

RESÍDUO DE *BRACHIARIA* FERTILIZADA COM NITROGÊNIO NA ADUBAÇÃO DO CAFEIEIRO

Adriene Woods Pedrosa¹, José Laércio Favarin², Ana Luisa Soares de Vasconcelos³,
Bruno Vasconcelos Carvalho⁴, Felipe Brendler Oliveira⁵, Gabriela Barbosa Neves⁶

(Recebido: 15 de agosto de 2013; aceito: 21 de outubro de 2013)

RESUMO: O uso de resíduos vegetais no cultivo do cafeeiro pode minimizar as perdas e favorecer o uso eficiente do nitrogênio. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar como o modo de aplicação do nitrogênio, se na forrageira, no cafeeiro ou em ambos, afeta o crescimento do cafeeiro. Mudanças de *Coffea arabica* foram plantadas em vasos de 25 L e cultivadas em casa de vegetação. O nitrogênio foi aplicado na forma de sulfato de amônio, ora diretamente no cafeeiro, ora na planta forrageira (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu), a qual foi cultivada em parcelas de 10 m², sem N; e com 150 e 300 kg ha⁻¹ de N, realizada aproximadamente 45 dias antes do corte da forrageira. Após o corte, 500 g de material vegetal fresco foram acondicionados em recipientes de nylon e colocados sobre os vasos. Amostras da braquiária foram colhidas para determinação da concentração de N-total e da relação C/N; bem como da concentração de N-total, no tecido foliar do cafeeiro. Em cada parcelamento de N e corte, avaliou-se a taxa de crescimento em diâmetro do caule e altura da planta. No final do experimento, avaliou-se a produção de massa seca, número de folhas e área foliar do cafeeiro; e, a biomassa restante da braquiária em degradação. O estado nutricional do cafeeiro não foi prejudicado, quando o nutriente foi fornecido via massa seca da forrageira, fertilizada com nitrogênio. A adição de resíduo da forrageira, sem adubação nitrogenada, favoreceu a imobilização do N do solo e reduziu a concentração de N-foliar do cafeeiro.

Termos para indexação: *Coffea arabica*, *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, doses de nitrogênio, ciclagem de nutrientes, eficiência nutricional.

BRACHIARIA RESIDUES FERTILIZED WITH NITROGEN IN COFFEE FERTILIZATION

ABSTRACT: The use of crop residues in the cultivation of the coffee can minimize nitrogen losses and promote its efficiently use. This study aimed to evaluate how the mode of application of nitrogen in the forage, in coffee or both affects of the seedlings' growth. Seedlings of *Coffea arabica* were planted in 25 L pots and grown in a greenhouse. Nitrogen was applied as ammonium sulfate, either directly on the coffee tree under the canopy, or sometimes on forage crop (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu). This forage crop was grown in plots of 10 m², without N, and with 150 and 300 kg ha⁻¹ N, which this fertilization was performed approximately 45 days prior to cutting the grass. After cutting 500 g of fresh plant, the material was placed in nylon containers and placed on the vessels. Samples were harvested to determine the concentration of total-N and C/N ratio, as well as the concentration of total-N in leaf tissue of the coffee plant. In each plot after the cutting of the plants, growth rate in diameter and plant height was recorded. In a final experiment the dry matter production, leaf number and leaf area of the coffee were evaluated, as well as the rest of *Brachiaria* in biomass degradation. The coffee nutritional status was not impaired when the nutrient was supplied via cycling biomass of forage fertilized with nitrogen. The addition of the forage residue without nitrogen fertilization favored the immobilization of soil N and reduced the concentration of N-coffee leaf.

Index terms: *Coffea arabica*, *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, nitrogen doses, nutrient cycling, nutritional efficiency.

1 INTRODUÇÃO

O uso de plantas de cobertura do solo tem sido uma estratégia capaz de aumentar a sustentabilidade da produção agrícola, trazendo benefícios para as culturas de interesse econômico, o solo e o ambiente. O manejo das plantas de cobertura e a compreensão dos fatores que regulam sua decomposição assumem importante papel na produção agrícola, por possibilitar a elaboração de técnicas de cultivo que melhorem a utilização dos nutrientes contidos nos resíduos vegetais (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES; BRITO, 2007).

