

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Eficiência da aplicação de ureia em fertirrigação de cafeeiros irrigados
por pivô central, utilizando o traçador ¹⁵N**

Isabeli Pereira Bruno

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutor em Ciências. Área de concentração:
Fitotecnia

**Piracicaba
2010**

Isabeli Pereira Bruno
Engenheiro Agrônomo

Eficiência da aplicação de ureia em fertirrigação de cafeeiros irrigados por pivô central, utilizando o traçador ^{15}N

Orientador:
Prof. Dr. **KLAUS REICHARDT**

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutor em Ciências. Área de concentração:
Fitotecnia

**Piracicaba
2010**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Bruno, Isabeli Pereira

Eficiência da aplicação de ureia em fertirrigação de cafeeiros irrigados por pivô central, utilizando o traçador ¹⁵N / Isabeli Pereira Bruno. - - Piracicaba, 2010.
117 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2010.

1. Café 2. Fertilizantes nitrogenados 3. Fertirrigação 4. Isótopos estáveis 5. Ureia
Título

CDD 633.73
B898e

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

À Ana Luiza Pereira Bruno, minha irmã
À Maria Helena Pereira Bruno, minha mãe
Ao André Shigueyoshi Nakatani, meu amor
Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Klaus Reichardt, grande orientador, por toda contribuição durante minha formação acadêmica.

Ao Dr. Murray Unkovich, pela colaboração com a análise dos dados e pela amizade durante minha estadia na “University of Adelaide”, Austrália.

Ao Dr. Paulo A. Bellingieri (FCAV/UNESP), Dr. João C. Oliveira (FCAV/UNESP), Dr. Flávio Prada (FMVZ/USP) e Dr. Donald Nielsen (University of California, EUA) pelos incentivos a minha carreira científica.

À USP, ESALQ, CENA e ao Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, pela oportunidade concedida.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudo concedida inicialmente, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de estudo e auxílio financeiro para desenvolvimento do presente trabalho.

À Agropecuária Arakatu e à Fundação Bahia pelo apoio com o experimento em campo.

Ao Sr. Herman Burema, proprietário da Fazenda Morena, e ao Engenheiro Agrônomo Harry van der Vliet por permitirem a instalação e fornecerem o suporte necessário ao desenvolvimento do experimento.

Aos Técnicos Agrícolas Wesley Vieira Moreira (Fazenda Morena) e Edmilson Figueredo (Fundação Bahia), pela competente cooperação, amizade e ensinamentos durante a condução do experimento em campo.

Aos estagiários e funcionários da Fazenda Morena, em especial ao Engenheiro Agrônomo Antônio Castro e Técnico Agrícola Ubirajara Cavalcante, pela disponibilidade em ajudar nos momentos críticos.

Ao Dr. Osny Bacchi e aos colegas do Laboratório de Física do Solo, pelo apoio e companheirismo.

Ao pessoal do Laboratório de Isótopos Estáveis e do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas (CENA), pelo auxílio durante o preparo e análise das amostras.

À bibliotecária Sílvia Maria Zinsly pela ajuda com as referências.

Aos amigos Élide, Daphne, Milton, Victor, Tonin, Adriana, Alessandra, Rodney, Gerardo, Hilal, Rebeca, Andrés, Joanne, Robinho, Andréa, Luís Marcos, Tereza, Luciara, Ribeirinho, Leila, Sigfredo, David, Claire e Enrique, pelos momentos felizes durante este doutorado.

A cada membro das famílias Pereira e Bruno por contribuírem, cada um à sua maneira, para a minha formação pessoal e profissional.

“Acredito nos moços.
Exalto sua confiança,
generosidade e idealismo.
Creio nos milagres da ciência
e na descoberta de uma profilaxia
futura dos erros e violências do presente.
Aprendi que mais vale lutar
do que recolher dinheiro fácil.
Antes acreditar do que duvidar.”

Cora Coralina

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO	15
Referências.....	19
2 Eficiência da absorção do nitrogênio do fertilizante por cafeeiros fertirrigados: Evolução da absorção de N pelos compartimentos da planta	25
Resumo.....	25
Abstract.....	25
2.1 Introdução	26
2.2 Material e métodos	28
2.3 Resultados e discussão	39
2.4 Considerações finais	68
Referências.....	68
3 Eficiência da absorção do nitrogênio do fertilizante por cafeeiros fertirrigados: Balanço final de N	75
Resumo.....	75
Abstract.....	75
3.1 Introdução	76
3.2 Material e métodos	77
3.3 Resultados e discussão	86
3.4 Considerações finais	110
Referências.....	111

RESUMO

Eficiência da aplicação de ureia em fertirrigação de cafeeiros irrigados por pivô central, utilizando o traçador ^{15}N

A cultura do cafeeiro é muito importante para a economia agrícola brasileira e em anos recentes tem avançado para o cerrado do oeste da Bahia. Esta região apresenta condições de solo e clima diferentes daquelas onde a cafeicultura já está estabelecida e, portanto, necessita de reavaliações no seu manejo, principalmente quanto à adubação nitrogenada, visto que vem sendo aplicadas doses muito maiores do que aquelas usuais em outras zonas cafeicultoras. A fertirrigação é muito usada nessa região, permitindo a divisão da dose de nitrogênio (N) em várias parcelas, o que comumente diminui as perdas para o ambiente, principalmente via lixiviação. Entretanto, a redução nas perdas pode não estar ocorrendo devido às altas doses de N aplicadas, à negligência quanto ao momento de maior necessidade de N pelas plantas e às altas taxas de irrigação, o que é indesejável tanto do ponto de vista ambiental quanto do financeiro. A eficiência na absorção do N pelos cafeeiros varia no tempo dependendo das necessidades nos diferentes estádios fisiológicos, o que torna o estudo da evolução de sua absorção essencial para identificar a fase na qual as plantas mais necessitam deste nutriente. Através deste conhecimento é possível planejar melhor o parcelamento das aplicações, melhorando a eficiência do uso deste nutriente. Do mesmo modo, é importante encontrar a dose de N que seja simultaneamente mais eficiente em termos de quantidade de N absorvido do fertilizante pelos cafeeiros e de produção de grãos de café. Dentro desta perspectiva um experimento foi desenvolvido para estudar a eficiência da fertilização do N e avaliar momento e dose mais adequados para sua aplicação, no município de Barreiras, Bahia na safra 2008/2009. Os tratamentos escolhidos foram: 0, 200, 400, 600 e 800 kg ha⁻¹ de N, em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Foi usada ureia enriquecida em 1,035 átomos % de ^{15}N via fertirrigação a cada 14 dias, dividindo-se cada dose em 26 partes iguais. A concentração de N e abundância de ^{15}N foram avaliadas ao longo do tempo nos diferentes compartimentos do sistema solo-planta para descobrir o momento de maior necessidade deste elemento pela planta. Também foi realizado o balanço de N ao final do ano agrícola para se encontrar o destino do N aplicado como ureia. Estes estudos mostraram que é possível diminuir as doses comumente utilizadas em cafeeiros adultos no oeste baiano de 600 a 800 kg ha⁻¹ de N para 400 kg ha⁻¹ de N sem perda de produtividade. Esta menor dose deve privilegiar o estágio anterior ao de enchimento de grãos, que é o de maior consumo de N por folhas e frutos. A dose de 800 kg ha⁻¹ de N apresentou absorção de luxo e a maior perda de N por lixiviação.

Palavras-chave: Fertilização nitrogenada; Cafeeiro; Isótopos estáveis

ABSTRACT

Efficiency of urea applied by pivot central fertigation to coffee plants, using ^{15}N tracer

The coffee crop is very important for the Brazilian agribusiness and in recent years the coffee cultivation has been shifted to other non traditional growing areas as the “cerrado” plains of the Bahia state, which presents different soil-climate conditions in relation to other traditional coffee growing areas. The management procedures have to be re-evaluated, mainly those of nitrogen (N) application since high rates have up to now been used without any scientific support. Fertigation is very much used in this region and allows a high number of splitting, decreasing losses to the environment. However, the use of rates much higher than those applied in traditional growing areas and the high irrigation rates can be leading to expressive leaching losses, which are malefic from both economic and environmental points of view. The N absorption efficiency of the coffee plant varies in time depending on the physiological stage of the crop, so that the study of the evolution of the N absorption becomes essential to identify the moment at which the plant needs more nutrient and so better plan the partitioning of the application to avoid possible losses. In the same way it is important to find out the rates that are simultaneously more efficient in terms of the quantity of absorbed fertilizer N in relation to productivity. Within this perspective an experiment was carried out to study the efficiency of the nitrogen fertilization and evaluate the most adequate time and dose for its application, in Barreiras, BA, Brazil. Chosen treatments were: without N application, 200, 400, 600 and 800 kg ha⁻¹ of N, distributed in a randomized design with four replicates. Urea solutions enriched to 1.035 atom % ^{15}N were applied via fertigation in 14 day intervals, splitting the above mentioned doses in 26 equal parts. The N concentration and ^{15}N abundance data were evaluated along time for the different compartments of soil-plant system to discover the moment of major N need by plant, and a complete N balance was made at harvest time. These studies showed that it is possible to decrease the commonly used fertilization rate of 600-800 kg ha⁻¹ of N applied to adults coffee plants, to 400 kg ha⁻¹ of N. This lower rate should be privileged up to fruit filling, that was found to be the moment of greatest N consumption by leaves and fruits. The rate of 800 kg ha⁻¹ year⁻¹ N presented luxury absorption and presented a major quantity of N lost by leaching.

Keywords: Nitrogen fertilization; Coffee crop; Stable isotopes

1 INTRODUÇÃO

A absorção de nitrogênio (N) pela planta é fundamental para seu crescimento e desenvolvimento porque entre os macronutrientes este é o que apresenta a maior demanda, sendo assim potencialmente limitante à produção. Na agricultura, esses processos são também severamente afetados pelas práticas de manejo, que podem determinar a produtividade da cultura e seu retorno econômico. Neste trabalho a evolução da absorção de N e seu balanço final são avaliados como um estudo de caso para o cafeeiro adulto fertirrigado no oeste da Bahia, usando ureia marcada com o isótopo ^{15}N .

O cafeeiro é uma planta perene que representa um importante componente da economia de países como o Vietnã, Colômbia e Brasil, gerando renda e emprego a milhares de pessoas, direta e indiretamente. O Brasil é atualmente o maior produtor de café do mundo, com estimativas de produção de 47 milhões de sacas em 2010 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2010a). Nos últimos 15 anos o cultivo de café tem se deslocado para locais pouco comuns em seu cultivo no Brasil, como o cerrado do oeste baiano, que apesar de ainda ser uma das regiões mais pobres do país, tem experimentado recentemente um razoável crescimento econômico devido em parte ao avanço da agricultura. Em 2010 esta área já conta com quase 13.000 ha de cafeeiros em plena produção, com tendência de crescimento nos próximos anos, visto que a região é propícia para a cultura (ASSOCIAÇÃO DOS CAFEICULTORES DO OESTE DA BAHIA - ABACAFÉ, 2010; ESPÍRITO-SANTO, 2004). No entanto, como possui condições de clima e solo diferentes das tradicionais zonas cafeeiras, o oeste baiano necessita de adaptações quanto ao manejo dos cafezais e um dos principais problemas diz respeito à adubação nitrogenada, que é realizada em altas doses. Para as regiões sudeste e sul do Brasil as recomendações variam de 150 a 450 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N (RAIJ, 1996; RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999; CHAVES, 2002), enquanto no oeste da Bahia são aplicados de 600 a 800 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N (FIGUEREDO¹, informação verbal). Nesses locais são comuns extensas áreas com cafezais irrigados por pivôs centrais, que são aproveitados para a

¹ FIGUEREDO, E. Setor de café - Fundação Bahia, Luís Eduardo Magalhães – BA.

² FIGUEREDO, E. Setor de café - Fundação Bahia, Luís Eduardo Magalhães – BA.

fertirrigação, o que é bastante vantajoso pois possibilita o fornecimento de água e nutrientes concomitantemente. A fertirrigação possibilita que o parcelamento do fertilizante seja feito em muitas aplicações, o que pode diminuir possíveis perdas de N para o ambiente. No entanto o uso de doses muito acima das recomendadas para outras regiões cafeeiras, a negligência quanto ao fornecimento de N na época de maior demanda pela planta e a alta intensidade de irrigação podem estar levando a perdas de nitrogênio principalmente via lixiviação, o que é maléfico tanto do ponto de vista ambiental quanto do econômico.

Cerca de 80% do N aplicado em cultivos agrícolas não é absorvido pelas plantas e acaba se acumulando no ambiente, resultando em perda da biodiversidade, acidificação do solo e da água, eutrofização de mananciais, e produção de gases que contribuem para o efeito estufa e a diminuição da camada de ozônio (GALLOWAY et al. 2004). Algumas das principais perdas de N para o ambiente em áreas agrícolas ocorrem através da lixiviação do nitrato para o lençol freático e da emissão de óxidos de nitrogênio, processos esses bastante favorecidos pela aplicação de grandes quantidades de fertilizantes nitrogenados (BYRNES, 1990). A ureia é o adubo nitrogenado mais consumido no mundo e no Brasil é amplamente utilizado em fertirrigação, devido à sua alta solubilidade, ao alto teor de N (45%) e ao menor preço quando comparado a outras fontes (ESPÍRITO-SANTO, 2004; INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION - IFA, 2009). Após sua aplicação, a ureia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) sofre hidrólise pela ação da enzima urease, transformando-se em gás carbônico (CO_2) e amônia (NH_3), quando esta última pode ser perdida para a atmosfera ou converter-se em nitrito (NO_2^-) e imediatamente em nitrato (NO_3^-), liberando óxido nitroso (N_2O) durante o processo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). O nitrato é um ânion altamente móvel no solo e em condições de solo arenoso com chuvas frequentes ou irrigação excessiva, parte pode ser lixiviada para fora da zona radicular e atingir o lençol freático (RAIJ, 1991). O excesso de água favorece também a desnitrificação do NO_3^- transformando-o nas formas gasosas N_2 e N_2O devido à formação de ambiente anaeróbio, que pode ocorrer em microssítios mesmo em solos bem drenados (PARKIN, 1987; KREMEN et al., 2005; CANTARELLA, 2007). A introdução de N reativo através de atividades antrópicas como a agricultura, levam a mudanças no ciclo deste elemento

causando sérios danos ao agroecossistema. Estima-se que nos próximos anos, principalmente os trópicos receberão crescentes quantidades de N levando a graves consequências em relação à contaminação ambiental (GALLOWAY et al., 2008; FILOSO et al., 2006).

O prejuízo econômico em virtude das perdas também deve ser considerado, pois como os adubos nitrogenados são derivados do petróleo seu preço é estabelecido com base na variação do preço deste último, que vem aumentando ano a ano e chegou a representar 32% do custo de produção de café no cerrado da Bahia em 2009 (FIGUEREDO², correspondência pessoal). Muito provavelmente o consumo de fertilizante nitrogenado pela lavoura cafeeira aumentará, visto que as perspectivas de mercado apontam para a continuidade no aumento do consumo de café no mundo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ - ABIC, 2010). No entanto está previsto um déficit na oferta de fertilizantes nitrogenados, o que é preocupante inclusive para a América Latina, cuja produção e consumo já são praticamente equivalentes (LACERDA, 2009; CONAB, 2010b). Este cenário mostra uma crise iminente no abastecimento de adubos nitrogenados, o que torna o uso racional desse insumo uma medida necessária e urgente.

A adequação das aplicações de N na agricultura passa necessariamente por estudos científicos que indiquem ao agricultor qual o melhor manejo a ser adotado visando a máxima eficiência. O uso de isótopos estáveis na forma de fertilizante marcado com ¹⁵N é apropriado para estudos desta natureza, podendo-se avaliar o destino do N no sistema solo-planta e a eficiência da cultura em aproveitá-lo, bem como inferir sobre os vários processos de perda, como a lixiviação e a volatilização (REICHARDT; BACCHI, 2004; REICHARDT; TIMM, 2004; HARDARSON, 1990). Neste caso, a técnica que emprega o isótopo ¹⁵N como traçador consiste em fornecer à planta um fertilizante no qual a razão isotópica (¹⁵N/¹⁴N) seja diferente da natural, avaliando-se em seguida a distribuição da composição isotópica no sistema em estudo. O nitrogênio de determinado compartimento derivado ou proveniente do fertilizante, obtido por princípios de diluição isotópica, permite identificar naquele compartimento a contribuição da fonte de interesse (TRIVELIN, 2001a; 2001b).

² FIGUEREDO, E. Setor de café - Fundação Bahia, Luís Eduardo Magalhães – BA.

Para plantas perenes como o cafeeiro, a investigação sobre a absorção de N é dificultada por obstáculos experimentais relacionados principalmente às metodologias de amostragem. Isso ocorre devido à maior estatura das plantas que resulta em grande quantidade de matéria seca e à taxa de crescimento relativamente lenta, além do alto custo dos experimentos já que é necessária uma grande quantidade de fertilizante marcado. Possivelmente por esse motivo, há uma escassez de trabalhos relacionados à absorção de N em plantas perenes adultas no campo. Geralmente as pesquisas usando fontes marcadas com o isótopo ^{15}N são feitas em mudas ou plantas jovens em casa de vegetação como os trabalhos de Boaretto et al. (1999, 2007), Fenilli et al. (2004) e de Natale e Marchal (2002) com laranjeiras em formação no Brasil, Tagliavini, Quartieri e Millard (1997) com mudas de pereiras na Itália, Dong et al. (2002, 2003) com macieiras nos Estados Unidos e Muñoz et al. (1993) com pessegueiro na Espanha. Alguns estudos sobre a dinâmica e o destino de N usando o traçador ^{15}N em plantas adultas foram feitos em lisímetros como os de Lea-Cox, Syvertsen e Graetz (2001), Quiñones et al. (2003, 2005) e Quiñones, Martínez-Alcántara e Legaz (2007) que trabalharam com adubação nitrogenada em citrus. Neto et al. (2006) realizaram em Portugal um estudo em campo, porém com pereiras de apenas um ano de idade. Entre os poucos estudos realizados com plantas adultas no campo estão os de Feigenbaum et al. (1987) com citrus em Israel, Mattos-Júnior, Graetz e Alva (2003) com citrus nos Estados Unidos e Nario et al. (2003) com pessegueiro no Chile. Raros são os estudos sobre a absorção e destino do N em cafeeiro. Bustamante, Ochoa e Rodriguez (1997) fizeram em Cuba um balanço de N em mudas de cafeeiro usando três diferentes fontes de N (nitrato de amônia, ureia e nitrato de potássio marcados) e concluíram que entre 32 e 41 % do N foi absorvido pelas plantas, variando com a fonte. Recentemente foi realizado um estudo sobre o destino do N em cafeeiros jovens no campo no estado de São Paulo, cuja fonte de N foi o sulfato de amônio enriquecido com isótopo ^{15}N em duas doses de 280 e 350 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N no primeiro e segundo ano e encontraram recuperação de 34 e 29% do N aplicado, respectivamente (FENILLI, 2006; FENILLI et al., 2007a, 2007b, 2007c, 2008; REICHARDT et al. 2009).

Dentro dessa perspectiva foi conduzido um experimento para estudar a eficiência da adubação nitrogenada e avaliar o momento e a dose mais adequados para sua

aplicação, durante a safra 2008/2009 em um cafezal de 7-8 anos de idade e em plena produção, em Barreiras, BA. Foram utilizadas as doses de 200, 400, 600 e 800 kg ha⁻¹ de N e testemunha sem adubação de N, através de ureia enriquecida em 1,035% com ¹⁵N, com cada dose dividida em 26 parcelas iguais e aplicadas a cada quatorze dias via fertirrigação.

Os objetivos desse estudo foram (i) analisar as mudanças na absorção de N em diferentes partes da planta ao longo de um ano agrícola, para encontrar a fase fenológica de maior necessidade deste nutriente, (ii) realizar um balanço de N no momento da colheita visando observar principalmente as perdas ocorridas para o ambiente e a dose mais eficiente em termos de recuperação de N pelo cafeeiro e (iii) encontrar a dose de N mais adequada para ser aplicada em cafeeiros adultos nessa nova zona cafeeira.

A hipótese deste estudo é a de que as altas doses de N aplicadas em cafeeiros adultos (600 a 800 kg ha⁻¹ ano⁻¹) podem ser diminuídas sem redução da produtividade de grãos, e que as perdas de N podem ser diminuídas se os momentos de maior demanda de N pelo cafeeiro forem privilegiados durante o parcelamento.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. **O aumento do consumo em 2009**. Disponível em: <<http://www.abic.com.br/estatisticas.html#intro>>. Acesso em: 15 maio 2010.

ASSOCIAÇÃO DOS CAFEICULTORES DO OESTE DA BAHIA. **O café da Região**. Disponível em: <http://www.abacafe.org.br/?page_id=10>. Acesso em: 12 maio 2010.

BOARETTO, A.E.; SCHIAVINATO NETO, P.; MURAOKA, T.; OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O. Fertilização foliar de nitrogênio para laranjeira em estágio de formação. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 3, p. 621 – 626, 1999.

BOARETTO, R.M.; MATTOS JUNIOR, D.; TRIVELIN, P.C.O.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A.E. Acúmulo de nutrientes e destino do nitrogênio (¹⁵N) aplicado em pomar jovem de laranjeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 600-605, 2007.

BUSTAMANTE, C., OCHOA, M.; RODRIGUEZ, M.I. Balance of three N fertilizers sources in a Cuban Oxisol planted with *Coffea arabica* L. **Tropicultura**, Brussel, v. 15, n. 4, p. 169 - 172, 1997.

BYRNES, B.H. Environmental effects of N fertilizer use: An overview. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 26, p. 209-215, 1990.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 375-470.

CHAVES, J.C.D. **Manejo do solo**: Adubação e calagem, antes e após a implantação da lavoura cafeeira. Londrina: IAPAR, 2002. 36 p. (IAPAR. Circular, 120).

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira**: café, safra 2010 - terceira estimativa, set. 2010. Brasília, 2010a. 19 p.

