem na decomposição e na mineralização dos resíduos orgânicos, dentre os quais se podem citar a relação C/N dos resíduos, as características físico-químicas e biológicas, além da temperatura e umidade do solo.

O maior tempo requerido para a mineralização do carbono orgânico da moinha de café pode estar associado principalmente às condições climáticas ocorridas durante o período de monitoramento, principalmente nos meses de agosto e setembro. De acordo com a Figura 3, observa-se que durante esses meses não houve precipitação, retardando, portanto, o processo de mineralização. A própria característica do resíduo, em razão da presença de taninos, cafeína e fibras lignificadas da moinha de café, podem também ter contribuído para que os microrganismos tivessem maior dificuldade em degradar esse material.

Quanto à mineralização do nitrogênio orgânico (Figura 5a), verifica-se também tendência linear decrescente, porém, com coeficiente de determinação baixo, em razão da elevada instabilidade dessa variável, dificultando a estimativa da fração mineralizada (Figura 5b). Tal fato foi também verificado por Pereira et al. (2015) e Paula et al. (2013), estudando a mineralização de diversos resíduos no solo. Paula et al. (2013) concluíram que os teores de nitrogênio inorgânico e, conseqüentemente, de nitrogênio orgânico, estão sujeitos à forte influência de variações climáticas e, por essa razão, geraram estimativas pouco confiáveis de fração mineralizada dos resíduos orgânicos estudados, tal como ocorrido neste trabalho. Pereira et al. (2015) afirmaram que a utilização do CO<sub>fo</sub>, como referencial para a avaliação de resíduos orgânicos, é a mais indicada.

De acordo com a Figura 5b, verifica-se que a fração mineralizada de nitrogênio orgânico passou a ser maior a partir dos 70 dias, período em que coincidiu com o início da precipitação (Figura 3). Ao final dos 150 dias de monitoramento, verifica-se que a fração mineralizada de nitrogênio orgânico alcançou cerca de 60%.

Apesar da moinha de café necessitar de um tempo maior para a mineralização durante período estudado (agosto a janeiro), ressalta-se que é justamente nessa época o período de geração desse resíduo e, portanto, a necessidade de dispô-lo nessa época. Se o produtor dispuser o resíduo em cafeeiros na época em que ele for gerado, ou seja, em torno do mês de agosto, nutrientes como o nitrogênio poderão estar disponíveis em torno dos meses de dezembro e janeiro, período de maior demanda nutricional pelo cafeeiro Conilon. Este resultado torna-se importante, porque permite planejar melhor a adubação, visando-se coincidir a liberação de nutrientes com a época de maior demanda pelas culturas nas quais serão aplicados esses resíduos.

## CONCLUSÕES

A avaliação da mineralização do CO<sub>fo</sub>, por ser mais estável e menos suscetível às variações climáticas, é a mais apropriada para a estimativa da fração mineralizada do resíduo.

A aplicação da moinha de café em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, durante o mês de agosto, proporciona, após 140 dias, frações mineralizadas de CO<sub>2</sub> e NO em torno de 92,8 e 57,4%, respectivamente, nas condições climáticas da região Serrana do Espírito Santo.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à FAPES, pelo financiamento desta pesquisa, e ao Programa de Difusão Científica (PRODIF) da Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação do Ifes, pelo auxílio na tradução deste manuscrito.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. ANDRADE, C. A.; OLIVEIRA, C.; CERRI, C. C. Cinética de degradação da matéria orgânica de biossólidos após aplicação no solo e relação com a composição química inicial. *Bragantia*, v.65, n.4, p.659-668, 2006.
2. DINIZ, I. C. C.; MATOS, A. T.; BORGES, A. C.; AQUINO, J. M. L.; MATOS, M. P. Degradation of sewage sludge compost disposed on the soil. *Engenharia Agrícola*, v. 36, n.5, p.822-829, 2016.
3. FIGUEIREDO, C.C., RAMOS, M. L. G., PIMENTEL, C. M. M., MENEZES, A. M. D. Mineralização de esterco de ovinos e sua influência na produção de alface. *Horticultura Brasileira*, v.30, n.1, p.175-179, 2012.
4. KIEHL, E. J. Manual de compostagem: Maturação e qualidade do composto. 3.ed. Piracicaba: E. J. Kiehl, 2002. 171p.
5. MATOS, A. T. Poluição ambiental – Impactos no meio físico. Viçosa: Imprensa Universitária, UFV, 2010. 260p.
6. MATOS, A. T. Manual de análise de resíduos sólidos e águas residuárias. Viçosa: Editora UFV, 1ª ed., 2015. 149p.
7. MENEGHELLI, C. M., LO MONACO, P. A. V., HADDADE, I. R., MENEGHELLI, L. A. M., KRAUSE, M. R. Resíduo da secagem dos grãos de café como substrato alternativo em mudas de café Conilon. *Coffee Science*, v. 11, n. 3, p. 329 - 334, 2016.
8. PAULA, J. R.; MATOS, A. T.; MATOS, M. P.; PEREIRA, M. S.; ANDRADE, C. A. Mineralização do carbono e nitrogênio de resíduos aplicados ao solo em campo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, n. 6, p. 1729-1741, 2013.
9. PEREIRA, M. S.; MATOS, A. T.; BORGES, A. C., NUNES, M. F. Mineralização do resíduo da pupunheira em condições de campo e laboratório. *Engenharia Agrícola*, v. 35, n. 5, p. 918-930, 2015.
10. PITTA, C. S. R., ADAMI, P. F., PELISSARI, A., ASSMANN, T. S., FRANCHIN, M. F., CASSOL, L. C., SARTOR, L. R. Year-round poultry litter decomposition and N, P, K and Ca release. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 36, n. 3, p. 1043-1053, 2012.
11. PREZOTTI, L. C., GOMES, J. A., DADALTO, G., OLIVEIRA, J. A. Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: 5ª aproximação. 2007, 301 p.