Os solos tropicais são pobres em N disponível para as culturas, e a adição de nutrição rica em N é fundamental para garantir a alta produtividade, o que onera a produção agrícola. A quantidade e a forma aplicada varia de acordo com o manejo de cada cultura, e esses dois são determinantes do nível de aproveitamento do N derivado dos adubos, sejam minerais ou orgânicos (URQUIAGA et al., 2002). Portanto, a decomposição dos resíduos vegetais constitui uma fonte alternativa de reservas nitrogenadas, em relação à adubação mineral, pois a existência desses resíduos orgânicos na superfície do solo

^{1,2,3,4,5,6} Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP - Departamento de Produção Vegetal - Fitotecnia Avenida Pádua Dias 11 - Cx. P 9 - 13.418-900 Piracicaba-SP - awoodsp74@gmail.com, jlfavari@esalq.usp.br, analuisacervicin@yahoo.com.br, brunovascar@yahoo.com.br, felipebrendler@msn.com, gbrl.neves@gmail.com

favorecem a ciclagem dos nutrientes, melhorando assim a fertilidade do solo e a nutrição de plantas, especialmente em relação ao nitrogênio.

Dentre os nutrientes minerais das plantas, o nitrogênio é o que mais limita a produtividade agrícola por participar da estrutura de inúmeros compostos vitais aos vegetais e ser o mais escasso no solo. A principal fonte de nitrogênio (N) para as plantas é a matéria orgânica (MO) do solo, além de fornecedora de elementos, como fósforo e enxofre e de vários micronutrientes. A matéria orgânica também é fonte de energia para os organismos que participam do ciclo biológico do solo, exercendo importante papel na microbiologia e na fertilidade (COTTA et al., 2007).

A mineralização da matéria orgânica libera N inorgânico, o qual constitui a principal fonte de N para as plantas nos sistemas agrícolas (CANTARELLA, 2007). Portanto, a qualidade e a quantidade do resíduo orgânico implicará em maior ou menor acúmulo de matéria orgânica no solo, bem como maior ou menor ciclagem de nutrientes (URQUIAGA et al., 2002). No entanto, para reduzir as perdas de N, que são inevitáveis, é fundamental otimizar o uso do fertilizante nitrogenado, bem como conhecer a forma como esse está sendo perdido para o meio ambiente.

O nitrogênio ligado à matéria orgânica do solo sofre diversas reações mediadas por microrganismos e, conseqüentemente, são afetadas por fatores climáticos, ambientais e de manejo. Dependendo da combinação desses fatores (umidade, temperatura, pH, etc.), o nitrogênio pode ser conservado, tornando-se disponível para as plantas, ou ser perdido por lixiviação, volatilização ou desnitrificação (CANTARELLA, 2007).

Em sistemas de cultivo, em que há aporte de material vegetal fresco, com C-orgânico disponível como fonte de energia, pode-se aumentar a ciclagem de N, comparativamente ao sistema, sem fornecimento de resíduos (CANTARELLA, 2007). Quando o fertilizante nitrogenado é aplicado no solo, uma parte do N é recuperada pelo sistema radicular e parte aérea, enquanto outra parte permanece no solo, podendo ficar imobilizada ou ser perdida do sistema solo-planta (FENILLI et al., 2008). Assim, a baixa eficiência no uso dos fertilizantes nitrogenados está associada à sua dinâmica no solo.

A relação C/N indica o nível de fertilidade desse material, e por meio de diversos mecanismos de mineralização da matéria orgânica do solo, o nitrogênio é liberado para as raízes das plantas, sob a forma de nitrito (NO₂).

A degradação gradual do material em matéria orgânica estável conduz à estabilização da relação entre C e N (COTTA et al., 2007). Quando se adiciona ao solo resíduos com relação C/N alta, os microrganismos utilizam o N dessa matéria orgânica e o N existente no solo, para produção de sua biomassa, diminuindo, dessa maneira, a relação C/N da matéria orgânica adicionada, bem como a disponibilidade de N para outras plantas (CANTARELLA, 2007).

A aquisição dos nutrientes pelo cafeeiro depende da eficiência dos mecanismos de absorção, do volume de solo explorado pelas raízes, bem como a forma como o nutriente foi fornecido à planta, se diretamente ou via resíduos. A eficiência de utilização reflete a capacidade da planta se desenvolver e produzir bem, sob determinado teor de nutriente no solo (AMARAL et al., 2011).