_____. **Custo de produção estimado**: café arábica. Disponível em: <www.conab.gov.br/conabweb/.../custosproducao_culturaspermanentes.xls>. Acesso em: 26 Jun 2010b.

DONG, S.; CHENG, L.; SCAGEL, C.F.; FUCHIGAMI, L.H. Nitrogen absorption, translocation and distribution from urea applied in autumn to leaves of young potted apple (*Malus domestica*) trees. **Tree Physiology**, Victoria, v. 22, p. 1305–1310, 2002.

_____ Root damage affects nitrogen uptake and growth of young Fuji/M.26 apple trees. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Dundee, v. 78, n. 3, p. 410-415, 2003.

ESPÍRITO-SANTO, J.A. cafeicultura no oeste da Bahia. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Efeitos da irrigação sobre a qualidade e produtividade do café**. Viçosa: UFV, 2004. p. 319-335.

FEIGENBAUM, S.; BIELORAI, H.; ERNER, Y.; DASBERG, S. The fate of ¹⁵N labeled nitrogen applied to mature citrus trees. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 97, n. 2, p. 179-187, Jun. 1987.

FENILLI, T.A.B.; BOARETTO, A.E.; BENDASSOLLI, J.A.; TRIVELIN, P.C.O.; MURAOKA, T. Dinâmica do nitrogênio em laranjeiras jovens cultivadas em solução nutritiva. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 25, n. 2, p. 461-472, 2004.

FENILLI, T.A.B. **Destino do ^{15}N do fertilizante em uma cultura de café.** 2006. 116 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

FENILLI, T.A.B.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S.; TRIVELIN, P.C.O.; DOURADO-NETO, D. The ^{15}N isotope to evaluate fertilizer nitrogen absorption efficiency by the coffee plant. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 79, n. 4, p. 767-776, 2007a.

FENILLI, T.A.B. REICHARDT, K.; DOURADO-NETO, D.; TRIVELIN, P.C.O.; FAVARIN, J.L.; COSTA, F.M.P.; BACCHI, O.O.S. Growth, development and fertilizer ^{15}N recovery by the coffee plant. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 5, p. 152 – 160, 2007b.

FENILLI, T.A.B.; REICHARDT, K.; TRIVELIN, P.C.O.; FAVARIN, J.L. Volatilization of ammonia derived from fertilizer and its reabsorption by coffee plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 38, p. 1741-1751, 2007c.

FENILLI, T.A.B.; REICHARDT, K.; FAVARIN, J.L.; BACCHI, O.O.S.; SILVA, A.L.S.; TIMM, L.C. Fertilizer ^{15}N balance in a coffee cropping system: a case study in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1459-1469, 2008.

FILOSO, S.; MARTINELLI, L.A.; HOWARTH, R.W.; BOYER, E.W.; DENTENER, F. Human activities changing the nitrogen cycle in Brazil, **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 79, p. 61–89, 2006.

GALLOWAY, J.N. BEKUNDA, M.; CAI, Z.; ERISMAN, J.W.; FRENEY, J.; HOWARTH, R.W.; MARTINELLI, L.A.; SCHOLLES, M.C.; SEITZINGER, S.P. A preliminary assessment of changes in the global nitrogen cycle as a result of anthropogenic influences. In: INTERNATIONAL NITROGEN CONFERENCE, 3., 2004. Nanjing. **Presentations...** Nanjing: International Nitrogen Initiative, 2004. 33 p.

GALLOWAY, J.N.; TOWNSEND, A.R.; ERISMAN, J.W.; BEKUNDA, M.; CAI, Z.; FRENEY, J.R.; MARTINELLI, L.A.; SEITZINGER, S.P.; SUTTON, M.A. Transformations of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. **Science**, Washington, v. 320, p. 889-892, 2008.

HARDARSON, G. **Use of nuclear techniques in studies of soil-plant relationships.** Vienna: IAEA. 1990. 223 p. (Training Course Series, 2).

INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION. **IFADATA Statistics.** Disponível em: <<http://www.fertilizer.org/ifa/statistics.asp>>. Acesso em: 29 Jun 2009.

KREMEN, A.; BEAR, J.; SHAVIT, U.; SHAVIV, A. Model Demonstrating the potential for coupled nitrification denitrification in soil aggregates. **Environmental Science and Technology**, Washington, v. 39, n. 11, p. 4180-4188, 2005.

LACERDA, M.P. Por que os fertilizantes subiram tanto? **Hortifruti Brasil**, Piracicaba v. 7, p. 8-15, 2009.

LEA-COX, J.; SYVERTSEN, J.P.; GRAETZ, D.A. Springtime (15 N) Nitrogen uptake, partitioning, and leaching losses from young bearing Citrus trees of differing nitrogen status. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 126, p. 242-251, 2001.

MATTOS-JÚNIOR, D.; GRAETZ, D. A.; ALVA, A. K. Biomass Distribution and Nitrogen- 15 Partitioning in Citrus Trees on a Sandy Entisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 67, p.555–563, 2003.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Transformações bioquímicas e ciclos dos elementos no solo. In: _____. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2006. p. 338-364.

MUÑOZ, J.N.; GUERRI, J.; LEGAZ, F.; PRIMO-MILLO, E. Seasonal uptake of 15 N-nitrate and distribution of absorbed nitrogen in peach trees. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 150, p. 263-269, 1993.

NARIO, A.; PINO, I.; ZAPATA, F.; ALBORNOZ, M.P.; BAHERLE, P. Nitrogen (15 N) fertilizer use efficiency in peach (*Prunus persica* L.) cv. Goldencrest trees in Chile. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 97, p. 279–287, 2003.

NATALE W.; MARCHAL J. Absorption and distribution of (15 N) nitrogen in *Citrus mitis* Bl. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.24, n. 1, p. 183-188, Abr. 2002.

NETO, C.; CARRANCA, C.; VARENNES, A.; OLIVEIRA, C.; CLEMENTE, J.; SOBREIRO, J. Nitrogen use efficiency of drip-irrigated 'Rocha' pear trees. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 721, p. 377-341, 2006. Apresentado no INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MINERAL NUTRITION OF FRUIT PLANTS, 5., 2006, Talca.

PARKIN, T.B. Soil microsites as a source of denitrification variability. **Soil Science Society of America Journal**, v. 51, p. 1194-1199, 1987.

QUIÑONES, A.; BAÑULS J.; PRIMO-MILLO, E.; LEGAZ, F. Effects of 15 N application frequency on nitrogen uptake efficiency in *Citrus* trees, **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 160, n. 12, p. 1429-1434, 2003.

_____. Recovery of the ^{15}N -labelled fertilizer in citrus trees in relation with timing of application and irrigation system. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 268, n. 1, p. 367-376, Jan. 2005.

QUIÑONES, A.; MARTÍNEZ-ALCÁNTARA, B.; LEGAZ, F. Influence of irrigation system and fertilization management on seasonal distribution of N in the soil profile and on N-uptake by citrus trees. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.122, n. 3, p. 399-409, Abr. 2007.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo; Piracicaba: Ceres; Potafos, 1991. 343 p.

RAIJ, B. van, CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: IAC/Fundação IAC, 1996. 285p.

REICHARDT, K.; SILVA, A.L.; FENILLI, T.A.B.; TIMM, L.C.; BRUNO, I.P.; VOLPE, C. A. Relation between nitrogen fertilization and water soil conditions for a coffee plantation from Piracicaba, SP. **Coffee Science**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 41-55, Jan-jun. 2009.

REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S. Isotopes in soil and plant investigations. In: HILLEL, D. (Ed.) **Encyclopedia of Soils and the Environment**, Amsterdam, v. 1, p. 280-284, 2004.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004. 478 p.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª. Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

TAGLIAVINI, M; QUARTIERI, M.; MILLARD, P. Remobilised nitrogen and root uptake of nitrate for spring leaf growth, flowers and developing fruits of pear (*Pyrus communis* L.) trees. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 195, p. 137–142, 1997.

TRIVELIN, P.C.O. **O método para traçador isotópico para nitrogênio**. Piracicaba: CENA/USP, 2001a. 7 p.

_____. **Interpretação de experimentos com ^{15}N** : utilização pelas plantas do nitrogênio de fertilizante aplicado ao solo por diluição isotópica e pelo método da diferença. Piracicaba: CENA, 2001b. 19 p.

2 EFICIÊNCIA DA ABSORÇÃO DO NITROGÊNIO DO FERTILIZANTE POR CAFEIROS FERTIRRIGADOS: EVOLUÇÃO DA ABSORÇÃO DE N PELOS COMPARTIMENTOS DA PLANTA

Resumo

As relações nitrogenadas em produção vegetal devem ser bem entendidas para melhoria das práticas de manejo, por isso mudanças na distribuição de nitrogênio (N), usando o isótopo estável ^{15}N como marcador, foram observadas por um ano agrícola em plantas adultas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) com o objetivo de encontrar a fase fisiológica de maior requerimento de N e ser capaz de sugerir um parcelamento da dose mais racional, além de verificar a possibilidade de redução da dose de N sem decréscimo da produção de grãos de café. O experimento foi desenvolvido em campo, em solo de baixa fertilidade no cerrado do oeste da Bahia, aplicando-se 200, 400, 600 e 800 kg ha⁻¹ de N aplicado parceladamente, como ureia via fertirrigação. O conteúdo de ^{15}N nos compartimentos do cafeeiro foram usados para seguir a absorção de N pelas plantas. Conclui-se que é possível diminuir a dose de N comumente usada de 600 kg ha⁻¹ de N aplicado parceladamente em todo o ano agrícola para 400 kg ha⁻¹ de N. Esta menor dose deve ser aplicada antes da fase de enchimento de frutos, que é o momento de maior consumo de N pelas folhas e frutos.

Palavras-chave: ^{15}N ; Adubação nitrogenada; Cerrado; Fertirrigação; Culturas perenes

Abstract

Nitrogen relationships in crop production have to be well understood to improve management practices, so that ^{15}N distribution changes were observed over time in adult coffee plants (*Coffea arabica* L.) with the aim of finding the physiological moment of greatest N need and to be able to suggest a more rational N fertilizer dose splitting, and to show the possibility of reducing this dose without declining coffee production. The experiment was carried out in a field of low soil fertility in the "cerrado" from Bahia, applying 200, 400, 600 and 800 kg ha⁻¹ year⁻¹ of N as urea during one coffee cropping cycle via fertigation. ^{15}N contents in plant compartments were used to follow fertilizer N absorption by plants. It is possible to decrease the commonly used fertilization rate of 600 kg ha⁻¹ of N applied splitt over the whole cycle, to 400 kg ha⁻¹ of N. This lower rate should be applied up to beginning of fruit maturation, before fruit filling, the moment of greatest N consumption by leaves and fruits.

Keywords: ^{15}N ; Nitrogen management; Cerrado; Fertigation; Perennial crop

2.1 Introdução

A cultura do cafeeiro está entre as mais importantes no cenário agrícola brasileiro, e vem avançando nos últimos 15 anos para locais pouco tradicionais em seu cultivo, como é o caso da região do município de Barreiras, no oeste baiano. Com condições edafoclimáticas distintas daquelas onde o cultivo de café já está estabelecido, esta região requer a adoção de práticas de manejo específicas, principalmente no que se refere à adubação nitrogenada, que vem sendo aplicada em doses acima das recomendadas para outros estados produtores. Para as regiões sudeste e sul do Brasil as recomendações variam de 150 a 450 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de nitrogênio (N) (RAIJ, 1996; RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999; CHAVES, 2002), enquanto no oeste da Bahia são aplicados de 600 a 800 kg ha⁻¹ ano⁻¹ segundo Figueredo³ (informação verbal).

Essa nova região cafeeicultora possui terrenos planos e boa disponibilidade de água, ideais para irrigação ou fertirrigação via pivô central. A fertirrigação é amplamente utilizada pelos agricultores locais pois possui a vantagem de permitir a aplicação simultânea de água e nutrientes de maneira parcelada. Todo o N aplicado ao solo, seja na forma de fertilizante orgânico ou mineral, converte-se rapidamente em nitrato, que é sujeito à lixiviação. A minimização da lixiviação de N pode ser realizada pelo parcelamento da sua dose, que acarretará a diminuição das perdas do nutriente e o aumento do seu aproveitamento pelas plantas. No entanto, apesar da aplicação parcelada, o uso do N pode não estar sendo tão eficiente, pois este parcelamento não prioriza os momentos de maior demanda de N pelo cafeeiro durante o seu ciclo. As aplicações de N são feitas em geral a cada 14 dias e o parcelamento é feito dividindo-se igualmente a dose total pela quantidade de aplicações que se deseja realizar durante o ano agrícola. Dessa forma, se de um lado a aplicação do adubo em várias parcelas aumenta seu aproveitamento pelas plantas, por outro lado o uso de altas doses de N, a negligência com o momento de maior necessidade de N pelo cafeeiro e a alta frequência de irrigação podem estar levando a perdas de N por lixiviação, sobretudo quando se trata de solos arenosos como os do oeste da Bahia.

³ FIGUEREDO, E. Setor de café - Fundação Bahia, Luís Eduardo Magalhães – BA.

A perda de N para o ambiente é indesejada tanto do ponto de vista ambiental quanto do econômico, o que torna necessária a obtenção de informações sobre o comportamento do N no sistema solo-planta-atmosfera nessas condições, para que um melhor manejo da adubação nitrogenada possa ser adotado. O fertilizante marcado com o isótopo ^{15}N é de grande valor para os estudos desta natureza, pois permite a análise da dinâmica da absorção pela planta e seu destino no ambiente, contribuindo assim para a melhoria das aplicações do fertilizante, da sustentabilidade ambiental, evitando também prejuízo financeiro ao agricultor (REICHARDT; BACCHI, 2004; REICHARDT; TIMM, 2004).

Para o caso de plantas perenes de grande porte como o cafeeiro, a técnica do isótopo ^{15}N apresenta porém alguns desafios relacionados à amostragem. O uso destas plantas implica a necessidade de utilização de grandes quantidades de fertilizante marcado, o que torna os experimentos muito onerosos, além da complexidade de se trabalhar com medidas não destrutivas de acúmulo de matéria seca em grande volume. A maioria dos trabalhos com plantas perenes foi realizada com mudas ou plantas jovens em condições controladas, como Boaretto et al. (1999), Lea-Cox, Syvertsen e Graetz (2001), Natale e Marchal (2002) que estudaram citrus e Bustamante, Ochoa e Rodriguez (1997) que estudaram cafeeiro. Quiñones et al. (2003, 2005) e Quiñones, Martínez-Alcántara e Legaz (2007) incluíram irrigação em seus estudos usando plantas adultas de citrus em lisímetros. Mais recentemente Reichardt et al. (2009) e Fenilli et al. (2007 e 2008) realizaram um dos primeiros estudos em larga escala utilizando sulfato de amônio enriquecido com isótopo de ^{15}N em cafeeiros jovens no estado de São Paulo, e apresentaram um balanço de N completo após duas aplicações de doses relativamente baixas de N (280 e 350 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N no primeiro e segundo ano, respectivamente), que indicou perdas mínimas por lixiviação. Um outro trabalho recente realizado por Bortolotto et al. ⁴ (em fase de elaboração) em cafezais adultos no oeste baiano mostrou que perdas de N expressiva lixiviação de N derivado do fertilizante.

Apesar de grande valia, os estudos em ambiente controlado não representam as condições reais do campo e, além disso em sua maioria, é realizado apenas o balanço

⁴ Bortolotto R. P. et al. (2010) (Universidade de São Paulo). **Perdas de nitrogênio por lixiviação em café fertirrigado no oeste baiano.**

do N ao final do ciclo, desprezando-se informações importantes sobre o aproveitamento do nutriente antes da colheita.

Tendo em mente a carência de conhecimento sobre a dinâmica do nitrogênio em cafeeiros adultos em campo no oeste baiano, este estudo tem os objetivos de (i) analisar as mudanças na absorção de N em diferentes partes da planta ao longo de um ano agrícola, para encontrar a fase fenológica de maior necessidade deste nutriente (ii) encontrar a dose de N mais adequada para ser aplicada em cafeeiros adultos nessa nova zona cafeeira.

A hipótese deste estudo é a de que as altas doses de N aplicadas em cafeeiros adultos (600 a $800 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) podem ser diminuídas sem redução da produtividade de grãos, e há diminuição de perdas se os momentos de maior demanda de N pelo cafeeiro forem privilegiados durante o parcelamento.

2.2 Material e métodos

2.2.1 Descrição da área experimental

A parte experimental do projeto foi conduzida em campo iniciando-se em 1º de agosto de 2008 e com término em 24 de julho de 2009 na Fazenda Morena, uma fazenda comercial de café de propriedade da Agropecuária Arakatu, no município de Barreiras – BA. A fazenda localiza-se à latitude sul $11^{\circ}46'00''$ e longitude oeste $45^{\circ}43'32''$, a 740 m de altitude (ARAKATU, 2010). O tipo de vegetação nativa é o cerrado arbóreo aberto, e o clima, segundo classificação de Köppen (1931), é do tipo Aw – tropical subúmido com chuvas de verão, período seco bem definido no inverno, temperatura média anual de $24 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e período chuvoso de outubro a abril, com pluviosidade média anual de 1122 mm (SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA, 2009). O solo é classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico típico (EMBRAPA, 2006). As análises física e de fertilidade do solo foram feitas a cada 0,2 m até 1,0 m de profundidade a partir de amostras de solo coletadas em cada uma das parcelas, as quais foram unidas formando uma amostra composta para cada camada (Tabelas 2.1, 2.2 e 2.3).

Tabela 2.1 – Análise química do solo cultivado com cafeeiros, proveniente da Fazenda Morena, Barreiras – BA, em diferentes profundidades

Profundidade	pH ¹	MO ²	P ³	S ⁴	K ³	Ca ³	Mg ³	Al ⁵	H+Al ⁶	SB ⁷	CTC ⁸	V ⁹	m ¹⁰	N-Total ¹¹
m		g dm ⁻³	mg dm ⁻³					-----mmol _c dm ⁻³ -----				---- %----		mg kg ⁻¹
0-0,2	4,7	25	114	10	2	23	9	3	31	34	65	52	8	1080
0,2-0,4	3,6	20	40	21	1	5	3	9	34	9	43	21	50	620
0,4-0,6	3,8	16	5	60	0,8	4	2	9	31	6,8	37,8	18	57	532
0,6-0,8	3,6	14	1	72	0,8	3	1	9	31	4,8	35,8	13	65	520
0,8-1,0	3,8	14	1	96	0,8	2	1	10	31	3,8	34,8	11	72	505

1.Acidez ativa CaCl₂ (0,01 mol.l⁻¹); 2. Matéria orgânica pelo método de colorimetria; 3. Fósforo, potássio, cálcio e magnésio pelo método de resina trocadora de íons; 4. Enxofre pelo método de turbidimetria; 5. Alumínio trocável pelo método titrimétrico (1 mol.L⁻¹); 6. Acidez potencial pelo método de pH em SMP; 7. Soma de bases; 8. Capacidade de troca de cátions; 9. Saturação por base (100 * SB/CTC); 10. Saturação por alumínio (100 * Al³⁺/ CTC efetiva); 11. Nitrogênio total pelo método de Kjeldahl (Raij et al. 2001).

Tabela 2.2 – Análises de micronutrientes do solo cultivado com cafeeiros proveniente da Fazenda Morena, Barreiras – BA, em diferentes profundidades

Profundidade	B ¹	Cu ²	Fe ²	Mn ²	Zn ²
m		mg dm ⁻³			
0-0,2	0,74	9,6	82	3,1	3,6
0,2-0,4	0,61	2,2	57	2,3	2,7
0,4-0,6	0,56	0,4	24	0,5	0,8
0,6-0,8	0,45	0,1	15	0,3	0,4
0,8-1,0	0,39	0,1	11	0,2	0,6

1.Boro: Método de extração com BaCl₂.2H₂O em microondas; 2.Cobre, ferro, manganês e zinco: Método de extração com DTPA e análise em espectrofotômetro de absorção atômica.

Tabela 2.3 – Análise granulométrica¹ do solo cultivado com cafeeiros proveniente da Fazenda Morena, Barreiras – BA, em diferentes profundidades

Profundidade	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe textural
m	2 - 0,05 mm	0,05-0,002	<0,002mm	
0-0,2	81	3	16	média arenosa
0,2-0,4	79	3	18	média arenosa
0,4-0,6	74	3	23	média arenosa
0,6-0,8	72	3	25	média argilosa
0,8-1,0	70	2	28	média argilosa

1.Método do densímetro.

Foram utilizadas plantas da espécie *Coffea arabica* L. de 7-8 anos de idade, com espaçamento 3,8 x 0,5 m em arranjo circular disposto sob sistema de pivô central para irrigação e fertirrigação, cultivadas em área praticamente plana, com declividade menor que 1%.

A operação do pivô central foi contínua durante o ano todo (com interrupção na época da colheita), fornecendo em média 4 mm.dia⁻¹ em dias alternados e fertirrigação de ureia feita quinzenalmente (600 kg N ha⁻¹ ano⁻¹). Durante a execução do experimento, quando da realização da fertirrigação de N via pivô central, a linha correspondente à área do experimento foi fechada para não haver superposição do N da fertirrigação da fazenda com o N do fertilizante marcado com o isótopo ¹⁵N deste experimento.

A média de produtividade da propriedade é de 51 sacas ha⁻¹ ano⁻¹ (safra 2007/2008 e 2008/2009) com a colheita realizada no período de maio a julho. Os tratos culturais necessários (controle de plantas daninhas, pragas e doenças, adubação de P e K, micronutrientes, calagem, gessagem) e o regime de irrigação utilizado foram os mesmos das outras áreas de café da fazenda. Os produtos utilizados encontram-se relacionados na Tabelas 2.4.