O estudo da eficiência nutricional do nitrogênio no cafeeiro tem grande importância, tendo em vista as diferentes formas de fornecimento do nitrogênio, que vem sendo empregada no consórcio braquiária *versus* café, sem que se conheça sua eficácia. Considerando que o custo do fertilizante contribui em até 30% do custo total da produção, a otimização da eficiência nutricional é fundamental, para melhorar a produtividade e reduzir custos de produção. Sendo, portanto, de fundamental importância a identificação do manejo mais eficaz, quanto à aplicação do fertilizante nitrogenado e o corte da braquiária.

O consórcio entre cafeeiro e braquiária tem sido cada vez mais utilizado, sua adoção pode diminuir as perdas de nitrogênio e, portanto, reduzir o custo de produção, devido à liberação gradual do N, contido na palhada da braquiária. No entanto, na literatura não há informações sobre o modo de aplicação da adubação nitrogenada, se este deve ser aplicado na forrageira, no cafeeiro ou em ambos a lanço. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar como o modo de aplicação do nitrogênio, se na forrageira, no cafeeiro ou em ambos, afeta o crescimento do cafeeiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado em casa de vegetação do Departamento de Produção Vegetal, na ESALQ-USP, em Piracicaba, SP. Mudanças de *Coffea arabica* L. cv. Mundo Novo IAC 379-19 foram transplantadas para vasos de 25 L, contendo uma mistura de 70% de solo e 30% de areia. Os resultados da análise química da mistura

apresentaram as seguintes características: pH (CaCl₂) = 5,2; Ca = 37,0; Mg = 13,0; Al = 0,0; H+Al = 28; K = 4,7, expressos em mmol_c dm⁻³; S-SO₄ = 17 mg dm⁻³; P_{res} = 21,0 mg dm⁻³; matéria orgânica = 17,0 g cm⁻³; capacidade de troca de cátions (CTC) = 83; V = 66% e N = 1,05 mg kg⁻¹. Os vasos foram irrigados sempre que necessário com, aproximadamente, 600 mL de água com um regador e adubados conforme os tratamentos. A adubação com os demais nutrientes foi realizada, de acordo com a recomendação de Rajj et al. (1997).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em que se utilizou quatro tratamentos e seis repetições.

A *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf Marandu foi cultivada em parcelas de, aproximadamente, 10 m², em canteiros do Departamento de Produção Vegetal. A braquiária foi roçada para uniformização da área e depois adubada com 300 kg ha⁻¹ de N, parcelado em três vezes, de acordo com os tratamentos (100% da dose de N aplicada no cafeeiro sem braquiária, 100% da dose de N aplicada no cafeeiro com braquiária sem N, 50% da dose de N aplicada no cafeeiro e 50% na braquiária, 100% da dose de N aplicada na braquiária). Para o cafeeiro, seguiu-se a recomendação de 300 kg ha⁻¹ de N, na forma de sulfato de amônio (RAIJ et al., 1997), o que correspondeu a 2,88 g de N, por vaso, no tratamento com 100% da dose. As adubações, bem como o manejo da braquiária, foram realizadas em outubro e dezembro de 2010 e janeiro de 2011, perfazendo três parcelamentos, sendo o experimento finalizado em junho de 2011, perfazendo um total de 240 dias experimentais.

Quarenta e cinco dias após cada parcelamento da adubação feita na braquiária, colheu-se a forrageira e uma amostra de 500 g de material vegetal fresco foi adicionado no vaso, sendo o volume máximo que cabia no recipiente, totalizando três cortes. As amostras da forrageira foram acondicionadas em recipientes de nylon de malha de 4 mm² e dimensão 30 cm x 30 cm, para evitar perdas e permitir o acompanhamento da decomposição do resíduo. Na mesma época, realizou-se a avaliação do diâmetro e altura da planta de cafeeiro, bem como a aplicação da adubação nitrogenada nos vasos, conforme os tratamentos.