Tabela 2.4 – Produtos utilizados para adubação de macronutrientes, micronutrientes, correção da acidez do solo e controle fitossanitário em cafeeiros na Fazenda Morena, Barreiras, BA

(continua)

	Produtos	Unidade	
Adubação de Macronutrientes	Cloreto de potássio	Kg ha ⁻¹	803
	Fosfato de rocha	Kg ha ⁻¹	156
	Esterco de galinha	Ton ha ⁻¹	3
	Casca de café	Ton ha ⁻¹	3
	Nitrato de Potássio	Kg ha ⁻¹	4
	Sulfato de magnésio	Kg ha ⁻¹	32
	Gesso	kg ha ⁻¹	400
Correção da acidez do solo	Calcário Dolomítico	Ton ha ⁻¹	3
	Cal Hidratado	Kg ha ⁻¹	175
Adubação de Micronutrientes B, Cu, Zn e Mn	Sulfato de Zinco	Kg ha ⁻¹	12
	Ácido Bórico	Kg ha ⁻¹	40
	Sulfato de Manganês	Kg ha ⁻¹	38
	Sulfato de cobre	Kg ha ⁻¹	6
	Plantin Plus	Kg ha ⁻¹	3
	Niphokan	Lt ha ⁻¹	3
Escaldadura	Açúcar	Kg ha ⁻¹	88
Inseticida	Actara WG	Kg ha ⁻¹	3
	Dissulfan CE	Lt ha ⁻¹	5
	Cartap 500 BR	Kg ha ⁻¹	2

Tabela 2.4 – Produtos utilizados para adubação de macronutrientes, micronutrientes, correção da acidez do solo e controle fitossanitário em cafeeiros na Fazenda Morena

(conclusão)

	Produtos	Unidade	
	Rimon 100 EC	Lt ha ⁻¹	1
	Curyom 550 CE	Lt ha ⁻¹	2
	Hostathion 400 BR	Lt ha ⁻¹	2
Fungicida	Folicur 200 EC	Lt ha ⁻¹	1
	Opera	Lt ha ⁻¹	3
	Garant BR	Kg ha ⁻¹	6
	Cercobin 700 PM	Kg ha ⁻¹	1
Herbicida	Glifosato	Lt ha ⁻¹	12

Como pode ser verificado na Tabela 2.4, vários insumos são fontes de N, mas no caso do presente estudo foram considerados como outras fontes, uma vez que o objetivo foi estudar os efeitos do N da ureia aplicada via fertirrigação no desenvolvimento das plantas de café.

O experimento foi composto de 20 parcelas experimentais com 5 tratamentos e 4 repetições, em que cada repetição correspondia a uma parcela com três plantas que receberam a ¹⁵N- ureia, mas somente a planta central de cada parcela foi utilizada para coleta das amostras de folhas e frutos. Os tratamentos foram: T₀ = Testemunha sem adubação nitrogenada; T₂₀₀ = 200 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N; T₄₀₀ = 400 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N; T₆₀₀ = 600 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N; T₈₀₀ = 800 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N. Cada dose foi dividida em 26 parcelas iguais, aplicadas a cada 14 dias até uma semana antes da colheita dos frutos no estádio cereja. O experimento foi montado no quarto círculo de cafeeiros (do centro para as bordas do pivô) com 129 m de comprimento com 258 cafeeiros dispostos em renque. Do total dos cafeeiros, 60 receberam fertilizante marcado e 198 serviram de bordadura entre as parcelas. As parcelas foram distribuídas inteiramente ao acaso ao

longo do círculo, como esquematizado na Figura 2.1. Neste esquema cada planta ocupa uma área praticamente retangular de $0,5\text{m} \times 3,8\text{m} = 1,90\text{m}^2$, o que corresponde a 5.263 cafeeiros por hectare.

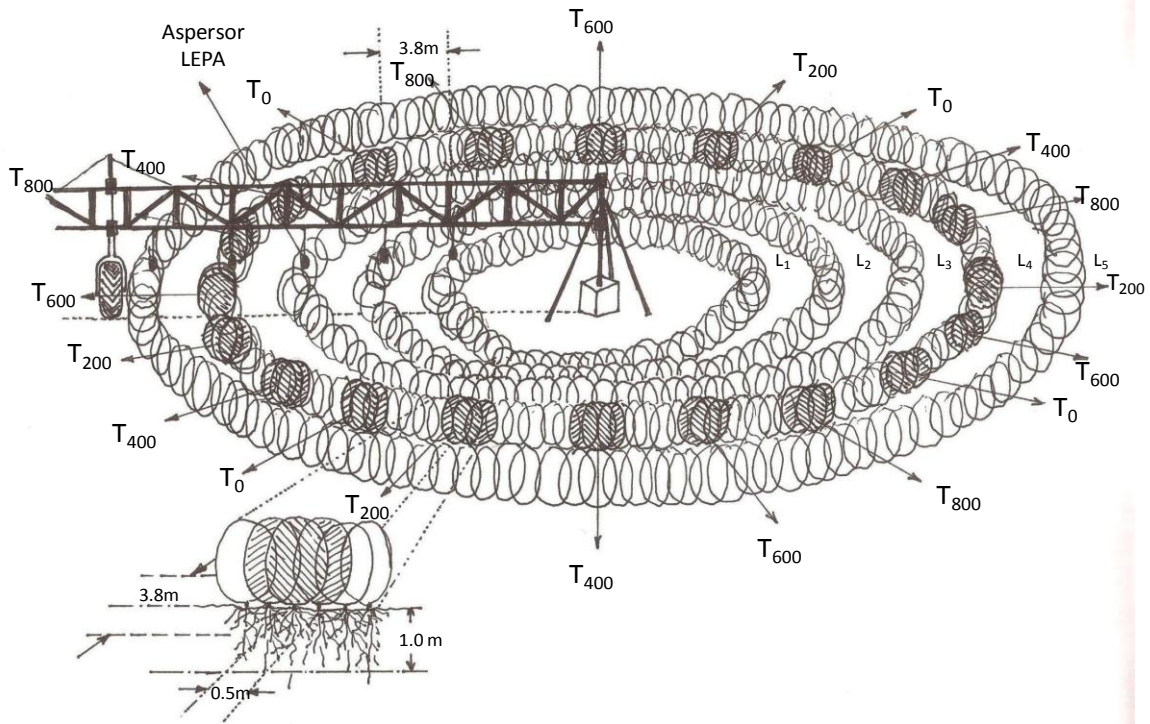


Figura 2.1 – Ilustração da área experimental (Linha 4, L_4), apresentando a distribuição das parcelas experimentais (3 cafeeiros), dos diferentes tratamentos (T_0 , T_{200} , T_{400} , T_{600} e T_{800}), a distância entre linhas e entre cafeeiros (3,8 x 0,5 m) e profundidade efetiva do sistema radicular (1,0 m). Nota: L_1 = Linha 1; L_2 = Linha 2; L_3 = Linha 3; L_4 = Linha 4; L_5 = Linha 5. T_0 = Testemunha sem adubação nitrogenada; T_{200} = $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N; T_{400} = $400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N; T_{600} = $600 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N; T_{800} = $800 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N

2.2.2 Aplicação da solução de ureia marcada com o isótopo ^{15}N

A aplicação da solução de ureia (45% de N) enriquecida a 1,4 at. % ^{15}N , ou seja, 1,035 at. % ^{15}N em excesso (^{15}N -ureia) foi feita manualmente com o auxílio de regadores, diluindo a dose da respectiva parcela em um volume de água correspondente ao que seria fornecido pelo sistema LEPA (Low Energy Precision Application), o qual procura distribuir a água de maneira localizada. Esse sistema de irrigação faz a aplicação da água - e neste caso também do adubo - sobre a copa das plantas, havendo escoamento pelas folhas, ramos plagiotrópicos e caule ortotrópico

até o solo, que fica inundado, mas com pouco escoamento superficial devido à mínima declividade do terreno. As plantas da bordadura da linha experimental receberam a mesma dose de adubação nitrogenada (ureia sólida não enriquecida) via solo, com o cuidado de não se aplicar nas plantas próximas às parcelas marcadas.

Para avaliar a absorção da ureia logo após a primeira aplicação, foi realizado um teste apenas para o T_{600} (dose adotada pela Fazenda Morena) em plantas separadas do experimento principal, coletando-se folhas após 1, 2 e 3 dias, para análise do ^{15}N . A quantidade de ureia aplicada nessas plantas foi de 4,4 g de N por planta (equivalente a uma de 26 parcelas da dose de 600 kg ha^{-1} de N) e utilizou-se a ureia enriquecida 1,035% em átomos de ^{15}N . Esse experimento contou com 4 parcelas com 3 plantas cada, sendo a planta central utilizada para as amostragens de folha. Aos resultados de abundância de ^{15}N encontrados neste teste foram adicionados os resultados do experimento principal após 13 dias da aplicação da ^{15}N -ureia e calculados o nitrogênio derivado do fertilizante ($N_{\text{ddf}_{\text{FO-T600}}}$) e a recuperação do N aplicado ($R_{\text{FO-T600}}$) para cada data. Foram feitas regressões para se encontrar as equações que mais se ajustavam aos dados e que descrevessem o comportamento do N absorvido pelas plantas, utilizando o software Table Curve (SYSTAT, 2002).

2.2.3 Amostragem, preparo e análise de material

Foram feitas amostragens para determinação da massa de matéria seca (mMS), concentração de nitrogênio (CN) e abundância em ^{15}N (Ab), em cada um dos seguintes compartimentos C_i : $i = 1$, folhas (C_{FO}); $i = 2$, ramos plagiotrópicos (C_{RM}); $i = 3$, caule ortotrópico (C_{CA}); $i = 4$, frutos (C_{FR}) e $i = 5$, raízes (C_{RZ}).

O estágio fenológico de cafeeiros da variedade Catuaí correspondente a cada 'dias após o início' (DAI, utilizado como coordenada do tempo e para indicar as datas das coletas no decorrer deste texto) pode ser visualizado na Tabela 2.5, que foi adaptada para as circunstâncias observadas no experimento a partir do esquema proposto por Camargo e Camargo (2001).

Tabela 2.5 – Estádios fenológicos do cafeeiro espécie *Coffea arabica*, variedade Catuaí Vermelho, de acordo com os dias após o início (DAI) do experimento e meses do ano agrícola experimental

DAI	Dia de coleta	Estádio fenológico
0	02/08/2008	Repouso
13	15/08/2008	Indução e maturação das gemas florais
41	12/09/2008	Florada
69	10/10/2008	Chumbinho
97	07/11/2008	Chumbinho
125	05/12/2008	Expansão de Frutos
153	02/01/2009	Expansão de Frutos
181	30/01/2009	Granação dos frutos
209	27/02/2009	Granação dos frutos
237	27/03/2009	Granação dos frutos
265	24/04/2009	Granação dos frutos
293	22/05/2009	Maturação dos frutos
321	19/06/2009	Maturação dos frutos
349	17/07/2009	Maturação dos frutos
356	24/07/2009	Maturação dos frutos/ frutos passa

Fonte: Camargo e Camargo (2001), adaptado.

Coleta de plantas inteiras para avaliação da matéria seca

A coleta de plantas inteiras para avaliação da massa de matéria seca foi limitada da seguinte forma: 1. as plantas marcadas com ^{15}N não podiam ser sacrificadas até o fim do experimento; 2. não foi obtida permissão por parte da fazenda para sacrificar um número grande de plantas produtivas; 3. a grande distância entre o local do experimento e o laboratório (aproximadamente 1600 Km), além dos elevados custos de viagem, que restringiram o número de visitas que puderam ser feitas. A única alternativa encontrada para a avaliação da medida de mMS foi a coleta de uma planta fora da linha experimental, a cada 3 meses aproximadamente. Assim, as medidas de mMS para folhas (mMS_{FO}), caules (mMS_{CA}), ramos (mMS_{RM}) e raízes (mMS_{RZ}) foram realizadas apenas nos DAI 13, 180, 265 e 356; a somatória de mMS_{FO} , mMS_{CA} , mMS_{RM} constituiu a mMS_{PA} que é a massa de matéria seca da parte aérea vegetativa, sem incluir os frutos que foram analisados separadamente devido à sua importância na produtividade da cultura. As raízes foram retiradas com o auxílio de jato d'água, do

perfil de 0 a 1,0 m de profundidade onde assumiu-se que esta camada continha pelo menos 95% do sistema radicular, levando-se em conta observação visual e dados de literatura (MAVOLTA, 1986, RENA; MAESTRI, 1986, BARRETO et al., 2006, CAMARGO, 2002). As medidas de mMS de frutos (mMS_{FR}) foram realizadas nos DAI 181, 265 e 356, porque estes começaram a aparecer no DAI 69, em quantidades insignificantes. As três primeiras coletas de frutos foram feitas em plantas fora da linha experimental e a última nas próprias plantas do experimento, utilizando-se o valor médio de todos os tratamentos aos 356 DAI. Nas coletas realizadas o material era colocado para secar ao ar por duas ou mais semanas e depois encaminhado para estufa a 60 °C por 3 dias, quando eram determinadas as mMS.

Como não foi possível a coleta mensal de cafeeiros, os valores intermediários de mMS foram obtidos através de estimativas usando interpolações para mMS_{FO} , mMS_{RZ} , mMS_{FR} e mMS_{SE} . Para mMS_{PA} (somatória das folhas, ramos e caule) foi utilizada a média aritmética de todas as plantas coletadas.

Coleta de folhas para análise de concentração de nitrogênio e abundância de ^{15}N

Para análise de CN e Ab três folhas completamente expandidas de cada terço – superior, médio e inferior – e de cada lado do cafeeiro eram coletadas (18 folhas por parcela) a cada 28 dias, de DAI 13 a 356. Apenas a primeira coleta foi feita no intervalo de 13 dias e a última de 7 dias. Todas as amostras depois de secas eram moídas separadamente em moinho tipo ‘Wiley’ e homogeneizadas para retirada de subamostras de aproximadamente 10 µg, acondicionadas em cápsulas de estanho que eram enviadas para análise de CN e Ab, em espectrômetro de massa automatizado de fluxo contínuo de análise de nitrogênio e carbono (modelo ANCA-SL, da Europa Scientific) do Laboratório de Isótopos Estáveis do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (CENA/USP).

Coleta de frutos para análise de concentração de nitrogênio e abundância de ^{15}N

Para a análise de CN e Ab foram coletados frutos de cada terço – superior, médio e inferior – e de cada lado do cafeeiro, totalizando 18 frutos por planta, a cada 28 dias a partir do DAI 181 (granação de frutos). Todas as amostras depois de secas eram moídas separadamente em moinho tipo ‘Wiley’ e homogeneizadas para retirada de subamostras de aproximadamente 10 μg , acondicionadas em cápsulas de estanho que eram enviadas para análise de CN e Ab, em espectrômetro de massa automatizado de fluxo contínuo de análise de nitrogênio e carbono (modelo ANCA-SL, da Europa Scientific) do Laboratório de Isótopos Estáveis do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (CENA/USP).

Coleta de caule, ramos e raízes para análise de concentração de nitrogênio e abundância de ^{15}N

Aos 356 DAI um cafeeiro de cada tratamento foi sacrificado, quando foram coletadas amostras de caule e ramos, de modo a formar uma amostra composta para cada tratamento. Os valores de CN e Ab dos C_{CA} e C_{RM} foram usados para encontrar um fator de conversão e calcular, em conjunto com os dados do C_{FO} , os valores de CN e Ab da parte aérea nos DAI anteriores ao final do experimento.

Antes de se iniciar o experimento foram coletadas amostras do sistema radicular da planta usada para a avaliação da matéria seca e feitas análises de CN e Ab. Ao final do experimento foram coletadas amostras do sistema radicular das mesmas plantas utilizadas para a coleta de amostras de caule e ramos, formando uma amostra composta para cada tratamento. Os valores intermediários de CN e Ab foram obtidos através de estimativas usando interpolações entre os valores iniciais e finais. Não foi realizada a coleta mensal de amostras do sistema radicular para as análises de CN e Ab para não prejudicar o sistema radicular e interferir na absorção do nutriente, o que terminaria por interferir nos resultados finais.

2.2.4 Cálculos e análise estatística

Para cada compartimento i , nas datas DAI_j , calculou-se para cada tratamento T:

Quantidade de N total, $QN_{i,j}$ (g planta⁻¹ ou kg ha⁻¹):

$$QN_{i,j} = mMS_{i,j} \cdot CN_{i,j} \quad (2.1)$$

Fração do N derivado do fertilizante, $Nddf_{i,j}$:

$$Nddf_{i,j} = \left[\frac{Ab_{i,j} - Ab_{nat}}{Ab_{fert} - Ab_{nat}} \right] \quad (2.2)$$

Onde Ab_{nat} é a abundância natural de ¹⁵N tomada como 0,365 e Ab_{fert} é a abundância do fertilizante, no caso 1,4%.

Quantidade do N derivado do fertilizante, $QNddf$ (g planta⁻¹ ou kg ha⁻¹):

$$QNddf_{i,j} = QN_{i,j} \cdot Nddf_{i,j} \quad (2.3)$$

Porcentagem do N aplicado recuperado (% dose):

$$R_{i,j} = \left[\frac{QNddf_{i,j}}{Dose_T} \right] \cdot 100 \quad (2.4)$$

O aproveitamento do adubo pela planta inteira (PI) através da quantidade de N derivado do fertilizante ($QNddf$, kg N ha⁻¹) e da respectiva recuperação (R, %) de todos os compartimentos foram calculados pelas seguintes equações:

$$QNddf_{PI} (kg N ha^{-1}) = \sum QNddf_{i,j} \quad (2.5)$$

$$R_{PI} (\%) = \sum R_{i,j} \quad (2.6)$$

Para se calcular os valores de CN e Ab da parte aérea (PA) nos DAI_j anteriores ao final do experimento, utilizou-se os valores de CN e Ab de cada compartimento no DAI_{356} para encontrar fatores de conversão baseados em medidas ponderadas, como segue:

$$CN_{PA} = \left[\frac{mMS_{RM} \cdot CN_{RM} + mMS_{CA} \cdot CN_{CA} + mMS_{FO} \cdot CN_{FO}}{mMS_{RM} + mMS_{CA} + mMS_{FO}} \right]_{DAI_{356}} \quad (2.7)$$

$$Fator\ CN_{PA} = \left[\frac{CN_{FO}}{CN_{PA}} \right]_{DAI\ 356} \quad (2.8)$$

$$Ab_{PA} = \left[\frac{mMS_{RM} \cdot Ab_{RM} + mMS_{CA} \cdot Ab_{CA} + mMS_{FO} \cdot Ab_{FO}}{mMS_{RM} + mMS_{CA} + mMS_{FO}} \right]_{DAI\ 356} \quad (2.9)$$

$$Fator\ Ab_{PA} = \left[\frac{Ab_{FO}}{Ab_{PA}} \right]_{DAI\ 356} \quad (2.10)$$

Foi feita a análise de variância com medidas repetidas no tempo e aplicação do teste de Tukey (P=0,05) usando o programa Statistica (STATSOFT INC, 2004).

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Compartimento Folhas (C_{FO})

A discussão inicia-se com o C_{FO} pelo fato deste ser o compartimento estudado em mais detalhes durante o experimento, pois essa coleta não afetava o desenvolvimento das plantas que receberam o fertilizante marcado com ¹⁵N e puderam ser realizadas mensalmente para análise de CN_{FO} e Ab_{FO}. Os dados de MS_{FO} para as datas intermediárias nas quais não houve coleta direta foram interpolados linearmente, como se pode ver na Figura 2.2, a qual mostra um aumento da MS_{FO} até o DAI 265, e depois desta data um decréscimo devido a perda de folhas mais pronunciada, que passou a fazer parte da serrapilheira. Aos 265 DAI os grãos de café estavam saindo da fase de granação de frutos e iniciando a maturação, e portanto após essa fase as folhas provavelmente já tinham deslocado bastante fotossintato para os frutos provocando a queda das primeiras. As folhas passam a exportar fotossintatos principalmente para os frutos - que são um dreno preferencial na fase reprodutiva - e para outras partes vegetativas (TAIZ; ZEIGER, 2004, LAVIOLA et al., 2007) o que pode provocar queda de parte das folhas. As folhas atuam primeiramente como dreno, consumindo o açúcar produzido pela fotossíntese e quando estão com 40 a 50% da área expandidas passam a ser fonte de fotossintatos (TAIZ; ZEIGER, 2004), o que explica o crescimento contínuo da mMS_{FO} até o DAI 265. Após a fase correspondente à granação de frutos foi

observada uma descontinuidade no crescimento das folhas, que também foi observada por Amaral, Rena e Amaral (2006) em cafeeiros adultos de Minas Gerais, mas contraria dados de Rena e Maestri (1986) que em sua revisão mostraram que nos meses mais quentes o crescimento das folhas é inibido, o que acontece em Barreiras da fase chumbinho à fase de granação de frutos. A produção de folhas está associada com a produção de nós nos ramos laterais e é um processo contínuo durante o ano, sendo que decresce consideravelmente na estação seca, em alguns casos mesmo com a presença de irrigação, o que leva a crer que esse padrão está relacionado também com temperatura e fotoperíodo. No entanto, provavelmente no presente caso de estudo essa queda no crescimento de folhas não está ocorrendo provavelmente devido às temperaturas amenas ($\pm 24\text{ }^{\circ}\text{C}$) que ocorrem durante o ano todo no oeste baiano.