Subamostras da braquiária e foliares do cafeeiro foram coletadas, em cada corte da braquiária. Essas foram secas em estufa a 70 °C até massa constante. Logo após, foi

determinada a massa seca e as amostras moídas em moinho tipo Wiley, com peneira de 20 mesh, e, posteriormente, submetidas às análises químicas, para a determinação das concentrações de N-total, conforme metodologia de Kjeldahl (BREMNER; MULVANEY, 1982). Análise do C foi feita via combustão seca, denominado método Dumas, em um Analisador Elementar CHNS/O, Série II da PerkinElmer, no Centro de Análise Agroambiental da Embrapa Arroz e Feijão.

A partir dos dados biométricos, foram calculadas as taxas de crescimento vegetativo das plantas em diâmetro do caule (mm) e altura (cm). A taxa de crescimento em diâmetro do caule (TCD; mm dia⁻¹) foi determinada pela expressão:

$$TCD = \Delta DC / \Delta t$$

em que: TCD (mm dia⁻¹) corresponde à taxa de crescimento do diâmetro das plantas; ΔDC (mm), à variação do diâmetro, obtido em cada intervalo de amostragem; e Δt (dias) refere-se aos intervalos entre as avaliações.

A taxa de crescimento em altura (TCA, cm dia⁻¹) foi determinada pela expressão:

$$TCA = \Delta H / \Delta t$$

em que: TCA (cm dia⁻¹) corresponde à taxa de crescimento em altura das plantas; ΔH (mm), à variação da altura obtida em cada intervalo de amostragem; e Δt (dias) refere-se aos intervalos entre as avaliações.

No final do experimento foi determinado o acúmulo de massa seca (g), nas diferentes partes do cafeeiro (folhas, ramos, caules, raízes e total). Bem como o número de folhas e a área foliar, determinada em um medidor de área foliar modelo LiCor 3100.

O conteúdo de nitrogênio (mg) determinado a partir do produto da massa seca total da planta e a concentração de N-total. A eficiência nutricional do nitrogênio foi calculada conforme as equações (AMARAL et al., 2011):

a) Eficiência de absorção (EA)

$$EA (mg g^{-1}) = CNT (mg) / MSR (g)$$

b) Eficiência de utilização (EU)

$$EU (g^2 mg^{-1}) = MST^2 (g) / CNT (mg)$$

c) Eficiência de utilização para produção de raízes (EPR)

$$EPR (g^2 mg^{-1}) = MSR^2 (g) / CNT (mg)$$

d) Eficiência de utilização para produção de parte aérea (EPA)

$$EPA (g^2 mg^{-1}) = MSPA^2 (g) / CNT (mg)$$

em que: MST corresponde à massa seca total da planta (g); MSR, à massa seca de raiz (g); MSPA, à massa seca da parte aérea (g), CNT, ao conteúdo total de N na planta (mg).

Os dados foram submetidos a testes de normalidade e homogeneidade de variâncias, e posteriormente à análise de variância pelo teste F e Tukey, a 5% de probabilidade, realizadas pelo programa Statistical Analysis System (SAS), do software para Windows 9.2 (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE - SAS INSTITUTE, 2010).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A concentração foliar de nitrogênio (N) do cafeeiro não foi prejudicada quando o nutriente foi fornecido via massa seca da planta forrageira fertilizada com N (Tabela 1). O fornecimento do nitrogênio completamente no cafeeiro sem resíduo de braquiária não apresentou diferença estatística, quando comparado com o fornecimento realizado parcialmente ou completamente via resíduo da braquiária adubada. No entanto, quando o fornecimento de nitrogênio foi realizado completamente no cafeeiro com resíduo de braquiária sem N, houve uma queda considerável na concentração foliar de N no cafeeiro, fato esse que pode ser explicado pela possível imobilização do N pelos microorganismos do solo, já que esse material foi o que apresentou maior relação C/N (Tabela 1).

O N-total nas folhas do cafeeiro foi inferior com a aplicação de toda a dose de N no cafeeiro, com braquiária sem adubação com N, em relação aos demais tratamentos (Tabela 1), o que pode ser explicado pela imobilização do nitrogênio do solo pelos micro-organismos. A adição de resíduo da forrageira ao solo afeta o equilíbrio entre a mineralização e a imobilização do N, o qual depende da relação C/N do material. Na adição ao solo de material rico em carbono e pobre em nitrogênio, uma vez que a braquiária não foi adubada com N, a imobilização microbiana de N é superior à decomposição, e com isso os microorganismos recorrem ao N-inorgânico presente no solo, para sustentar o crescimento da população microbiana (CANTARELLA, 2007).

As gramíneas produzem grande quantidade de massa seca rica em carbono e mantêm boa cobertura do solo, com exigência relativamente baixa, quanto ao preparo e fertilidade (TOLEDO et al., 2005). Além disso, normalmente, gramíneas possuem maior relação C/N, por isso, permanecem

por mais tempo no solo; no entanto, no início da decomposição tende-se a maior imobilização de nutrientes, principalmente nitrogênio, visto que a quantidade de N não é suficiente para atender à demanda da microbiota decompositora, o que implica na sua imobilização e, portanto, redução na sua disponibilidade para outras culturas (TEIXEIRA et al., 2009).

O resíduo vegetal pobre em nitrogênio apresentou maior relação C/N e proporcionou menor concentração de N-foliar na planta de café (Tabelas 1 e 2). Gramíneas com maior relação C/N permanecem por mais tempo no solo, e, prevalecendo no início da decomposição uma maior imobilização de nutrientes, principalmente N, visto que a quantidade de N não é suficiente para atender à demanda da microbiota decompositora, o que implica na sua imobilização e, portanto, redução na sua disponibilidade a outras culturas (TEIXEIRA et al., 2009).

Para o teor de nitrogênio no solo não foi observada diferença estatística entre o tratamento, no qual o N foi aplicado completamente no cafeeiro sem resíduo de braquiária, com o fornecimento realizado parcialmente ou completamente, via resíduo da braquiária adubada, aos 120 e 240 dias após o início da aplicação dos tratamentos. Também foi observado, aos 120 dias, que, no tratamento no qual o fornecimento do nitrogênio foi realizado completamente no cafeeiro com resíduo da braquiária não adubada, esse apresentou o menor teor de nitrogênio no solo (4,52 mg kg⁻¹ de solo), e que esse teor aumentou (5,13 mg kg⁻¹ de solo), aos 240 dias. Esse fato comprova a imobilização inicial do nitrogênio do solo, quando o resíduo adicionado ao solo apresenta alta relação C/N (Tabela 2).

O fornecimento de material vegetal fresco (resíduos), com C-orgânico disponível como fonte de energia, pode aumentar a ciclagem de N, comparativamente ao sistema sem fornecimento de resíduos, mas quando se adicionam ao solo resíduos com alta relação C/N, os microorganismos utilizaram o N dessa matéria orgânica e o N existente no solo para produção de sua biomassa, diminuindo, dessa maneira, a relação C/N da matéria orgânica adicionada, bem como a disponibilidade de N para outras plantas (CANTARELLA, 2007).

TABELA 1 - Concentrações de N-total (mg g⁻¹) nas folhas (NF), ramos (NR), caules (NC) e raízes (NRz) do cafeeiro, no final do experimento.

TRATAMENTOS	NF	NR	NC	NRZ
	----- mg g ⁻¹ -----			
N no cafeeiro, sem resíduo de braquiária	30,4 a	23,6 a	10,3 a	23,6 a
N no cafeeiro, com resíduo braquiária sem N	27,1 b	21,3 b	9,0 ab	21,2 b
Parte do N no cafeeiro e parte na braquiária	31,1 a	23,3 a	9,1 ab	23,3 a
Todo N somente na braquiária	30,1 a	22,6 ab	8,1 b	22,6 ab
CV (%)	15,62	14,06	18,84	14,75

* Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

TABELA 2 - Concentrações de N-total (g kg⁻¹ de MS) nas folhas (NBq) e relação C/N da braquiária fresca, e teor de N no solo (mg kg⁻¹ de solo), aos 120 e 240 dias, após o início das adubações e manejo da braquiária.

TRATAMENTOS	Braquiária		Solo (mg kg ⁻¹)	
	NBq	C/N	120 dias	240 dias
	(mg g ⁻¹)			
N no cafeeiro, sem resíduo de braquiária	---	---	5,38 ab	5,38 ab
N no cafeeiro, com resíduo braquiária sem N	14,5	46,2	4,52 b	5,13 b
Parte do N no cafeeiro e parte na braquiária	22,5	28,5	5,83 a	5,72 a
Todo N somente na braquiária	36,5	17,1	4,91 b	5,5 ab
CV (%)	16,18	---	18,17	16,62

* Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade

Para que a necessidade de N dos microrganismos decompositores seja atendida, sem que esses recorram ao N do solo, o resíduo deve ter aproximadamente 17 g kg⁻¹ de N, o que corresponderia a uma relação C/N próxima dos 25 a 30 (SILGRAM; SHERPHER, 1999).