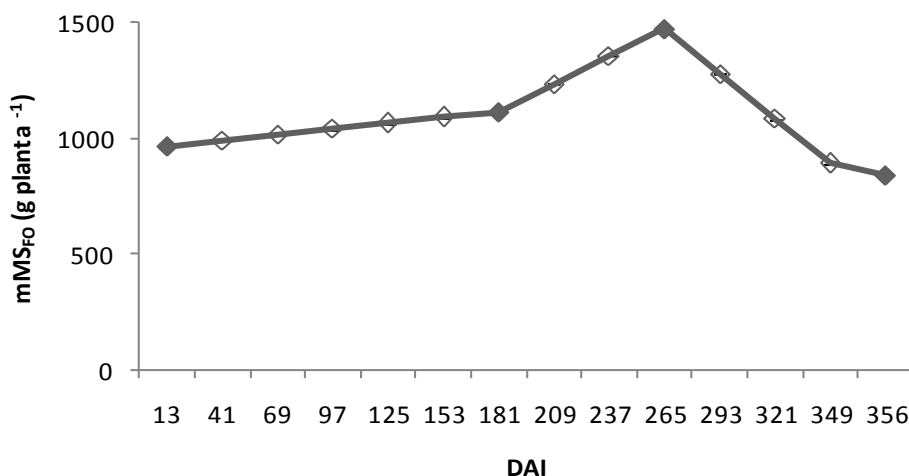


Figura 2.2 – Estimativa da evolução da massa de matéria seca das folhas (mMS_{FO}) de cafeeiros de 13 à 356 dias após o início (DAI); pontos cheios correspondem a medidas e pontos vazios estimativas

A concentração de N nas folhas (CN_{FO}) ilustrada na Figura 2.3A decresce do DAI 13 ao 69 e mostra tendência de um leve aumento a partir do DAI 97 até DAI 321, sendo que esta concentração praticamente independe da dose de fertilizante. Daí em diante os valores diminuem até o fim do ciclo em DAI 356, o que sugere um caráter cíclico. Apesar de existir translocação de N das folhas para os frutos na fase de expansão

rápida dos frutos (MALAVOLTA, 2006; AMARAL; DA MATTA; RENA, 2001), a oscilação de N nas folhas não é muito acentuada provavelmente devido ao fornecimento de quantidades excessivas de N ao cafezal nos anos anteriores o que pode ter levado a um acúmulo deste nutriente nas folhas velhas que o remobilizaram para folhas novas e frutos (TAIZ; ZEIGER, 2004). Na Figura 2.3B nota-se também que a concentração média anual de N aumenta levemente com a dose, porém ainda dentro da faixa considerada adequada por Raij et al. (1996)(26 a 32 g de N kg⁻¹ de folhas) para a maioria dos tratamentos, exceto T₈₀₀ que apresentou excesso (34 g de N kg⁻¹ de folhas). Carelli, Fahl e Ramalho (2006) em revisão sobre metabolismo de N em cafeeiros encontrou alguns trabalhos onde foi observada maior absorção de nitrato antes da antese (DAI 41) e no início da maturação (DAI 293) correspondendo ao período de maior dreno por parte de flores e frutos; porém no presente estudo isso seria correto apenas para o primeiro caso já que nesse período a CN_{FO} é menor, indicando uma perda do N das folhas para o dreno do momento que é a formação de flores, devido a maior necessidade de N nessa fase. Em citrus Feigenbaum et. al. (1987) verificou que a concentração de N nas folhas variou significativamente entre plantas que haviam ou não sido submetidas à ausência de N durante os anos anteriores, embora tivessem recebido a mesma dose de N durante o experimento e tivessem praticamente a mesma massa de matéria seca de folhas. No presente estudo, as análises estatísticas das evoluções de CN_{FO} durante o ano, indicaram que estas foram diferentes entre os tratamentos, onde T₀ não diferiu de T₂₀₀ mas diferiu significativamente dos demais, T₂₀₀ não diferiu de T₄₀₀ e T₆₀₀, e T₈₀₀ diferiu de todos os outros tratamentos, indicando que quanto maior a dose, maior a CN_{FO}. Esta informação é de relevância para a prática da análise foliar com fins de adubação.

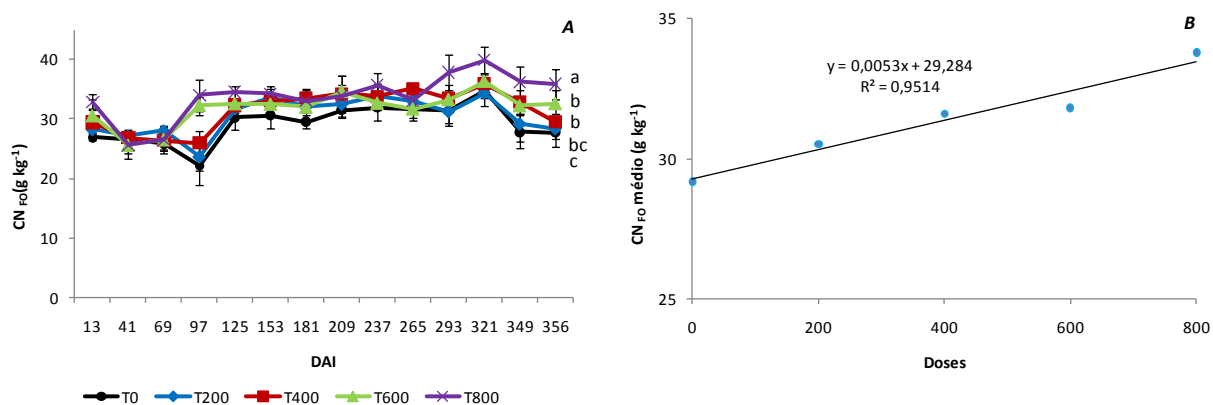


Figura 2.3 – A. Evolução da concentração de nitrogênio em folhas (CN_{FO}) de cafeeiros fertirrigados com diferentes doses de nitrogênio na forma de ureia marcada de 13 a 356 dias após o início (DAI); curvas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). B. Concentração média anual de nitrogênio em folhas (CN_{FO}) em função da dose de nitrogênio aplicada via fertirrigação

A quantidade de nitrogênio nas folhas QN_{FO} (Figura 2.4) é o produto de CN_{FO} por mMS_{FO} e por isso sua evolução é semelhante a de CN_{FO} , porém com variações pouco mais pronunciadas devido àquelas da mMS_{FO} (Figura 2.2). Para QN_{FO} apenas T_{800} apresentou diferença significativa dos demais, com valores pouco maiores ao longo do ciclo da cultura. A QN_{FO} é crescente até os 265 DAI, e partir daí pode ser observado em todos os tratamentos um decréscimo que pode ser explicado também por perdas naturais de N para o ambiente, principalmente via gás de amônia, devido à senescência das folhas (HÖRTENSTEINER; FELLER, 2002; FARQUHAR et. al.; 1980; BOLOGNA et al., 2006; MATTSSON; HUSTED; SCHJOERRING, 1998). Apesar das perdas pela parte aérea das plantas não terem sido quantificadas aqui, elas podem ter ocorrido e uma discussão mais aprofundada a esse respeito será realizada adiante, no capítulo 3.

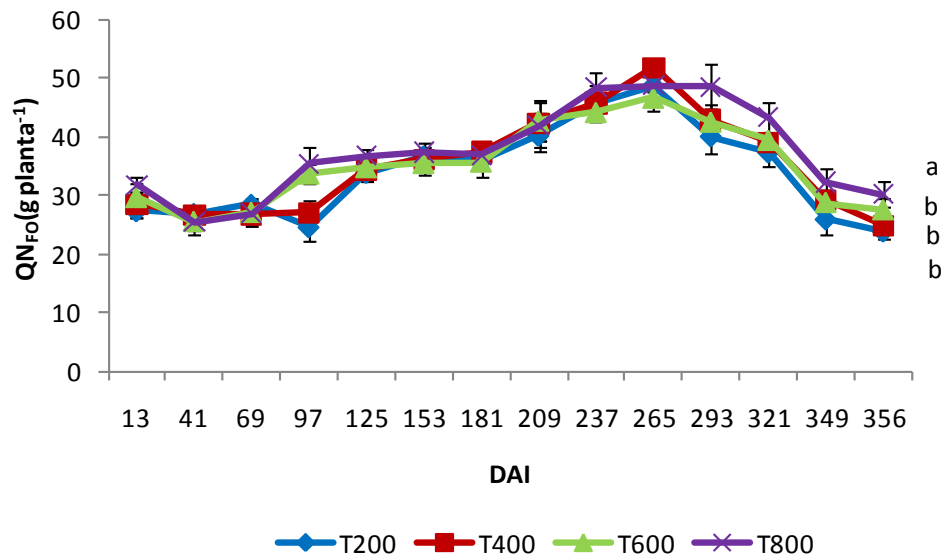


Figura 2.4 – Evolução da quantidade de nitrogênio em folhas (QN_{FO}) de cafeeiros fertirrigados com diferentes doses de N na forma de ureia marcada de 13 a 356 dias após o início (DAI). Curvas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

A evolução da Ab_{FO} mostrada na Figura 2.5 está diretamente ligada às adubações progressivas com ureia marcada e com as suas respectivas doses, como seria esperado. Neste caso aparecem diferenças entre tratamentos, com todas as curvas apresentando uma tendência sigmoideal, estabilizando-se ao final entre os DAI 265 e 356, dando a entender que as adubações finais são menos absorvidas pelas folhas. Apenas o tratamento T_{400} apresenta uma queda acentuada de Ab , mas que poderia estar dentro dos erros experimentais. Outra explicação está na translocação do N das folhas para os frutos, como já comentado. Os tratamentos T_{200} e T_{400} não apresentaram diferenças significativas entre si, assim como T_{600} e T_{800} .

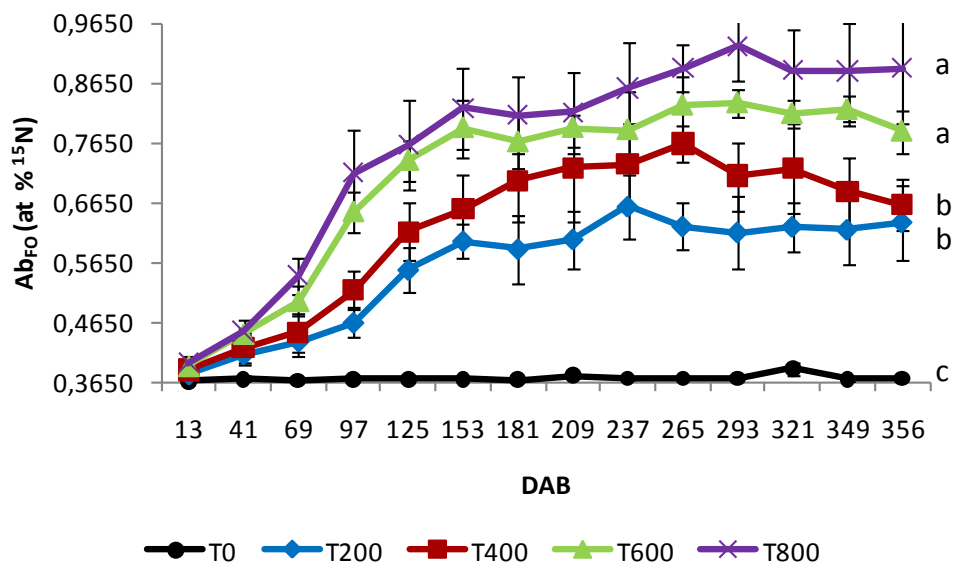


Figura 2.5 - Evolução da abundância de ^{15}N (Ab_{FO}) em folhas de cafeeiros fertirrigados com diferentes doses de nitrogênio na forma de ureia marcada de 13 a 356 dias após o início (DAI). Curvas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

A evolução do nitrogênio na folha derivado do fertilizante (Nddf_{FO}) observada na Figura 2.6 acompanha a evolução de Ab_{FO} uma vez que Nddf_{FO} é calculado a partir deste. Nota-se novamente um comportamento sigmoidal que após os 237 DAI mostra uma tendência dos valores a se estabilizarem. As mesmas diferenças estatísticas constatadas para Ab_{FO} foram observadas para Nddf_{FO} .

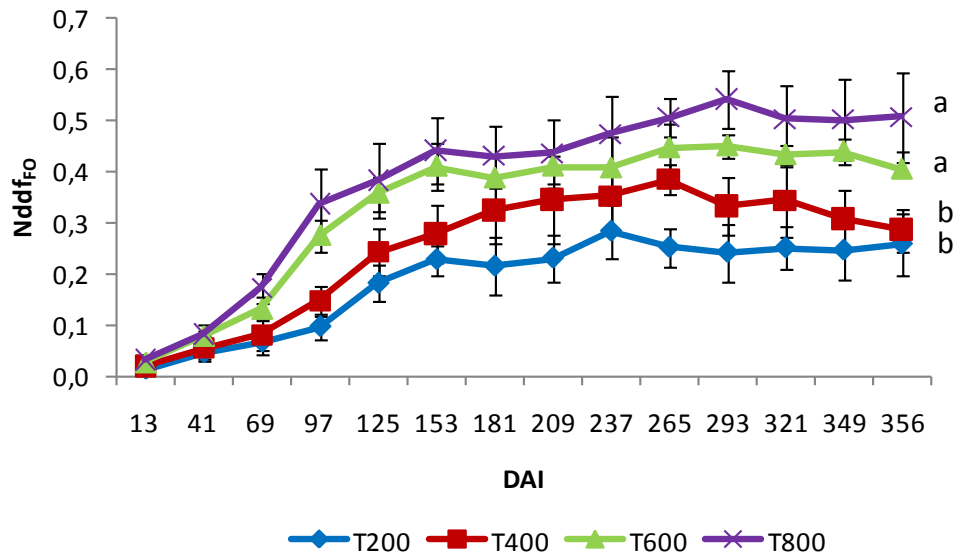


Figura 2.6 – Evolução do nitrogênio derivado do fertilizante em folhas ($Nddf_{FO}$) de cafeeiros fertirrigados com diferentes doses de nitrogênio na forma de ureia marcada de 13 a 356 dias após o início (DAI). Curvas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

Tanto na quantidade de nitrogênio na folha derivada do fertilizante (Figura 2.7) como na recuperação de N pela folha (Figura 2.9) houve diferenças entre os tratamentos. Na $QNddf_{FO}$ os tratamentos T_{200} e T_{400} foram iguais, assim como T_{400} e T_{600} e T_{600} e T_{800} . Os dados observados na Figura 2.7 tem o mesmo comportamento dos dados de Da Matta, Amaral e Rena (1999) sobre concentração de nitrato em folhas de cafeeiro em Minas Gerais, existindo um pico na quantidade de N até a granação dos frutos e início da maturação indicando que possivelmente existe maior absorção de N para as folhas nesse período, para posterior translocação para os frutos.

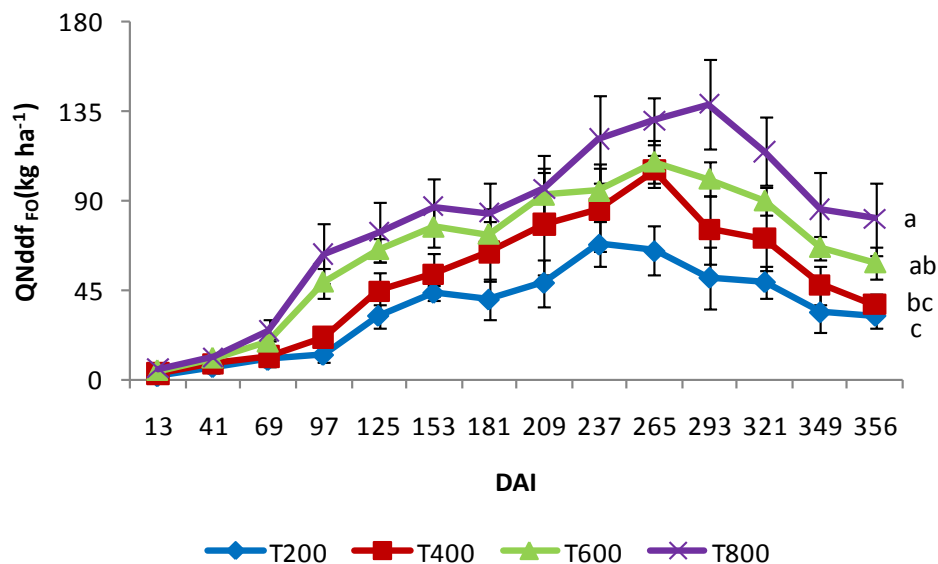


Figura 2.7 – Evolução da quantidade de nitrogênio derivado do fertilizante (QNddf_{F0}) em folhas de cafeeiros fertirrigados com diferentes doses de nitrogênio na forma de ureia marcada de 13 a 356 dias após o início (DAI). Curvas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05)

A porcentagem de N proveniente do fertilizante (Nddf) em relação à porcentagem de N derivado do solo (Ndds), foi crescente nas folhas do cafeeiro até o estágio de granação de frutos (DAI 181), sendo a partir de então constante até a colheita. A participação do fertilizante aumentou à medida que a dose foi aumentada, pois a ureia aplicada chegou a fornecer mais de 40% do N da folha para o tratamento T₆₀₀, e mais de 50% para T₈₀₀ no período da expansão, granação de frutos e maturação, mas também atingiu valores consideráveis até mesmo para as doses mais baixas, como 28% e 39% para T₂₀₀ e T₄₀₀ respectivamente. A quantidade de matéria orgânica do solo estudado está dentro da faixa esperada para os solos de textura média e não contribuiu de forma acentuada para a cultura quando foi aplicado N facilmente disponível, como é o caso das maiores doses (Figura 2.8).

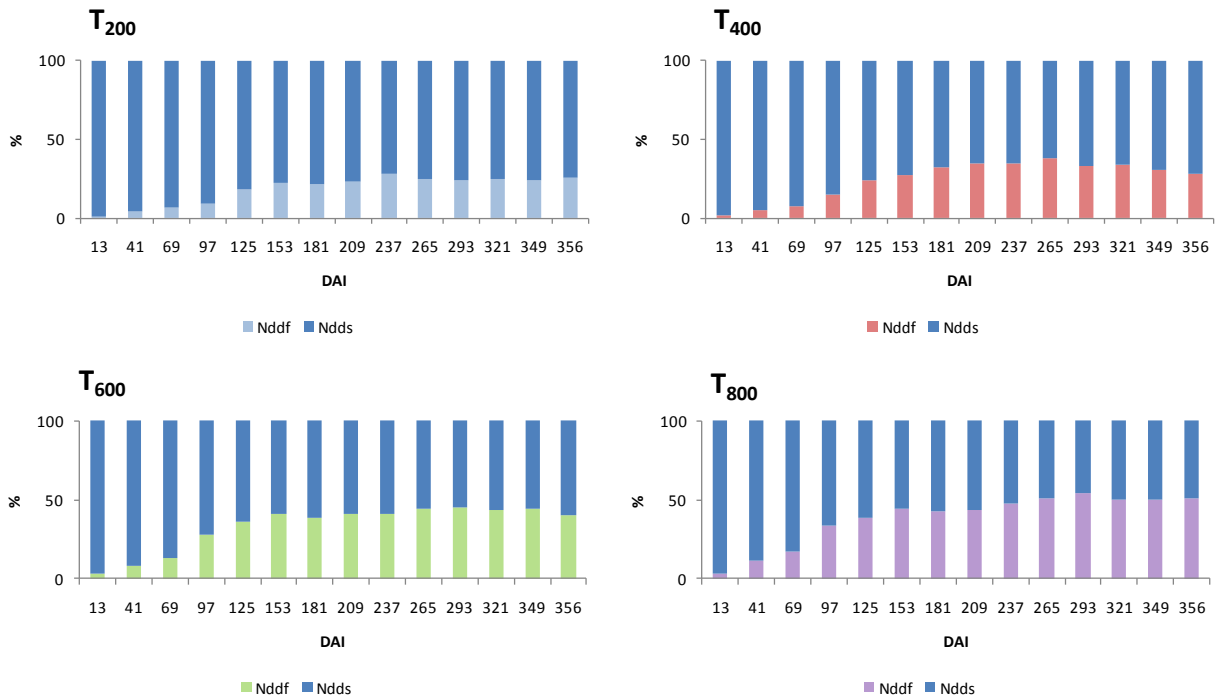


Figura 2.8 – Evolução da porcentagem de N derivado do fertilizante (Nddf) e da porcentagem de N derivado do solo (Ndds) em folhas de cafeeiros fertirrigados com diferentes doses de N (200, 400, 600 e 800 kg ha⁻¹ de N) na forma de ureia marcada, de 13 a 356 dias após o início (DAI)

Para R_{FO} (Figura 2.9) somente T_{200} diferiu significativamente dos outros tratamentos, os quais foram iguais entre si. Em relação a R_{FO} , a ordem observada foi numericamente inversa à quantidade de fertilizante aplicado, ou seja, $T_{200} > T_{400} > T_{600} > T_{800}$, havendo um destaque para T_{200} . Este destaque poderia ser atribuído a menor dose de 200 kg ha⁻¹ de N, mostrando que a quantidade de N do solo disponível para a planta era insuficiente para suas necessidades, o que causou uma maior absorção de N do fertilizante em relação ao N do solo, menos disponível. A curva de T_{200} apresentou dois picos, um durante a expansão de frutos (aos 153 DAI) e outro na fase final da granação de frutos (aos 237 DAI), mostrando uma menor absorção no início da granação de frutos (DAI 181-209). A recuperação de N para T_{200} chegou ao máximo de 52% enquanto que as recuperações dos demais tratamentos não diferiram muito com a dose e oscilaram perto de 25% (Figura 2.9). A partir do estágio de maturação de frutos (DAI 293) a recuperação de N cai para todos os tratamentos. Isso significa que há

menor absorção do N do fertilizante, já comentado anteriormente, uma vez que a proporção dose/absorção diminui até a colheita. Estes dados para o C_{FO} sugerem que no estágio de maturação de frutos, as folhas translocam o N para o dreno mais forte, que é o fruto, concordando com os resultados de Valarini, Bataglia e Fazuoli (2005). O período de maior absorção do adubo foi o da granação de frutos para T_{200} (52%) e T_{400} (36%), enquanto para T_{600} (32%) e T_{800} (29%) foi o da expansão de frutos (Figura 2.9). Em experimento com cafeeiro Fenilli et. al. 2007 apresentam resultados parecidos com os obtidos para os tratamentos T_{200} e T_{400} , onde no período de granação de frutos o cafeeiro recuperou 71% e 36% do N aplicado no primeiro e segundo ano de seu estudo, respectivamente. Esses resultados indicam que o parcelamento deve privilegiar os estádios fenológicos imediatamente anteriores à expansão e granação de frutos, isto é, o estágio chumbinho.