O que pode ser comprovado neste trabalho, no qual foi observado no tratamento com fornecimento de N completamente no cafeeiro com adição de resíduo de braquiária não adubada. Esse tratamento apresentou uma concentração média de 14,5 g kg⁻¹ de N, o que resultou em uma C/N de 46, favorecendo dessa forma a imobilização do nitrogênio pelos microrganismos do solo (Tabela 2).

Em estudo sobre a mineralização de adubos verdes na cafeicultura, foi observado que, durante o período de incubação dos resíduos de *Brachiaria decumbens* Stapf, o nitrogênio presente nos resíduos atingiu estado de equilíbrio com o solo, pois essa gramínea apresentava adequadas formas

solúveis de carbono, relação C/N=28 e baixo teor de lignina, o que fez com que o equilíbrio, no processo de mineralização e imobilização de N no solo, fosse atingido (CHACÓN et al., 2011). Portanto, a adição de fitomassa de gramíneas, com relação C/N intermediária (~30), proporciona, simultaneamente, proteção do solo e fornecimento de nitrogênio à cultura em sucessão ou consorciada.

A massa seca das folhas, ramos, caule, raízes e total, bem como o número de folhas foram superiores nos cafeeiros conduzidos na presença de resíduo da forrageira fertilizada com N, seja ela total ou parcial, quando comparada à fertilização total no cafeeiro sem resíduo de braquiária (Tabela 3). Fato esse que comprova a eficiência da adubação nitrogenada parcialmente no cafeeiro e na forrageira e não somente na cultura do café.

Os cafeeiros, que receberam braquiária sem fertilização nitrogenada, apresentaram maior massa seca remanescente da forrageira (Tabela 3), fato esse decorrente da maior relação C/N desse

TABELA 3 - Massa seca (g) nas folhas (MSF), ramos (MSR), caule (MSC), raízes (MSRz) e total (MST) do cafeeiro; e da braquiária (MSB) em decomposição (g) remanescentes, no final do experimento.

TRATAMENTOS	MSF	MSR	MSC	MSRz	MST	MSB
	----- g -----					
N no cafeeiro, sem resíduo de braquiária	64,6 b	25,7 b	49,6 b	26,6 c	166,5 b	---
N no cafeeiro, com resíduo braquiária sem N	85,2 a	38,2 a	49,2 b	30,8 bc	203,4 a	106,6 a
Parte do N no cafeeiro e parte na braquiária	80,7 ab	37,5 a	62,6 a	35,80 ab	216,6 a	83,5 b
Todo N somente na braquiária	77,2 ab	37,2 a	57,3 a	40,6 a	212,3 a	88,3 b
CV (%)	15,02	19,17	17,98	14,61	10,46	15,35

* Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

TABELA 4 - Área foliar (AF), número de folhas (NF), taxas de crescimento em altura de planta (TCA em cm dia⁻¹) e em diâmetro do caule (TCD em mm dia⁻¹), para o cafeeiro ao final do experimento.

TRATAMENTOS	AF	NF	TCA	TCD
			(cm dia ⁻¹)	(mm dia ⁻¹)
N no cafeeiro, sem resíduo de braquiária	8758,4 b	214,2 b	0,247 a	0,031 b
N no cafeeiro, com resíduo braquiária sem N	8782,6 b	274,7 a	0,201 a	0,049 a
Parte do N no cafeeiro e parte na braquiária	9998,5 a	278,8 a	0,246 a	0,052 a
Todo N somente na braquiária	9562,4 ab	290,1 a	0,221 a	0,047 a
CV (%)	15,89	19,42	28,88	17,31

* Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade

material (Tabela 2), uma vez que resíduos com maior relação C/N permanecem por mais tempo no solo (TEIXEIRA et al., 2009).

A área foliar do cafeeiro foi superior quando a adubação nitrogenada foi realizada parcialmente no cafeeiro, indicando que esse manejo é mais eficiente do que os demais estudados (Tabela 4).