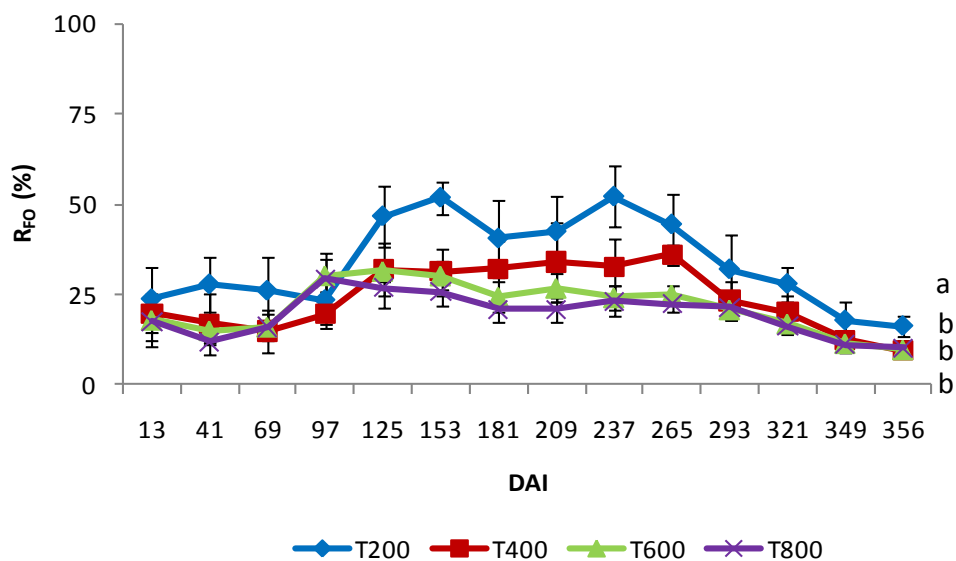


Figura 2.9 – Evolução da recuperação do N do fertilizante pela folha (R_{FO} , %) em cafeeiros fertilizados com diferentes doses de nitrogênio na forma de ureia marcada, de 13 a 356 dias após o início (DAI). Curvas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

Em relação à absorção inicial do fertilizante aplicado, as Figuras 2.10 e 2.11 apresentam os resultados de $N_{ddf_{FO-T600}}$ e $R_{FO-T600}$. Os pontos experimentais se ajustaram muito bem a modelos assintóticos, do tipo não linear, indicando taxas de

absorção relativamente altas no início, e que tendem a se estabilizar aos 13 dias, quando então é aplicada outra parcela da dose, já correspondente ao experimento principal, e que tem seu estudo feito separadamente. As taxas dy/dx ($\% \text{ dia}^{-1}$) para $Nddf_{FO-T600}$ foram 1,2047; 0,7974; 0,4196 e 0,0002 respectivamente para 1, 2, 3 e 13 dias após a aplicação. Para $R_{FO-T600}$ ($\% \text{ dia}^{-1}$), dy/dx foram 4,4; 3,6; 2,9 e 0,3, respectivamente para 1, 2, 3 e 13 dias após a aplicação. Quando a taxa de $R_{FO-T600}$ praticamente se estabilizou em 0,3 a folha tinha absorvido 22% da quantidade do adubo aplicado até então, e este valor mostra que a recuperação do N da adubação nos 13 primeiros dias não é elevada. É preciso considerar que uma parte considerável da solução de ureia que atinge o solo pode ser lixiviada, e que em todo o processo pode haver perdas também por volatilização. A lixiviação é particularmente importante pois a maior parte da solução de ureia atinge o solo. No entanto, podemos afirmar que um dia após a primeira de 26 parcelas da dose de $600 \text{ kg de N ha}^{-1}$ ocorreu a absorção do adubo pela planta da ordem de 1%.

As condições impostas para ajustar a melhor equação aos dados, considerando $x = DAI$, e $y = Nddf$ foram:

- 1) Se $DAI = 0$; $Nddf = 0$

- 2) $\frac{d Nddf}{d DAI} = 0$

- 3) $\lim_{DAI \rightarrow \infty} \frac{d Nddf}{d DAI} = 0$

- 4) Coeficiente de determinação (R^2) de pelo menos 0,90

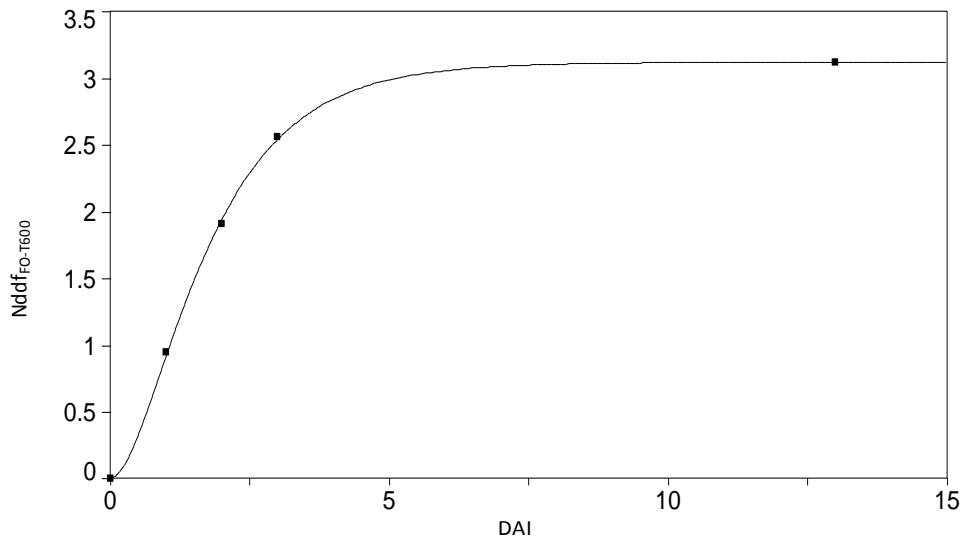


Figura 2.10 - Evolução do nitrogênio derivado do fertilizante nas folhas ($Nddf_{FO-T600}$) de cafeeiros fertirrigados com 600 kg ha^{-1} de nitrogênio aos 1, 2, 3 e 13 dias após o início (DAI); $[y = a \left[1 + \left(\frac{1}{c-b} \right) (b e^{-cx} - c e^{-bx}) \right]]$, $a = 3,1163$; $b = 0,7520$; $c = 1,6585$; $R^2 = 0,9996$

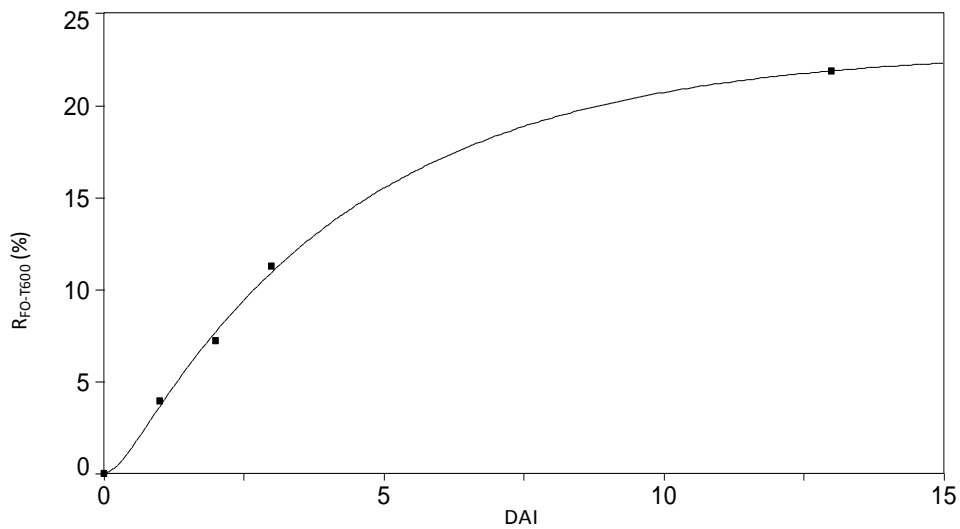


Figura 2.11 - Evolução da recuperação do N do fertilizante pela folha ($R_{FO-T600} \%$) em cafeeiros fertirrigados com 600 kg ha^{-1} de nitrogênio aos 1, 2, 3 e 13 dias após o início (DAI); $[y = a \left[1 + \left(\frac{1}{c-b} \right) (b e^{-cx} - c e^{-bx}) \right]]$, $a = 22,9715$; $b = 0,2369$; $c = 3,7223$; $R^2 = 0,9984$

2.3.2 Compartimento Parte aérea (C_{PA})

Aqui consideramos o compartimento parte aérea (C_{PA}) constituído de folhas (C_{FO}), ramos (C_{RM}) e caule (C_{CA}). Esse compartimento foi introduzido neste estudo porque na maioria dos experimentos apresentados na literatura, a produtividade é avaliada pela mMS da parte aérea da cultura. Como já foi discutido, a mMS dos compartimentos que formam o C_{PA} foi amostrada em apenas uma planta fora da linha experimental, em 4 datas e como apresentado na Tabela 2.6. Uma análise desses dados indica uma amostragem insuficiente (porém a única possível nas condições experimentais) pois não se vê coerência no crescimento dos compartimentos. No presente estudo, baseando-se no fato de se tratar de plantas adultas (7 a 8 anos de idade), pode-se considerar que seu aumento em mMS é mínimo em termos de caule e ramos, além do fato dessas plantas sofrerem podas anuais e autopoda, o que faz com que todas tenham mMS bastante parecida e pouco variável em um ano. Sabe-se que o crescimento dos ramos de cafeeiro é sazonal e que dele depende a formação de novas folhas e frutos, sendo este crescimento maior em dias longos e com temperaturas altas (RENA; MAESTRI, 1986). No entanto, tal crescimento não foi observado no presente experimento devido ao tipo de manejo adotado naquele cafezal e, principalmente à impossibilidade de se obter mais repetições. Os dados de mMS_{FO} (Tabela 2.6) estão coerentes e foram utilizados no item anterior, em que apenas se estudou o C_{FO} . Assim para o C_{PA} foi considerada a mMS_{PA} constante e igual à média de todas as amostragens, isto é, $5146 \text{ g planta}^{-1}$.

Tabela 2.6 – Massa de matéria seca (mMS) (g planta^{-1}) de cada compartimento da parte aérea (folha, ramo e caule), somatória e média para cafeeiros fertirrigados com ureia marcada, coletados aos DAI 13, 181, 265 e 356

Compartimento	13	181	265	356	Média
mMS_{FO}	957	1116	1476	842	1098
mMS_{CA}	3600	2925	2845	2030	2850
mMS_{RA}	1455	1658	547	1132	1198
mMS_{PA}	6012	5699	4868	4004	5146

A partir dos dados da Figura 2.12 observamos que o $QNddf_{PA}$ é maior quanto maior a quantidade de adubo aplicado. Diferentemente do que ocorreu com as folhas, quando se observa toda a parte aérea, não há queda acentuada nos DAI finais, indicando que os compartimentos caule e ramos, que possuem massas expressivas em relação às folhas, mascararam os efeitos da queda mais brusca das folhas. Esses dados são diferentes dos encontrados por Fenilli (2006) que após aplicar a dose de 280 kg de N ha^{-1} via solo e por cobertura em cafeeiros jovens em São Paulo, observou aumento da $QNddf_{PA}$ até o início da granação de frutos, seguido de queda acentuada até a colheita.

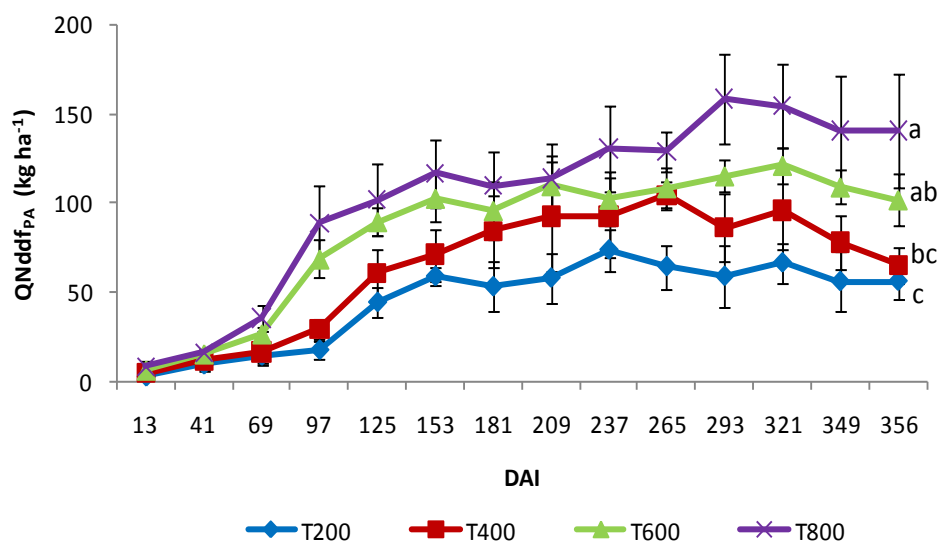


Figura 2.12 - Evolução da quantidade de nitrogênio derivado do fertilizante na parte aérea ($QNddf_{PA}$) de cafeeiros fertirrigados com diferentes doses de nitrogênio na forma de ureia marcada, de 13 a 356 dias após o início (DAI). Curvas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

A recuperação do N aplicado como adubo pode ser observada na Figura 2.13, onde T_{200} se destaca dos demais tratamentos, exceto aos 97 DAI, o que pode possivelmente ser devido a erros experimentais. No caso de T_{200} a recuperação do N do fertilizante pela parte aérea dos cafeeiros chegou ao máximo de 70% na fase de expansão de frutos; para T_{400} e T_{600} o pico de recuperação de N também foi na fase de expansão de frutos, porém com valores mais baixos - 44 e 43%; apenas para T_{800} o

maior valor de recuperação de N aconteceu ainda na fase fenológica 'chumbinho', sendo essa recuperação de 41% do fertilizante. Assim, conhecer qual é o momento em que toda a parte aérea do cafeeiro absorve mais eficientemente N proveniente do fertilizante, e que conseqüentemente necessita de mais N, é de extrema relevância para o planejamento do parcelamento de doses. Assim como para R_{FO} , R_{PA} aponta que o momento que se deve aplicar a maior quantidade de adubo quando parcelado, é o do início da frutificação, garantindo que o nutriente esteja disponível para a planta nas fases onde a absorção é maior.

Na maioria dos trabalhos encontrados em literatura a recuperação do N aplicado é da ordem de 20%, porém esses trabalhos geralmente coletam os dados unicamente no momento da colheita, e não mostram o comportamento do N na planta ao longo do ciclo. Vários exemplos podem ser observados em Dourado-Neto et al. (2010), para dez culturas anuais, em sistemas tropicais e subtropicais, em que os valores são muito semelhantes aos encontrados neste estudo para cafeeiros no momento da colheita (16 a 28%). A absorção do N pelo cafeeiro varia ao longo do tempo dependendo do estágio fenológico que se encontra a cultura e o parcelamento evidentemente otimiza a adubação evitando a perda do nitrogênio para o ambiente.

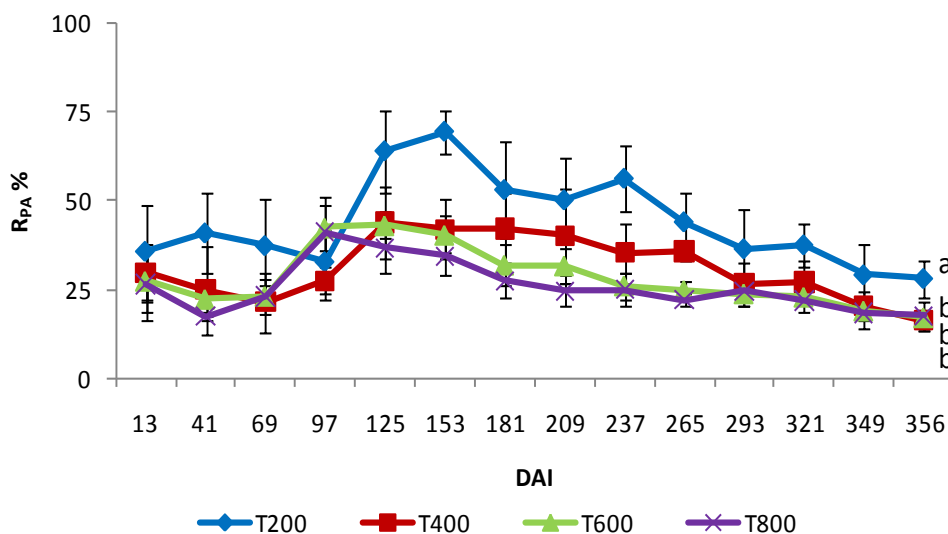


Figura 2.13 – Evolução da recuperação do N do fertilizante pela parte aérea (R_{PA} , %) de cafeeiros fertirrigados com diferentes doses de nitrogênio na forma de ureia marcada de 13 a 356 dias após o início (DAI). Curvas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

Há uma diminuição da R_{PA} a partir da fase de expansão de frutos (DAI 153), o que pode indicar duas situações: i. após essa data as adubações posteriores não são mais tão bem aproveitadas e, ii. há uma translocação de N para outros compartimentos, no caso frutos e, posteriormente, serrapilheira, além de perdas como a lixiviação e volatilização.

2.3.3 Compartimento Frutos (C_{FR})

O aumento da mMS_{FR} observado nos dados das 4 amostragens feitas e 10 interpolações através de modelo logarítmico [$y = 1114,4 \ln(x) - 5069,9$; $R^2 = 0,9879$], iniciando-se aos 69 DAI quando quantidades insignificantes de frutos começaram a aparecer, até o término do experimento, quando atingiu o valor de $1477 \text{ g planta}^{-1}$ (Figura 2.14). A produção média de cada tratamento, avaliada nas 4 repetições de cafeeiros aos DAI 356, não apresentou diferença significativa entre os tratamentos e esses dados serão apresentados e discutidos com maior destaque no capítulo seguinte. Sanzonowicz et al. (2003) também não observou diferença na produção de grãos de café em cafeeiro adulto decotado em um experimento de quatro anos.

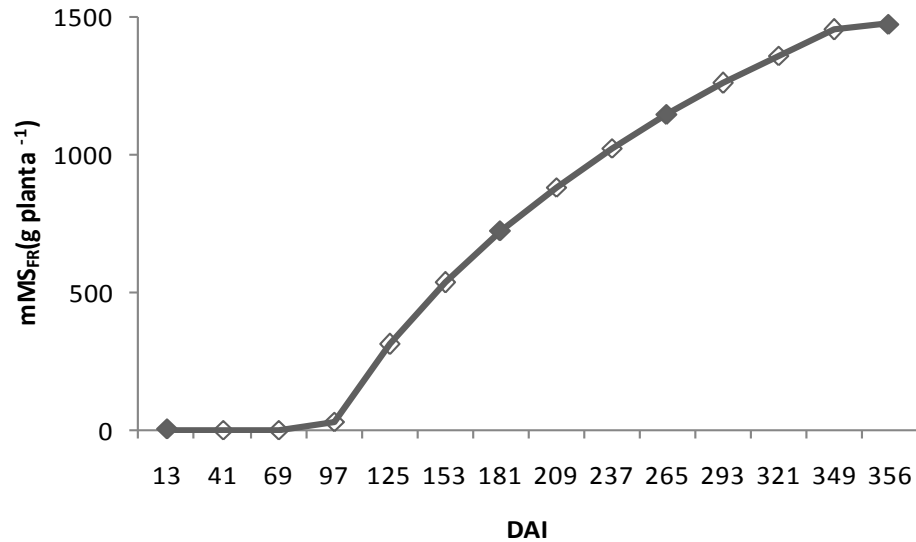


Figura 2.14 – Estimativa da evolução da massa de matéria seca de frutos (mMS_{FR}) de cafeeiros de 13 a 356 dias após o início (DAI); pontos cheios correspondem a medidas e pontos vazios estimativas

O fornecimento de N deve ser feito de tal modo que supra as necessidades de crescimento vegetativo e reprodutivo do cafeeiro. Existem picos de consumo de N na formação dos frutos, que podem variar de acordo com a região de plantio e a idade do cafeeiro, sendo que o fornecimento de uma maior quantidade do nutriente deve ser realizado antes desses picos (LAVIOLA et al. 2008). De acordo com a Figura 2.15, a maior concentração de N nos frutos ocorre no período de granação - dos 209 aos 237 DAI - e todos os tratamentos apresentam comportamento similar ao longo do período estudado, havendo apenas uma inesperada queda do CN ao final da maturação dos frutos (DAI 349), voltando a crescer na data da colheita. Não houve diferença na CN_{FR} entre as diferentes doses. A citada igualdade de produção de frutos na colheita, apesar do emprego de diferentes doses de N, pode indicar que houve remobilização deste nutriente armazenado anteriormente em outros compartimentos como folhas, raízes e ramos para os frutos, como apontam Lima Filho e Malavolta (2003). Estes autores afirmam que em cafeeiro o N remobilizado dos órgãos de reserva para os frutos foi de 47% a 58% proveniente das folhas, 20% de ramos e gemas florais e de 21 a 32% de

raízes. Uma descrição detalhada do processo de remobilização de N em plantas pode ser encontrado em Marschner (1995) e em Hörtensteiner e Feller (2002).

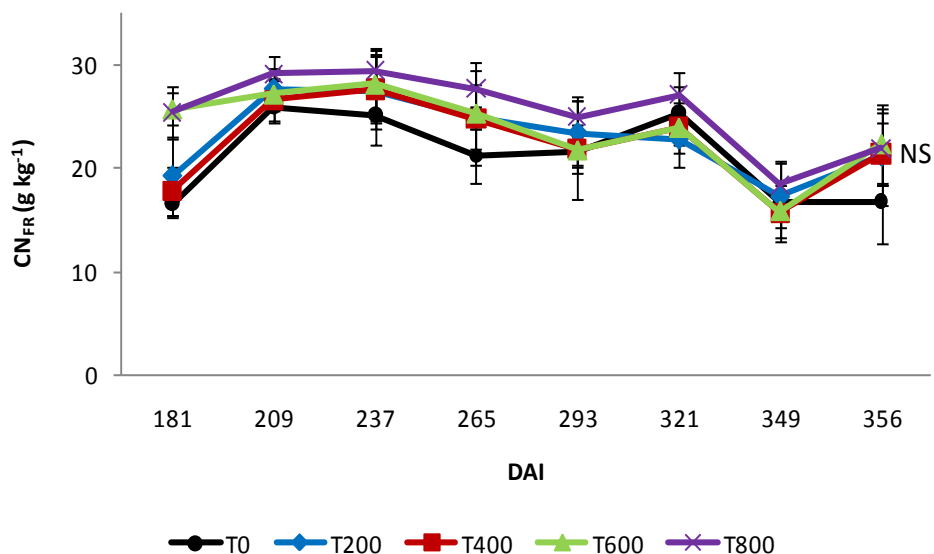


Figura 2.15 – Evolução da concentração de nitrogênio de frutos (CN_{FR}) de cafeeiros fertirrigados com diferentes doses de nitrogênio na forma de ureia marcada, de 181 a 356 dias após o início (DAI). NS = não há diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Tukey ($P > 0,05$)

A quantidade de N nos frutos (Figura 2.16) reflete as variações de CN_{FR} e da mMS_{FR} , sendo crescente no tempo e apresentando a mesma queda no DAI 349 em virtude da diminuição da CN_{FR} , e não houve diferença significativa entre as doses para QN_{FR} .

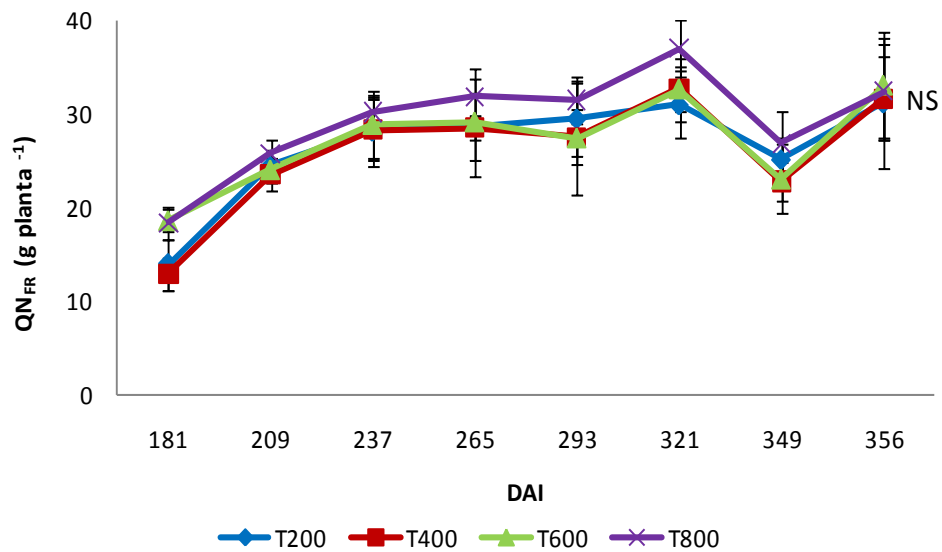


Figura 2.16 – Evolução da quantidade de nitrogênio nos frutos (QN_{FR}) de cafeeiros fertirrigados com diferentes doses de nitrogênio na forma de ureia marcada, a partir de 181 a 356 dias após o início (DAI). NS = não há diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Tukey ($P > 0,05$)

A evolução do $Nddf_{FR}$ (Figura 2.17) segue o mesmo padrão encontrado nas folhas, crescentes e com mais N proveniente do fertilizante nas parcelas que receberam maior adubação. Apesar de o $Nddf_{FR}$ ser alto e ter atingido o pico ao final do experimento, pelo menos metade do N que nutriu os frutos é proveniente ou de outras fontes do solo ou de órgãos de reserva. Quanto ao $Nddf_{FR}$ não houve diferença significativa entre os tratamentos T_{200} e T_{400} e nem entre T_{600} e T_{800} .

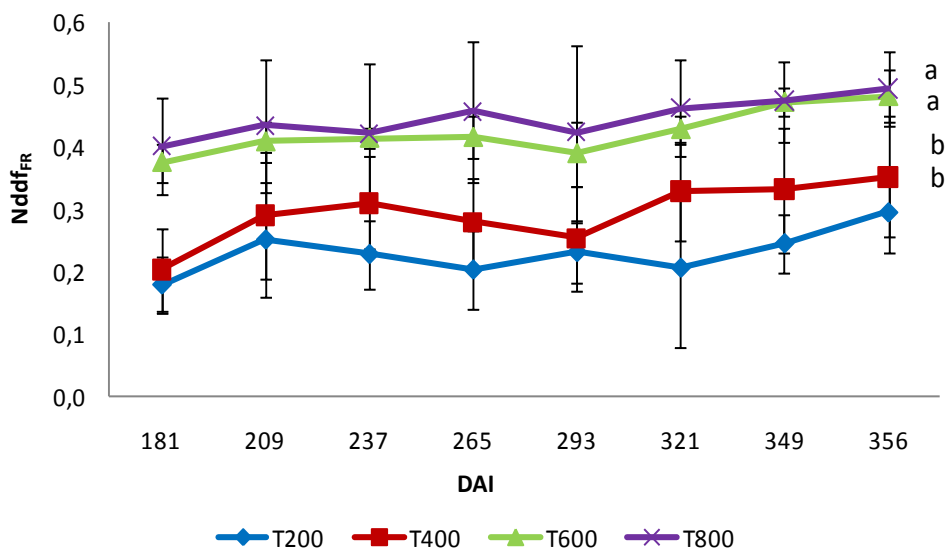


Figura 2.17 - Evolução do nitrogênio derivado do fertilizante nos frutos ($Nddf_{FR}$) de cafeeiros fertirrigados com diferentes doses de nitrogênio na forma de ureia marcada de 181 a 356 dias após o início (DAI). Curvas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

A quantidade de N derivado do fertilizante em frutos (Figura 2.18) tem um comportamento parecido com o do $Nddf$ do mesmo compartimento, exceto ao final da fase de maturação de frutos (DAI 349), que mostra uma diminuição devido à queda na concentração de N nos frutos para todos os tratamentos. Como acontece com todos os drenos, à medida que os frutos crescem e se desenvolvem eles necessitam de mais N, e por isso o fornecimento deste deve ser maior em um estágio anterior, ou seja, o de florescimento ou início da frutificação. Esses resultados concordam com os de Matiello (1986) que afirma que o período de máxima demanda de nutrientes é o de formação de frutos. Para $QNddf_{FR}$ também não houve diferença significativa entre os tratamentos T_{200} e T_{400} e nem entre T_{600} e T_{800} .

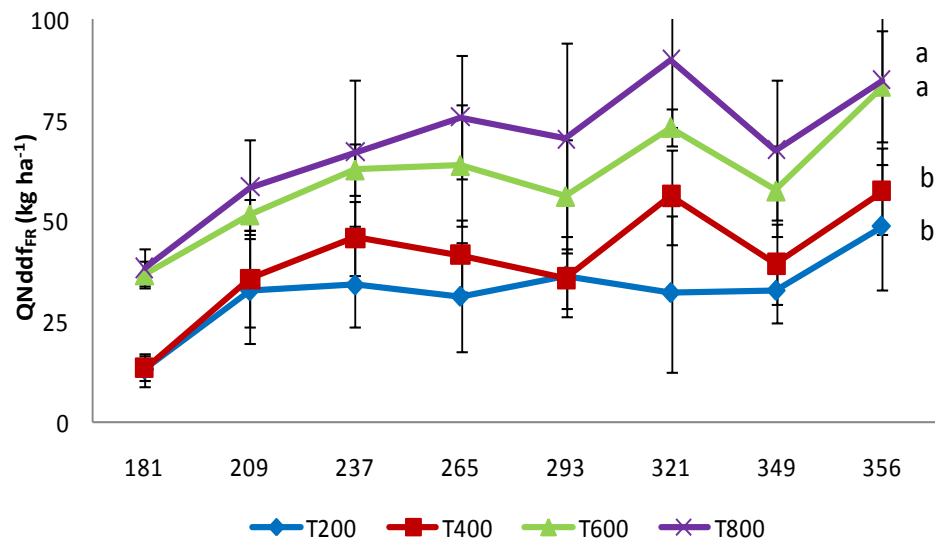


Figura 2.18 - Evolução da quantidade de nitrogênio derivado do fertilizante em frutos ($QNddf_{FR}$) de cafeeiros fertirrigados com diferentes doses de nitrogênio na forma de ureia marcada de 181 a 356 dias após o início (DAI). Curvas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

Os frutos tiveram a maior recuperação de N durante a fase de granação dos frutos (DAI 209 e 237), período este com os maiores percentuais de recuperação variando de 13 a 28% para T_{800} e T_{200} , respectivamente. O aproveitamento do adubo diminuiu na fase final de maturação do fruto, mas voltou a aumentar na hora da colheita indicando que as últimas adubações não foram tão bem aproveitadas, podendo ter havido perdas para o ambiente (Figura 2.19). Somente o T_{200} se destacou dos demais tratamentos no que se refere à recuperação de N nos frutos, porém este foi o tratamento que apresentou os maiores erros de medida. Essa maior recuperação é esperada quando se trabalha com menores doses principalmente em plantações com manejo intensivo pois condições ótimas são oferecidas às plantas de alto potencial produtivo. Apesar de ser necessário o aprofundamento de tais estudos com trabalhos de maior duração, é possível prever que a produtividade dos cafeeiros submetidos a T_{200} irá declinar com o passar do tempo, devido a menor disponibilidade de N no solo.

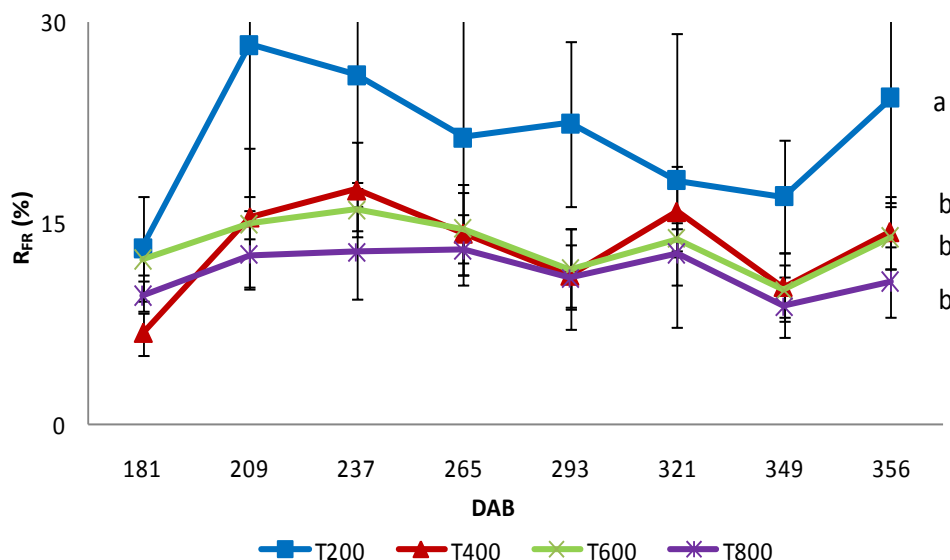


Figura 2.19 - Evolução da recuperação do N do fertilizante pelo fruto (R_{FR} ,%) de cafeeiros fertirrigados com diferentes doses de nitrogênio na forma de ureia marcada, a partir de 181 à 356 dias após o início (DAI). Curvas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

Como os frutos apresentam uma queda na recuperação de N a partir do DAI 209, é possível inferir que as adubações finais não são tão bem aproveitadas, levando a maiores perdas, e confirmando que as maiores quantidades de adubo devem ser disponibilizadas para as plantas antes do início da frutificação.

2.3.4 Compartimento Raízes (C_{RZ})

A mMS do compartimento raízes foi amostrada quatro vezes e foram realizadas 11 interpolações (modelo linear) para as datas intermediárias (Figura 2.20). A média da massa de matéria seca das raízes dos cafeeiros foi de $1614 \text{ g planta}^{-1}$, abaixo dos valores normalmente encontrados para cafeeiros dessa idade (FRANCO; INFORZATO, 1946; COSTA, 2006; SOARES et al., 2007; RENA; MAESTRI, 1986). A maior parte das raízes se encontrava até os 0,95 m de profundidade, o que pode ser explicado pelo fato de que a irrigação afeta o seu padrão de crescimento reduzindo sua profundidade e estimulando o desenvolvimento de raízes primárias e secundárias nas camadas superficiais do solo (RENA, 1998). A coleta de raízes no campo foi extremamente difícil e, mesmo utilizando-se o método do jato d'água, uma parte delas perdeu-se,

principalmente as raízes finas, o que pode ter afetado o resultado final da mMS_{RZ} , embora essas raízes não representem muito em termos de massa seca. A raiz apresentou um ligeiro aumento de massa até o DAI 265 com decréscimo logo após, indicando que houve perda no período de maturação dos frutos (Figura 2.20), devido à inversão na relação fonte: dreno. As raízes são drenos mais fracos que frutos em desenvolvimento e podem paralisar seu próprio crescimento durante esta fase e até ter suas reservas totalmente esgotadas (RENA; MAESTRI, 1986; FREITAS; BARROSO; CARNEIRO, 2008).

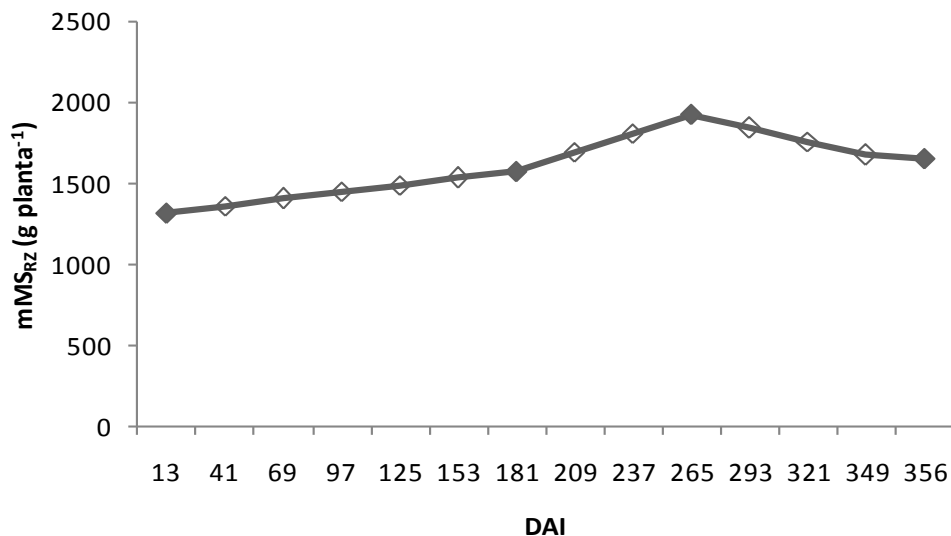


Figura 2.20 – Estimativa da evolução da massa de matéria seca das raízes (mMS_{RZ}) de cafeeiros de 13 a 356 dias após o início (DAI); pontos cheios correspondem a medidas e pontos vazios estimativas

Os dados para análise de CN_{RZ} e Ab_{RZ} foram coletados apenas no início e no final do experimento, pois não foi possível realizar amostragens e repetições deste compartimento, como explicado anteriormente no item Material e Métodos, o que impossibilitou a análise estatística entre os tratamentos. A CN_{RZ} foi crescente e praticamente a mesma para todos os tratamentos, alcançando quase o dobro da concentração ao final do experimento (Figura 2.21). Esse aumento da concentração do N ao longo do ano agrícola sugere que o N das raízes foi pouco utilizado para a formação de flores ou frutos. A QN_{RZ} (Figura 2.22) também foi crescente com o passar

do tempo, porém após a fase final de granação de frutos (DAI 265) até a colheita (DAI 356) tornou-se estável, em razão da queda na quantidade de massa de matéria seca.

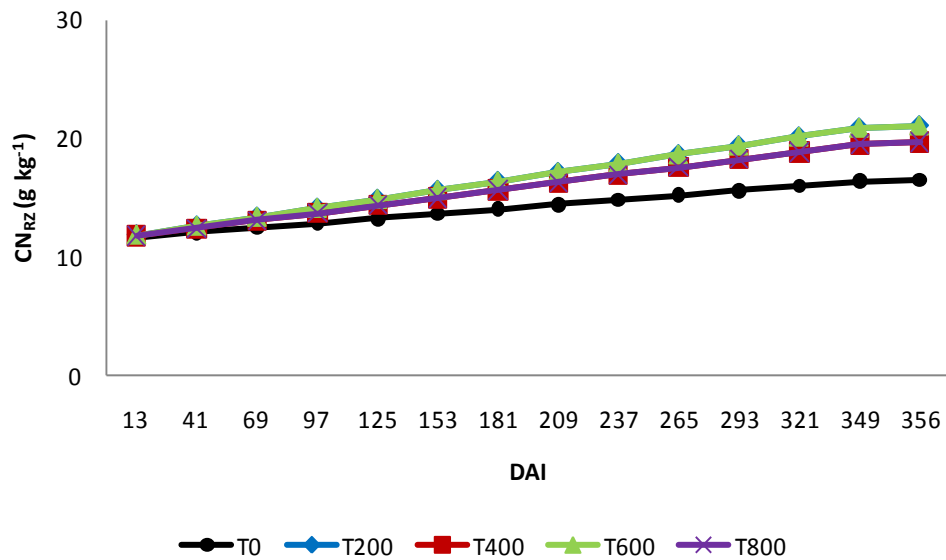


Figura 2.21 – Evolução da concentração de nitrogênio de raízes (CN_{RZ}) de cafeeiros fertirrigados com diferentes doses de nitrogênio na forma de ureia marcada, de 13 a 356 dias após o início (DAI)

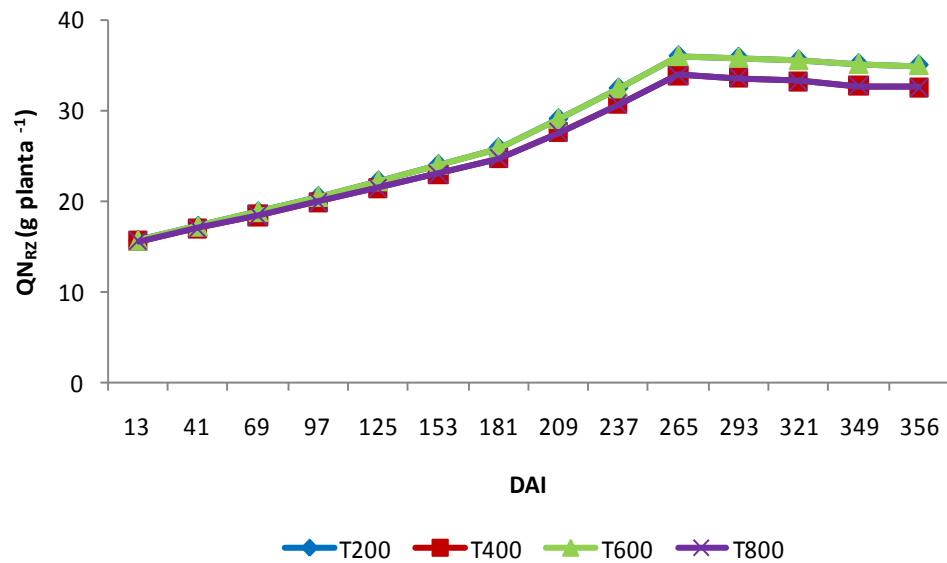


Figura 2.22 – Evolução da quantidade de nitrogênio em raízes (QN_{RZ}) de cafeeiros fertirrigados com diferentes doses de nitrogênio na forma de ureia marcada, a partir de 13 a 356 dias após o início (DAI)

O $Nddf_{RZ}$ e a $QNddf_{RZ}$ não apresentaram o comportamento esperado, que seria o aumento de acordo com o aumento das doses aplicadas. Todos os tratamentos tiveram praticamente a mesma fração de $Nddf_{RZ}$ e $QNddf_{RZ}$ indicando que independente da dose do fertilizante aplicada, a quantidade de N da ureia aproveitada pelas raízes é a mesma (Figuras 2.23 e 2.24).