A TCA foram semelhantes, independe do modo de aplicação de nitrogênio, o que demonstra que, para essa variável, a adubação do cafeeiro pode ser realizada totalmente ou em parte na braquiária (Tabela 4). Pode-se inferir que a adição de resíduos da forrageira deve contribuir para maior enraizamento do cafeeiro e, dessa forma, propiciar maior aproveitamento do N, como indicam os dados apresentados na Tabela 2.

Para TCD, o fornecimento por completo da dose de N no cafeeiro, sem a presença de resíduo de braquiária foi inferior aos demais tratamentos (Tabela 4). Logo, a adubação nitrogenada feita na gramínea foi suficiente para suprir nutricionalmente o cafeeiro, após a decomposição do resíduo.

Portanto, em cultivo onde há aporte de material vegetal fresco, contendo C-orgânico disponível como fonte de energia, como no cafeeiro consorciado com braquiária esse cultivo tende a apresentar maior ciclagem de nitrogênio, em relação a sistema sem fornecimento de resíduos, fato comprovado na presente pesquisa (Tabela 4).

Em um estudo sobre a assimilação de nutrientes pelo cafeeiro, em função do manejo da cobertura do solo também foi observado que os cafeeiros que receberam resíduo de *B. brizantha* nas entrelinhas, foram significativamente mais altos e com diâmetro de caule maior, que os cafeeiros que não receberam resíduos (TOLEDO et al., 2005).

A eficiência de absorção de nitrogênio só apresentou diferença estatística entre os tratamentos nos quais o nitrogênio foi aplicado completamente no cafeeiro, sem resíduo de braquiária, e a aplicação do nutriente completamente, via resíduo da braquiária (Tabela 5).

TABELA 5 - Eficiência de absorção de N (EA em mg g⁻¹), eficiência de utilização de N (EU em g² mg⁻¹), eficiência de utilização de N para produção de raízes (EPR em g² mg⁻¹) e eficiência de utilização de N para produção da parte aérea (EPA em g² mg⁻¹) do cafeeiro, no final do experimento.

TRATAMENTOS	EA	EU	EPR	EPA
	(mg g ⁻¹)	----- (g ² mg ⁻¹) -----		
N no cafeeiro, sem resíduo de braquiária	500,92 a	2,02 b	0,06 c	1,40 b
N no cafeeiro, com resíduo braquiária sem N	449,99 ab	2,37 ab	0,07 bc	1,64 ab
Parte do N no cafeeiro e parte na braquiária	417,43 ab	2,99 a	0,09 ab	2,02 a
Todo N somente na braquiária	372,78 b	2,92 a	0,10 a	1,91 a
CV (%)	14,43	15,11	24,68	17,79

* Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade

No tratamento no qual o nitrogênio foi aplicado completamente no cafeeiro, sem resíduo de braquiária, foi observada maior eficiência de absorção de nitrogênio, o que pode ser explicado pelo fato de que, neste tratamento, o nutriente ficou prontamente disponível para absorção pelo cafeeiro, logo após sua aplicação, mas isso não resultou em maior eficiência de utilização do mesmo.

A aquisição de nutrientes depende dos mecanismos de absorção e do volume de solo explorado pelas raízes; tais mecanismos podem ser avaliados pelas eficiências de absorção e de produção de raízes (MARTINEZ et al., 1993). Neste experimento, pôde ser constatado que, apesar de apresentar altas concentrações de nitrogênio nas diferentes partes avaliadas (Tabela 1), o tratamento no qual o N foi completamente fornecido ao cafeeiro, sem resíduo da braquiária, apresentou as menores eficiências de utilização, produção de raízes e parte aérea (Tabela 5). O que mais uma vez demonstra que o resíduo da braquiária traz benefícios ao desenvolvimento do cafeeiro.

Em um estudo sobre os aspectos nutricionais foi definido que a eficiência de uso ou nutricional é resultante do produto entre as eficiências de aquisição e utilização; por sua vez, a eficiência de aquisição é composta pela eficiência de absorção e de enraizamento, enquanto a eficiência de utilização é formada pela eficiência de transporte e de produção de biomassa (LI; MCKEAND; ALLEN, 1991). Portanto, quanto maior for a eficiência de utilização de nutrientes, maior a eficiência de uma variedade em converter o nutriente em massa seca.