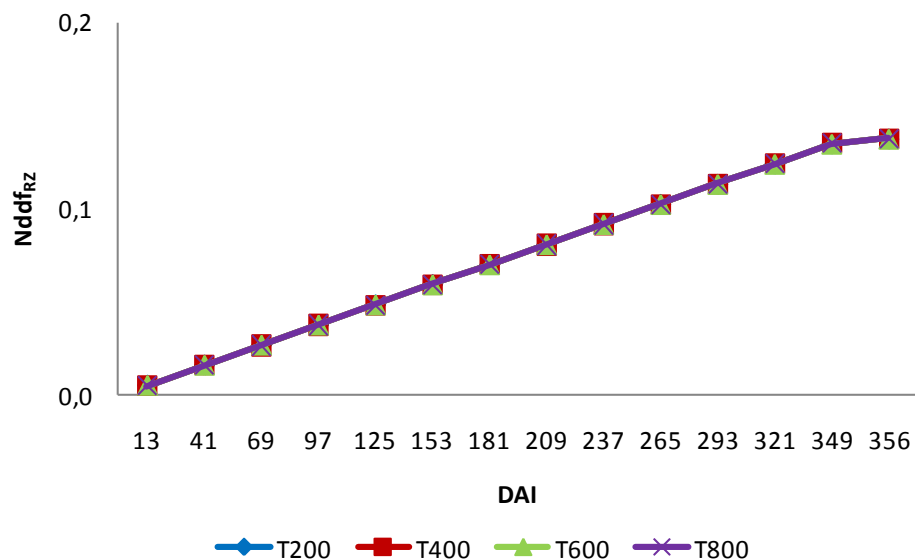


Figura 2.23 - Evolução do nitrogênio derivado do fertilizante em raízes (Nddf_{RZ}) de cafeeiros fertirrigados com diferentes doses de nitrogênio na forma de ureia marcada de 13 a 356 dias após o início (DAI)

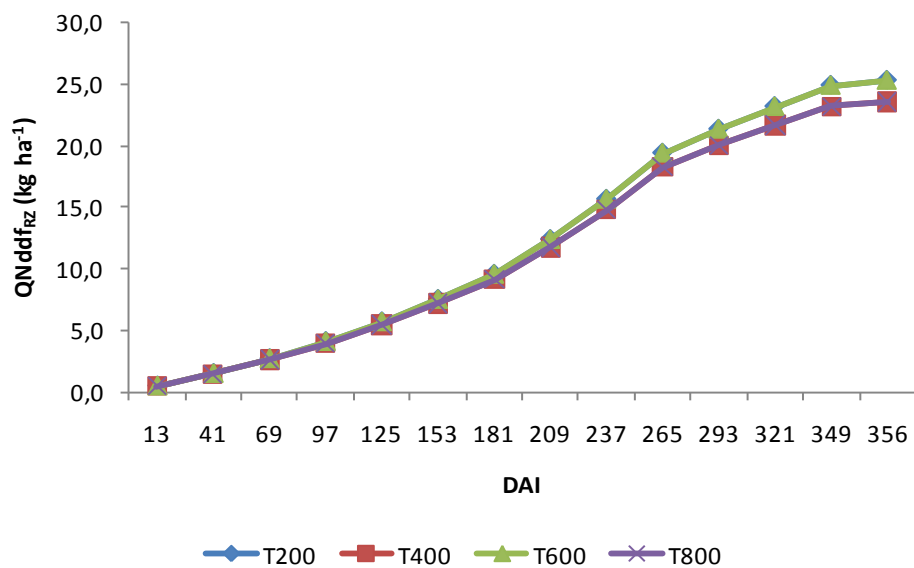


Figura 2.24 – Evolução da quantidade de nitrogênio derivado do fertilizante em raízes (QNddf_{RZ}) de cafeeiros fertirrigados com diferentes doses de nitrogênio na forma de ureia marcada de 13 a 356 dias após o início (DAI)

Como todos os parâmetros analisados (CN_{RZ} , QN_{RZ} , $Nddf_{RZ}$ e $QNddf_{RZ}$) tiveram o mesmo comportamento, variando-se apenas a dose aplicada, é esperado que o melhor tratamento no que se refere à recuperação de N, seja o T_{200} sendo este seguido por T_{400} , T_{600} e T_{800} (Figura 2.25). Vê-se portanto que o sistema radicular não é muito exigente em relação ao N do adubo, provavelmente porque este estava estabelecido já no início do estudo. A recuperação do N do fertilizante pelas raízes foi muito baixa (menos de 10%, exceto para T_{200}), e ao contrário da parte aérea e dos frutos, não apresentou quedas ao longo do ciclo, indicando que esse compartimento aproveita o N das adubações tardias, porém de maneira discreta.

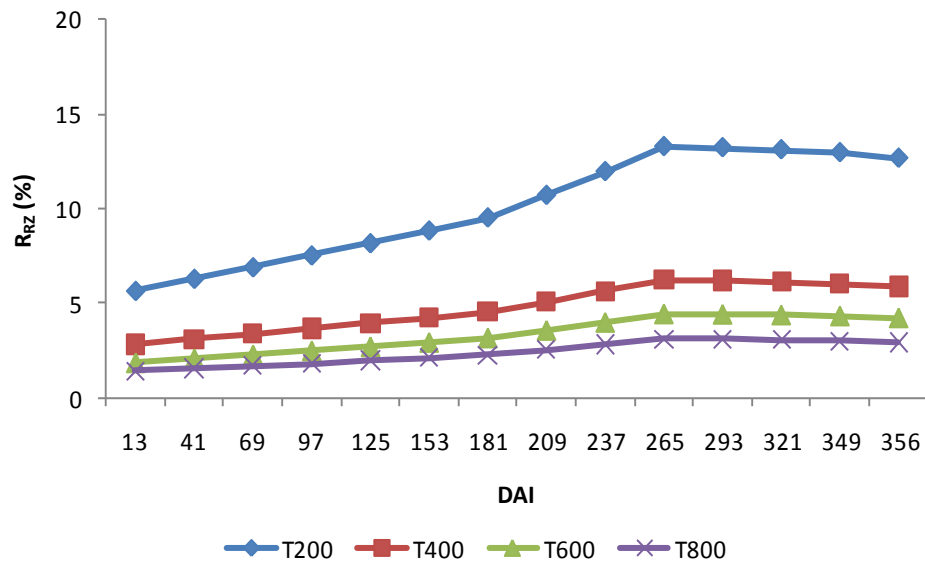


Figura 2.25 – Evolução da recuperação do N do fertilizante pelas raízes (R_{RZ} , %) de cafeeiros fertirrigados com diferentes doses de nitrogênio na forma de ureia marcada de 13 a 356 dias após o início (DAI)

A aplicação de diferentes doses de ^{15}N -ureia não influenciou o aproveitamento do N pelas raízes, provavelmente porque se tratava de plantas adultas. Como a concentração de N aumentou no tempo há indícios de que o N das raízes não foi remobilizado para a parte aérea vegetativa ou reprodutiva, apesar de se desconhecer qual foi o comportamento exato desse nutriente nas raízes pela impossibilidade de amostragem nas datas intermediárias.

2.3.5 Planta Inteira (C_{PI})

A somatória das QNddf e recuperação do N do fertilizante de todos os compartimentos do cafeeiro – caule, ramos, folhas, frutos e raízes – podem ser observadas nas Figuras 2.26 e 2.27, respectivamente.

Ao longo do tempo, a QNddf_{PI} não foi muito diferente entre os tratamentos, ao contrário do que ocorreu com a recuperação de N, que notadamente foi maior para T₂₀₀. Na Figura 2.26 pode ser observado que o fertilizante contribuiu mais para a nutrição nitrogenada do cafeeiro no período de granação dos frutos, entre os DAI 209 e 237, para todos os tratamentos exceto T₈₀₀. O tratamento T₈₀₀ teve o maior aproveitamento do N aplicado no DAI 97, que correspondia à fase chumbinho, não apresentando oscilações a partir deste estágio, evidenciando uma absorção de luxo, que foi alta durante todo o ano agrícola, e portanto, a dose de 800 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N não deve ser recomendada. Ao final do experimento a concentração média de N nas folhas dos cafeeiros submetidos ao tratamento T₈₀₀ era de 3,6%, enquanto os valores considerados adequados por Malavolta (2006) para cafeeiros em plena produção é de 2,7 a 3,2 sendo consideradas excessivas concentrações de N maiores que 3,5. Entre os efeitos indesejados do excesso de N nas plantas está o acúmulo de substratos para o desenvolvimento de patógenos nas células e sua exsudação pelas folhas e raízes favorecendo a multiplicação dos mesmos, menor síntese de compostos que auxiliam na defesa da planta, atraso no amadurecimento e favorecimento da vegetação em detrimento da produção (MALAVOLTA, 1986, 2006).

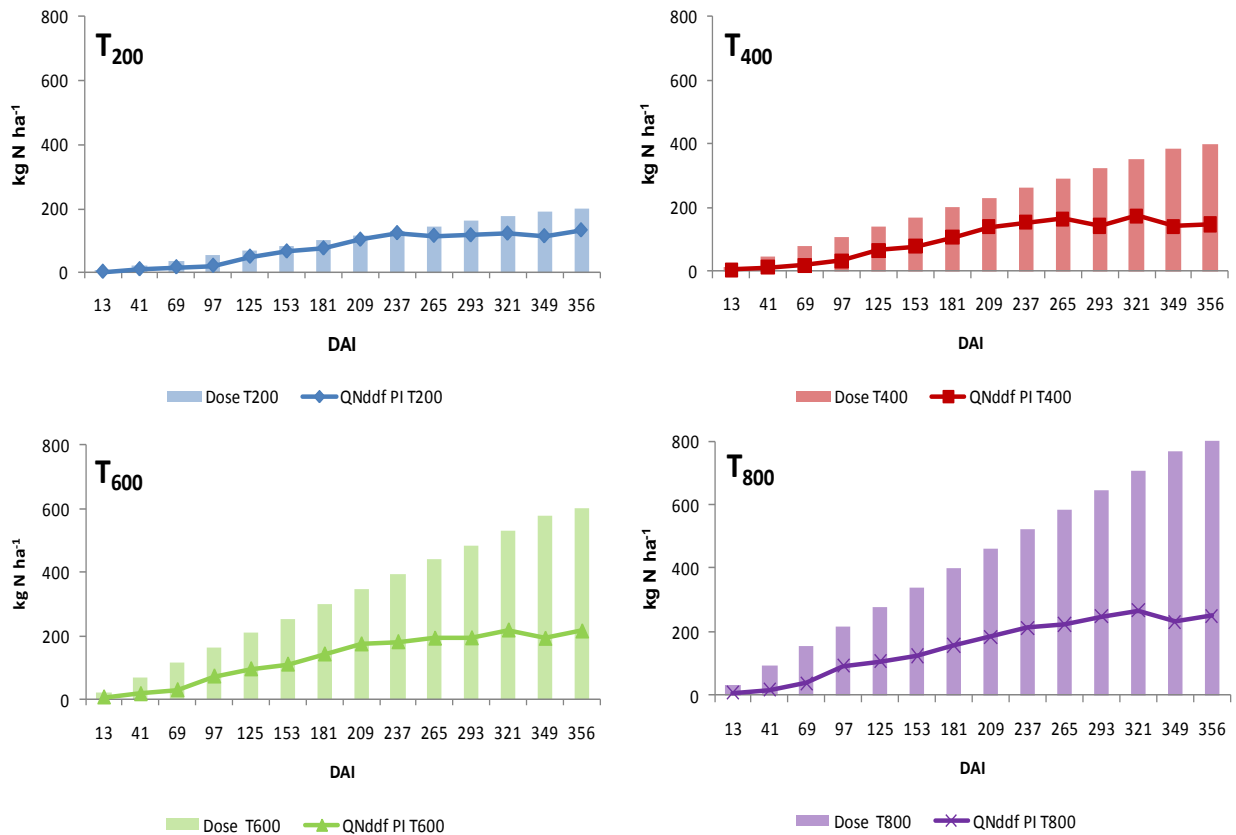


Figura 2.26 - Evolução da quantidade de nitrogênio derivado do fertilizante na planta inteira (QNddf_{PI}) - compartimentos caule, ramos, folhas, frutos e raízes - de cafeeiros fertirrigados com diferentes doses de nitrogênio na forma de ureia marcada, em cada tratamento, de 13 a 356 dias após o início (DAI)

Quando se analisa a eficiência na recuperação de N deve-se levar em conta não apenas a porcentagem do nutriente que foi aplicado e que a planta conseguiu aproveitar, mas também o que pode ser traduzido como colheita. Apesar da recuperação de N pelos cafeeiros submetidos à dose de 200 kg ha⁻¹ ano⁻¹ ter sido a maior, esta dose não é deve ser a recomendada porque poderia levar à diminuição dos estoques de N do solo com consequente perda na produção de grãos em safras futuras, e portanto, a dose de 400 kg ha⁻¹ ano⁻¹ parece ser a mais apropriada, pois pode produzir a mesma quantidade de frutos com menos fertilizante (Figura 2.27). No entanto, devido à complexidade da fisiologia do cafeeiro, o experimento deve ser repetido por mais anos para que essa tendência seja comprovada.

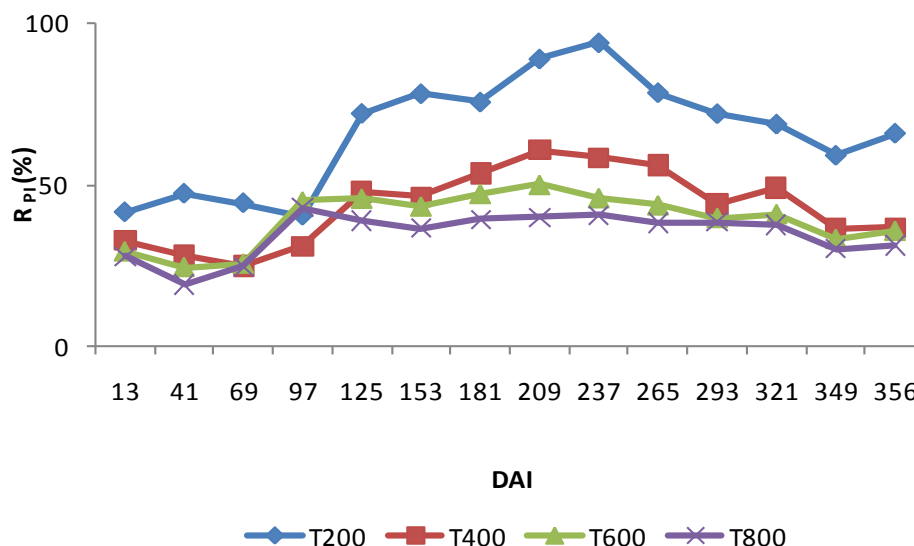


Figura 2.27 – Evolução da recuperação do N do fertilizante pelas plantas de cafeeiros (R_{PI} %) - compartimentos caule, ramos, folhas, frutos e raízes - fertirrigados com diferentes doses de nitrogênio na forma de ureia marcada de 13 a 356 dias após o início (DAI)

2.4 Considerações finais

Em cafeeiros adultos fertirrigados na região do cerrado baiano conclui-se que é possível diminuir a dose de 600 para 400 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N aplicado sem perda de produtividade, e esta última dose deve ser dividida em aplicações que privilegiem a fase anterior a de enchimento de grãos. Levando-se em conta que a fisiologia do cafeeiro é muito complexa, mais estudos de longo prazo são necessários para se recomendar práticas de manejo que visem menores perdas de N para o ambiente.

Referências

AMARAL, J.A.T.; DA MATTA, F.M.; RENA, A.B. Effects of fruiting on the growth of arabica coffee trees as related to carbohydrate and nitrogen status and to nitrate reductase activity. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 66 – 74, 2001.

AMARAL, J.A.T.; RENA, A.B.; AMARAL, J.F.T. Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e sua relação com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p.377-384, 2006.

ARAKATU. Grupo Arakatu Agropecuária. **Localização**: Localização geográfica da Fazenda Morena. Disponível em: <http://www.arakatu.com/local_port.htm>. Acesso em: 8 jun.2010.

BARRETO, C.V.G.; SAKAI, E.; ARRUDA, F.B.; SILVA, E.A.; PIRES, R.C.M. Distribuição espacial do sistema radicular do cafeeiro fertirrigado por gotejamento em Campinas. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 4, p. 641-647, 2006.

BOARETTO, A.E.; SCHIAVINATO NETO, P.; MURAOKA, T.; OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O. Fertilização foliar de nitrogênio para laranjeira em estágio de formação. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 3, p. 621-626, 1999.

BOLOGNA, I. R.; FARONI, C.E.; LANGE, A.; TRIVELIN, P.C.O. Perda de nitrogênio pela parte aérea de plantas de trigo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n. 4, p.1106-1111, 2006.

BUSTAMANTE, C., OCHOA, M.; RODRIGUEZ, M.I. Balance of three N fertilizers sources in a Cuban Oxisol planted with *Coffea arabica* L. **Tropicultura**, Brussel, v. 15, n. 4, p. 169 - 172, 1997.

CAMARGO, A.P. Quantificação da irrigação para a cafeicultura na região de Barreiras, BA. **O Agrônomo**, Campinas, v. 54, n.2, p. 15 – 18, 2002.

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.

CARELLI, M.L.C.; FAHL, J.I.; RAMALHO, J.D.C. Aspects of nitrogen metabolism in coffee plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 18, n. 1, p. 9-21, 2006.

CHAVES, J.C.D. **Manejo do Solo**: Adubação e calagem, antes e após a implantação da lavoura cafeeira. Londrina : IAPAR, 2002. 36 p. (IAPAR. Circular, 120).

COSTA, F.M.P. **Crescimento e desenvolvimento do cafeeiro sob efeito da adubação nitrogenada**. 2006. 80 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2006.

DA MATTA, F.M.; AMARAL, J.A.T.; RENA, A.B. Growth periodicity in trees of *Coffea arabica* L. in relation to nitrogen supply and nitrate reductase activity. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 60, n. 3, p. 223-229, Fev. 1999.

DOURADO-NETO, D.; POWLSON, D.; ABU BAKAR, R.; BACCHI, O. O. S.; BASANTA, M.V.; THI CONG, P.; KEERTHISINGHE, G.; ISMAILI, M.; RAHMAN, S. M.; REICHARDT, K.; SAFWAT, M. S. A.; SANGAKKARA, R.; TIMM, L. C.; WANG, J. Y.; ZAGAL, E.; VAN KESSEL, C. Multiseason Recoveries of Organic and Inorganic Nitrogen-15 in Tropical Cropping Systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 74, n.1, p. 139-152, Jan-fev. 2010.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. SANTOS, H.G. (Ed). 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p.

FARQUHAR, G.; FIRTH, P.M.; WETSELAAR, R.; WEIR, B. On the gaseous exchange of ammonia between leaves and environment: determination of the ammonia compensation point. **Plant Physiology**, Rockville, v. 66, p. 710-714, 1980.

FEIGENBAUM, S.; BIELORAI, H.; ERNER, Y.; DASBERG, S. The fate of ¹⁵N labeled nitrogen applied to mature citrus trees. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 97, n. 2, p. 179-187, Jun. 1987.

FENILLI, T.A.B. **Destino do ¹⁵N do fertilizante em uma cultura de café**. 2006. 116 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2006.

FENILLI, T.A.B.; REICHARDT, K.; DOURADO-NETO, D.; TRIVELIN, P.C.O.; FAVARIN, J.L.; COSTA, F.M.P.; BACCHI, O.O.S. Growth, development and fertilizer 15N recovery by the coffee plant. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 5, p. 152 – 160, Set – out. 2007.

FENILLI T.A.B.; REICHARDT, K.; FAVARIN, J.L.; BACCHI, O.O.S.; SILVA, A.L.S.; TIMM, L.C. Fertilizer (15)N balance in a coffee cropping system: a case study in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1459-1469, 2008.

FRANCO, C.; INFORZATO, R. O sistema radicular do cafeeiro nos principais tipos de solo do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 6, n. 9, p. 443-478, 1946.

FREITAS, T.A.S.; BARROSO, D.G.; CARNEIRO, J.G.A. Dinâmica de raízes de espécies arbóreas: visão da literatura. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p.133-142, 2008.

HÖRTENSTEINER, S.; FELLER, U. Nitrogen metabolism and remobilization during senescence. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, Inorganic Nitrogen Assimilation Special Issue, p. 927–937, Apr. 2002.

KÖPPEN, W. **Grundriss der Klimakunde**. Berlin: Walter D E Guyter, 1931. 390 p.

LAVIOLA, B.G.; MARTINEZ, H.E.P. ; SALOMÃO, L.C.C.; CRUZ, C.D.; MENDONÇA, S.M.; NETO, A.P. Alocação de fotoassimilados em folhas e frutos de cafeeiro cultivado em duas altitudes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.11, p.1521-1530, 2007.

LAVIOLA, B.G.; MARTINEZ, H.E.P.; SALOMÃO, L.C.C.; CRUZ, C.D.; MENDONÇA, S.M.; ROSADO, L. Acúmulo em frutos e variação na concentração foliar de NPK em cafeeiro cultivado em quatro altitudes. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 1, p. 19-31, 2008.

LEA-COX, J.; SYVERTSEN, J.P.; GRAETZ, D.A. Springtime (15) Nitrogen uptake, partitioning, and leaching losses from young bearing Citrus trees of differing nitrogen status. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 126, p. 242-251, 2001.

LIMA FILHO, O.F.; MALAVOLTA, E. Studies on mineral nutrition of the coffee plant (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí Vermelho): LXIV. Remobilization and re-utilization of nitrogen and potassium by normal and deficient plants. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 63, n. 3, p. 481-490, 2003.

MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 1986. p. 165- 274.

_____. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MATIELLO, J.B. Fatores que afetam a produtividade do café no Brasil. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 1986. p. 87-114.

MATTSSON M.; HUSTED, S.; SCHJOERRING, J.K. Influence of nitrogen nutrition and metabolism on ammonia volatilization in plants. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 51, p. 35-40, 1998.

NATALE W., MARCHAL J. Absorption and distribution of (15)N nitrogen in *Citrus mitis* Bl. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.24, n. 1, p. 183-188, Abr. 2002.

QUIÑONES, A.; MARTÍNEZ-ALCÁNTARA, B.; LEGAZ, F. Influence of irrigation system and fertilization management on seasonal distribution of N in the soil profile and on N-uptake by citrus trees. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.122, n. 3, p. 399-409, Abr. 2007.

QUIÑONES, A.; BAÑULS J.; PRIMO-MILLO, E.; LEGAZ, F. Effects of ¹⁵N application frequency on nitrogen uptake efficiency in *Citrus* trees, **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 160, n. 12, p. 1429-1434, 2003.

_____. Recovery of the ¹⁵N-labelled fertilizer in citrus trees in relation with timing of application and irrigation system. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 268, n. 1, p. 367-376, Jan. 2005.

RAIJ, B. van; , CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Fundação IAC, 1996. 285 p.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S. Isotopes in soil and plant investigations. In: HILLEL, D. (Ed) **Encyclopedia of Soils and the environment**, Amsterdam, 2004. v. 1, p. 280-284.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004. 478 p.

REICHARDT, K.; SILVA, A.L.; FENILLI, T.A.B.; TIMM, L.C.; BRUNO, I.P.; VOLPE, C. A. Relation between nitrogen fertilization and water soil conditions for a coffee plantation from Piracicaba, SP. **Coffee Science**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 41-55, Jan./June 2009.

RENA, A.B. A água na fisiologia do cafeeiro. In: SIMPÓSIO ESTADUAL DO CAFÉ,3., 1998, Vitória. **Palestras, painéis e debates...** Vitória: CETCAF, 1998. p. 132-152.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1986. p. 13-86.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª. Aproximação.** Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

SANZONOWICZ, C.; TOLEDO, P.M.R.; SAMPAIO, J.B.R.; GUERRA, F.A.; SILVA, D.T.M. **Adubação nitrogenada em café decotado num Latossolo de Cerrado.** Planaltina: Embrapa, Embrapa Cerrados, 2003. 15 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Cerrados).