Na ciclagem da matéria orgânica do solo para a liberação de nutrientes ao sistema solo-planta de forma adequada, deve-se considerar não só a quantidade de resíduo, mas também sua qualidade, de forma a alcançar sistemas de cultivo agrícola sustentável, e a correta seleção do insumo e sua quantidade permitem elaborar práticas de manejo que otimizem o uso dos resíduos orgânicos, garantindo, ao mesmo tempo, a conservação do solo e a produtividade (CHACÓN et al., 2011).

O correto manejo da braquiária consorciada ao cafeeiro pode proporcionar um bom controle de plantas indesejáveis, proteger o solo contra efeitos diretos do sol e da chuva e fornecer nutriente para o cafeeiro, sobretudo nitrogênio, principalmente, quando a adubação for realizada no sistema, ou seja, parcialmente no cafeeiro e na braquiária.

Os dados obtidos reforçam a idéia de que o uso de resíduos de braquiária sob a copa do cafeeiro é uma alternativa viável de cultivo mais sustentável, por reciclar nutrientes que poderão ser utilizados durante e nos próximos ciclos do cafeeiro, após sua decomposição e armazenamento no solo, como matéria orgânica com posterior remineralização.

4 CONCLUSÕES

A adição de resíduo de braquiária adubada com nitrogênio, independente da dose, nutre adequadamente o cafeeiro quanto às necessidades de N.

A adição de resíduo da forrageira, não adubada com nitrogênio, favorece a imobilização do N do solo e reduz a concentração de N-foliar do cafeeiro.

A adição do resíduo da braquiária adubada com nitrogênio favorece uma maior eficiência de utilização do nitrogênio, pelo cafeeiro.

5 REFERÊNCIAS

- AMARAL, J. F. T. et al. Eficiência da utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 4, p. 621-629, abr. 2011.
- BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. Nitrogen total. In: PAGE, A. L. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2nd ed. Madison: Soil Science Society of America, 1982. p. 595-624.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.
- CHACÓN, E. A. V. et al. Decomposição de fontes orgânicas e mineralização de formas de nitrogênio e fósforo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 3, p. 373-383, maio/jun. 2011.
- COTTA, J. A. O. et al. Validação do método para determinação de Nitrogênio Kjeldahl Total. **Revista Analytica**, Rio de Janeiro, n. 26, p. 68-75, dez. 2006/ jan. 2007.
- FENILLI, T. A. B. et al. Fertilizer ¹⁵N balance in a coffee cropping system: a case study in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1459-1469, 2008.
- GAMA-RODRIGUES, A. C. da; GAMA-RODRIGUES, E. F. da; BRITO, E. C. de. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em argissolo vermelho-amarelo na região noroeste fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1421-1428, 2007.
- LI, B.; MCKEAND, S. E.; ALLEN, H. L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**, Bethesda, v. 37, n. 2, p. 613-626, 1991.
- MARTINEZ, H. E. P. et al. Comportamento de variedades de soja cultivadas sob diferentes níveis de fósforo: II., translocação do fósforo absorvido e eficiência nutricional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 17, p. 239-244, 1993.
- RAIJ, V. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: UNICAMP, 1997. 290 p. (Boletim Técnico, 100).
- SILGRAM, M.; SHEPHERD, M. A. The effects of cultivation on soil nitrogen mineralization. **Advances in Agronomy**, Madison, v. 65, p. 267-311, 1999.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **SAS/STAT user's guide**. Version 9.2. Cary, 2010.
- TEIXEIRA, C. M. et al. Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milho e milho mais crotalária no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 647-653, 2009.
- TOLEDO, D. S. et al. Assimilação de nutrientes e desenvolvimento de cafezal orgânico em função do manejo da cobertura do solo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 4., 2005, Londrina. **Resumos Expandidos...** Brasília: EMBRAPA Café, 2005. 1 CD-ROM.
- URQUIAGA, S. et al. Influence of crop rotation and soil tillage system in the organic C balance in an oxisol (Typic Haplorthox). In: CONGRESSO MUNDIAL DE CIÊNCIA DO SOLO, 17., 2002, Bangkok. **Resumos Expandidos...** Bangkok: Srimuang, 2002. 1 CD-ROM.