SOARES, A. R.; MANTOVANI, E.C.; SOARES, A.A.; BATISTA, R.O.; COELHO, M.B.; RENA, A.B. Produção e distribuição de raízes em cafeeiros irrigados por gotejamento. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 15, n. 2, p. 130-140, Abr-jun. 2007.

STATSOFT INC. **Statística v 8.0.** Tulsa, 2004.1 CD-ROM.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA. **Estatística dos municípios baianos.** Salvador: SEI, 2009. v. 3, 270 p.

SYSTAT. **Table Curve 2D.** San Jose, CA, 2002. 1 CD-ROM.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** Tradução de SANTARÉM, E.R. et al. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

VALARINI, V.; BATAGLIA, O.C.; FAZUOLI, L.C. Macronutrientes em folhas e frutos de cultivares de café arábica de porte baixo. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 4, p.661-672, 2005.

3 EFICIÊNCIA DA ABSORÇÃO DO NITROGÊNIO DO FERTILIZANTE POR CAFEEIROS FERTIRRIGADOS: BALANÇO FINAL DE N

Resumo

A expansão da fronteira agrícola no Brasil tem alcançado nas últimas décadas o cerrado baiano aonde várias culturas vêm sendo implantadas com êxito, entre elas a do cafeeiro. Por apresentar condições edafo-climáticas diferentes das zonas cafeeiras tradicionais, adaptações são necessárias para um manejo eficiente da lavoura. Um dos principais problemas dessa nova área diz respeito à adubação nitrogenada, que vem sendo aplicada em altas doses e sem embasamento científico. Apesar da aplicação de N ser geralmente feita via fertirrigação e em várias parcelas, as altas doses e intensidade de irrigação podem levar a expressivas perdas, principalmente via lixiviação. Para estudar a eficiência da adubação nitrogenada nas condições descritas acima, foi conduzido um experimento durante a safra 2008/2009 em um cafezal de 7-8 anos de idade e em plena produção, com as seguintes doses de N: 200, 400, 600 e 800 kg ha⁻¹ de N, além da testemunha sem adubação nitrogenada. Foi utilizada a solução de ureia enriquecida em 1,035% em átomos de ¹⁵N, sendo cada dose dividida em 26 parcelas iguais e aplicadas a cada quatorze dias via fertirrigação. A concentração de N e o conteúdo de ¹⁵N nos diferentes compartimentos do sistema solo planta foram usados para se fazer o balanço do nutriente no momento da colheita. Com o resultado do balanço de N observou-se a seguinte recuperação para cada dose e compartimento: 1. 200 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N = 75% do N na planta, 24% nas reservas e 1% perdido para o ambiente; 2. 400 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N = 41% do N na planta, 24% nas reservas e 35% perdido para o ambiente; 3. 600 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N = 46% do N na planta, 29% nas reservas e 25% perdido para o ambiente; 4. 800 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N = 29% do N na planta, 31% nas reservas e 40% perdido para o ambiente. Concluiu-se que é possível diminuir a dose de N comumente usada de 600 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N para 400 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N sem diminuição na produção de café, mas essa tendência deve ser confirmada por mais anos de estudo.

Palavras-chave: Balanço de N; Recuperação de N; Perdas de N

Abstract

The expansion of the agricultural frontier in Brazil has reached in recent decades the savannah plains or “cerrado” of the Bahia State where various crops have been established successfully, including coffee. By presenting different weather and soil conditions in relation to the traditional coffee growing region, adaptations are necessary for an efficient plantation management. One of the main problems of this new area concerns the nitrogen fertilization, which has been applied in high doses and without scientific basis. Because the application of N is usually done in these new areas using

fertigation performed in several portions over the whole year, the high doses and intense irrigation can lead to expressive losses, mainly via leaching. To study the efficiency of nitrogen fertilization under these conditions, an experiment was conducted during the agricultural year 2008/2009 in a 7-8 year old coffee plantation, in full production, applying the following doses of N: 200, 400, 600 and 800 kg ha⁻¹ of N and the control without N, in the form of labeled urea enriched to 1.035% atoms of ¹⁵N. Applications were made in aqueous solution, with each dose divided into 26 equal portions and applied every fourteen days by simulated fertigation. The N concentration and the ¹⁵N contents in different compartments of soil-plant system were used to make the nutrient balance at harvest time. This fertilizer N balance presented the following recoveries for each dose: 1. for 200 kg ha⁻¹ year⁻¹ of N, 75% of N in the plant, 24% in stocks and 1% lost to the environment; 2. for 400 kg ha⁻¹ year⁻¹ of N, 41% of N in the plant, 24% in stocks and 35% lost to the environment; 3. for 600 kg ha⁻¹ year⁻¹ of N, 46% of N in the plant, 29% in stocks and 25% lost to the environment; 4. for 800 kg ha⁻¹ year⁻¹ of N = 29% of N in the plant, 31% in stocks and 40% lost to the environment. It was concluded that is possible to decrease the 600 kg ha⁻¹ year⁻¹ dosage of N commonly used for 400 kg ha⁻¹ year⁻¹ of N without decrease in coffee production, but this tendency should be confirmed by more years of study.

Keywords: N balance, N recovery, N loss

3.1 Introdução

A cafeicultura brasileira vem avançando nos últimos anos para a região do oeste da Bahia o que tem demandado técnicas de manejo adaptadas a estas novas condições. A adubação nitrogenada tem sido realizada em doses muito acima daquelas praticadas nas zonas tradicionais de cultivo do café, como São Paulo e Minas Gerais, sem estudos prévios sobre sua eficiência. Devido ao relevo plano e à abundância de água do oeste baiano, a fertirrigação por pivôs centrais é muito utilizada, o que possibilita o amplo parcelamento da adubação e o melhor aproveitamento do adubo pela planta. No entanto, a alta intensidade de irrigação associadas às altas doses de N pode estar levando a consideráveis perdas para o ambiente, principalmente em solos arenosos como os daquela região.

Neste contexto, surge o questionamento sobre a eficiência da adubação nitrogenada praticada em cafezais do oeste da Bahia, e a técnica considerada mais apropriada para esta investigação é a do traçador isotópico, que utiliza fertilizante marcado com o isótopo ¹⁵N. A utilização desta técnica é bastante difícil em culturas

perenes adultas no campo devido à complexidade na avaliação da massa de matéria seca, e também ao custo elevado resultante da maior quantidade de fertilizante marcado requerida. Entre os poucos trabalhos que utilizaram essa técnica em plantas perenes adultas no campo estão os de Feigenbaum et al. (1987) e Mattos-Júnior, Graetz e Alva (2003) com citrus, e Nario et al. (2003) com pessegueiro. O único estudo utilizando esta técnica em cafeeiro no campo foi realizado no estado de São Paulo, porém em plantas jovens adubadas com sulfato de amônio enriquecido com isótopo ^{15}N nas doses de 280 e 350 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, em duas parcelas, em dois anos consecutivos, recuperando-se 34 e 29% do N aplicado, respectivamente no primeiro e segundo ano (FENILLI, 2006; FENILLI et al., 2007a, 2007b, 2007c, 2008; REICHARDT et al. 2009).

Devido à necessidade de maior entendimento sobre o comportamento do N em cafezais nas condições do cerrado do oeste baiano, este estudo visa através de um balanço do N verificar a eficiência do uso da adubação nitrogenada ao final de um ano de cultivo, utilizando-se a ureia enriquecida com o isótopo ^{15}N em diferentes doses aplicada via fertirrigação parcelada. Por meio deste estudo será possível indicar a dose de N ideal para ser aplicada nas condições do oeste baiano, bem como observar em quais doses ocorrem as maiores perdas de N para o ambiente.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Descrição da área experimental

A parte experimental do projeto foi conduzida em campo iniciando-se em 1º de agosto de 2008 e com término em 24 de julho de 2009 na Fazenda Morena, Barreiras – BA, mesmo local descrito no capítulo anterior. O experimento foi composto de 20 parcelas experimentais com 5 tratamentos e 4 repetições, em que cada repetição correspondia a uma parcela com três plantas que receberam a ^{15}N -ureia, mas somente a planta central de cada parcela foi utilizada para amostragem. Os tratamentos foram: T₀ = Testemunha sem adubação nitrogenada; T₂₀₀ = 200 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N; T₄₀₀ = 400 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N; T₆₀₀ = 600 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N; T₈₀₀ = 800 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N. Cada dose foi dividida em 26 parcelas iguais, aplicadas a cada 14 dias até uma semana antes

da colheita dos frutos no estágio cereja. O experimento foi montado no quarto círculo de cafeeiros (do centro para as bordas do pivô) com 129 m de comprimento com 258 cafeeiros dispostos em renque. Do total dos cafeeiros, 60 receberam fertilizante marcado e 198 serviram de bordadura entre as parcelas, que foram distribuídas inteiramente ao acaso ao longo do círculo, como apresentado na Figura 2.1 do capítulo anterior.

Detalhes de localização, classificação climática, tipo de solo, análises físicas e químicas do solo, espécie de cafeeiro utilizada, manejo de irrigação, tratos culturais e aplicação da ureia marcada com o isótopo ^{15}N podem ser encontrados no item 2.2 do capítulo 2. Os estádios fenológicos correspondentes aos diferentes 'dias após o início' (DAI), utilizados como coordenada de tempo e para indicar as datas das coletas no decorrer do experimento, podem ser visualizados na Tabela 2.5 do capítulo 2.

3.2.2 Amostragem, preparo e análise de material

Foram feitas amostragens para determinação da massa de matéria seca (mMS), concentração de nitrogênio (CN) e abundância em ^{15}N (Ab), em cada um dos seguintes compartimentos C_i : $i = 1$, folhas (C_{FO}); $i = 2$, ramos plagiogeotrópicos ou simplesmente ramos (C_{RM}); $i = 3$, ramo ortogeotrópico ou caule (C_{CA}); $i = 4$, frutos (C_{FR}); $i = 5$, sistema radicular (C_{RZ}); $i = 6$, serrapilheira (C_{SE}); $i = 7$, solo (C_{SL}); $i = 8$, solução lixiviada (C_{LX}); e o que não foi avaliado denominou-se de $i = 9$, outras perdas (C_{OP}).

Para melhor entendimento dentro do balanço final de N os compartimentos acima foram agrupados como: cafeeiro (C_{FO} , C_{RM} , C_{CA} , C_{FR} , C_{RZ}), reservas (C_{SE} , C_{SL}) e perdas (C_{LX} , C_{OP}).

Coletas para medidas de massa de cada compartimento

Com o intuito de obter a massa de cada compartimento para realizar os cálculos necessários para se calcular a quantidade de N derivado do fertilizante nas diferentes partes do sistema solo-planta, foram feitas medidas como descrito a seguir.

Cafeeiro

As amostragens da mMS para C_{FO} foram feitas em apenas uma planta de cada tratamento, sem repetições, aos 356 DAI, enquanto para as medidas dos C_{RM} , C_{CA} e

C_{RZ} foram utilizadas as médias aritméticas da mMS de 4 plantas amostradas, fora da linha experimental. No presente estudo, baseando-se no fato de se tratar de plantas adultas (7 a 8 anos de idade), pode-se considerar que o aumento de mMS é mínimo em termos de ramos, caule e sistema radicular. Os cafeeiros sofreram podas anuais além da autopoda, o que fez com que as mMS dos C_{RM} , C_{CA} e C_{RZ} fossem pouco variáveis em um ano e contribuindo para seu aumento no C_{SE} . As raízes foram retiradas com o auxílio de jato d'água, do perfil de 0 a 1,0 m de profundidade onde se verificou na trincheira que esta camada continha a quase totalidade do sistema radicular. Todo o material coletado foi seco ao ar por uma semana, e em seguida enviado para secagem em estufa com ventilação forçada, a 60 °C até peso constante.

Aos 356 DAI foi realizada a colheita dos frutos de cada parcela de todos os tratamentos para análise da produção de matéria seca (mMS_{FR}) e da produção do café beneficiado. Para a determinação da mMS_{FR} foi medida a massa fresca em litros de cada parcela para todos os tratamentos, sendo logo após coletado um litro de cada parcela que foi exposto para a secagem ao ar por 7 dias em terreiro de café, seguindo então para estufa com ventilação forçada a 60 °C até peso constante, calculando-se a partir dessa massa de um litro a mMS_{FR} de cada parcela de todos os tratamentos. O restante dos frutos foi encaminhado para o processamento via seca (café natural), e sua massa seca pesada, passando então a denominar-se massa de matéria seca do fruto beneficiado (mMS_{FRB}), o qual foi considerado para fins de discussão de produtividade do C_{FR} . Após o final do primeiro ano agrícola (2008/2009) as mesmas doses e parcelamentos do adubo continuaram a ser aplicadas nas correspondentes parcelas do experimento com ureia não enriquecida, durante o ano agrícola subsequente (2009/2010), até uma semana antes da colheita em 24 de julho de 2010 (721 DAI). Isto foi feito para assegurar que duas colheitas, sob as diferentes doses, fossem realizadas, já que o cafeeiro é uma planta com fisiologia complexa, cuja adubação realizada no ano agrícola anterior se reflete na safra seguinte. O cafeeiro apresenta bienalidade, alternando ciclos de alta e baixa produção, e neste caso a safra 2008/2009 apresentou alta produção e a de 2009/2010 baixa produção.

Reservas

A amostragem do C_{SE} foi realizada aos 356 DAI em cada uma das parcelas dos diferentes tratamentos. No início do experimento, aos 0 DAI, tomou-se o cuidado de se remover toda a serrapilheira existente, de modo que o acúmulo de folhas abaixo do dossel correspondesse somente ao ano agrícola 2008/2009. O material foi inicialmente seco ao ar, e depois de uma semana foi levado para estufa com ventilação forçada a 60° C até peso constante, quando a massa seca de cada parcela foi anotada.

O cálculo da mMS_{SL} de cada parcela até 1,0 m de profundidade foi feito a partir do produto da profundidade de cada camada de 0,2 m, da área efetiva de 75% da área ocupada por uma planta no espaçamento de 3,8 m x 0,5 m (1,425 m²), e da densidade do solo. O cafeeiro não ocupa 100% da área de 1,9 m² devido ao grande espaçamento entre linhas (3,8 m²) e ao cultivo realizado que prejudica o avanço lateral das raízes, sendo a área efetivamente ocupada por uma planta de aproximadamente 75% da área total, ou seja, 1,425 m². Além disso, como o espaçamento na linha é pequeno (0,5 m²) o sistema radicular dos cafeeiros marcados avança para áreas de plantas vizinhas assim como tem sua área ocupada pelo sistema radicular destas mesmas plantas. Estando o solo intrinsecamente ligado ao sistema radicular, o mesmo raciocínio também é válido para este compartimento.

Para a análise de densidade do solo no DAI 356, foram retiradas amostras a cada 0,2 m até atingir 1,0 m de profundidade de apenas uma parcela por tratamento. A densidade do solo foi determinada pelo método do torrão parafinado como descrito em Reichardt e Timm (2004), e os resultados podem ser observados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Densidade do solo (kg m⁻³) a cada 0,2 m até 1 m de profundidade em área de cafeeiros fertirrigados com ureia marcada, coletado no DAI 356

Camadas (m)	Densidade do solo (kg m ⁻³)
0 - 0,2	1790
0,2 - 0,4	1570
0,4 - 0,6	1530
0,6 - 0,8	1520
0,8 - 1,0	1500

Para o cálculo da massa de solo até 1m de profundidade considerou-se o somatório das massas das 5 camadas de solo, como mostram as equações 3.1 e 3.2.

$$mMS_c = 0,2 \cdot ae \cdot ds \quad (1)$$

Onde mMS_c é a massa de matéria seca de cada camada de 0,2 m; $0,2 = 0,2$ m de profundidade; ae = área efetiva de $1,425 \text{ m}^2$; ds = densidade do solo.

$$mMS_{SL} = \sum mMS_c \quad (2)$$

Onde mMS_{SL} é a massa de matéria seca do perfil de solo até 1,0 m de profundidade e mMS_c é a massa de matéria seca de cada camada $c = 0,2$ m.

Desse modo, apenas um valor de mMS_{SL} foi obtido, sendo este igual a $2254,4 \text{ kg}$ de solo planta⁻¹, e este foi usado nos cálculos de quantidade de nitrogênio derivado do fertilizado para todos os tratamentos.

Perdas

A lixiviação de nitrato total (NO_3^-) e quantidade de N derivado do fertilizante na solução lixiviada (QNddf_{LX}) nos tratamentos T_{400} e T_{800} foi medida através da densidade de fluxos de água, da concentração de nitrato e abundância de ^{15}N na solução do solo.

Os fluxos de água até a profundidade de 1,0 m foram medidos através do programa de balanço hídrico climatológico desenvolvido por Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998), utilizando a capacidade máxima de água disponível (CAD) de 84 mm calculada através da curva de retenção de água no solo, e cujo procedimento detalhado pode ser encontrado em Bortolotto et al. ⁵ (em fase de elaboração). Como a área possui declividade praticamente nula considerou-se não haver escoamento superficial, e todo o excesso apontado pelo balanço hídrico climatológico foi considerado como água drenada. Para o cálculo da massa total de solução lixiviada durante todo o período considerou-se que a lixiviação de 1 mm correspondia a 1 kg/m^2 (densidade da água = 1), e que a área ocupada por uma planta era de $1,425 \text{ m}^2$, como explicado

⁵ Bortolotto R. P. et al. (2010) (Universidade de São Paulo). **Perdas de nitrogênio por lixiviação em café fertirrigado no oeste baiano.**

anteriormente. A somatória da quantidade de solução drenada durante todo o período foi de 1010 mm, corresponde a 1010 L por m², abaixo da profundidade de 1 m, assumindo-se que a camada de 1 m de profundidade continha pelo menos 95% do sistema radicular, como explicado anteriormente. Portanto, no ano agrícola de 2008/2009 a quantidade de água perdida por lixiviação foi de 1440 kg de solução do solo por planta, valor este utilizado para os cálculos da quantidade de N derivado do fertilizante no compartimento da solução lixiviada.

Coletas para análise da concentração de N e abundância de ¹⁵N

Para a obtenção dos valores de N derivado do fertilizante, além dos dados de matéria seca, são essenciais os dados de CN e Ab, que foram coletados em cada compartimento como explicado a seguir.

Cafeeiro

No DAI 356 foram feitas coletas de amostras de folhas (6 folhas totalmente expandidas em cada terço da planta – superior, médio e inferior, em todas as parcelas de cada tratamento), ramos (de uma parcela de cada tratamento), caule (de uma parcela de cada tratamento), sistema radicular (retiradas amostras com auxílio de um trado em todas as parcelas de cada tratamento) e frutos (coletados da mesma forma que as folhas). Todas as amostras foram levadas para estufa com ventilação forçada a 60° C até peso constante, e depois de secas foram moídas separadamente em moinho tipo 'Wiley', homogeneizadas para retirada de subamostras de 5 a 10 µg, acondicionadas em cápsulas de estanho e enviadas para análise de CN e Ab.

A metodologia detalhada de coleta em cada compartimento para as análises de CN e Ab em cada compartimento pode ser encontrada no item 2.2.3 do capítulo 2.

Reservas

Da mesma serrapilheira coletada para determinação da mMS aos 356 DAI, foi retirada uma subamostra de cada parcela, que foi seca em estufa ventilada a 60° C até peso constante, moída separadamente em moinho tipo 'Wiley', e pesada alíquota de 5 a 10 µg, que foi acondicionada em cápsulas de estanho e enviadas para análise de CN_{SE} e Ab_{SE}.

Também aos 356 DAI foram realizadas as coletas de amostras do solo de aproximadamente 500 g de solo seco, em uma parcela de cada tratamento a cada 0,2 m até 1m de profundidade para a realização das análises de CN_{SL} e Ab_{SL} . As amostras de solo de cada camada e de cada tratamentos foram secas ao ar, peneiradas para separação do sistema radicular, homogeneizadas e retiradas subamostras, que foram então processadas individualmente em moinho do tipo bola. Dessas subamostras foram retiradas alíquotas representativas de 5 a 10 μ g que foram acondicionadas em cápsulas de estanho e enviadas para análise de CN_{SL} e Ab_{SL} em espectrômetro de massa. Para fins de balanço utilizou-se os valores médios para a camada de 1m de profundidade.

Perdas

Para estimar a quantidade do N derivado do fertilizante perdido por lixiviação e sua recuperação na solução do solo em cada mês, foram instalados 12 extratores de solução do solo à vácuo, à 1,0 m a partir da superfície do solo, para coleta de amostras que serviram para análise de CN_{LX} e Ab_{LX} . Entende-se aqui como lixiviado todo o nitrogênio presente na solução de solo que ultrapassou a profundidade de 1,0 m, que por conter aproximadamente 95% do sistema radicular do cafeeiro, não está passível de ser absorvido pela planta. Devido a impedimentos financeiros e ao grande volume das amostras a serem armazenadas antes das análises, os extratores foram colocados apenas nas parcelas correspondentes aos tratamentos T_{400} e T_{800} , e as estimativas dos resultados para os tratamentos T_{200} e T_{600} foram obtidos por uma regressão feita com o auxílio do software Table curve (SYSTAT, 2002), onde a equação que mais se ajustou (maior R^2) foi utilizada. As coletas de solução lixiviada para análise de CN e Ab foram realizadas a partir de novembro de 2008 até o final do experimento. Inicialmente a solução lixiviada seria coletada apenas no período das chuvas (novembro a março), mas como foi observado que era possível a extração de solução do solo também nos períodos sem chuva, devido à intensa irrigação, o período foi estendido até o final do experimento. Os extratores eram submetidos à vácuo no início da manhã (6h) e a solução coletada no final da tarde (18h), em dias escolhidos aleatoriamente, de acordo com a disponibilidade de pessoal de campo, sendo realizada ao menos uma coleta mensal. Após a coleta, as amostras compostas por todas as repetições de cada tratamento em determinado dia eram colocadas em caixas de isopor com gelo e

encaminhadas para o congelamento em freezer, onde permaneciam até o momento das análises (BOARETTO et al., 2004; SPOLIDORIO, 1999). Foi escolhida a análise de amostras compostas diárias para se garantir que cada amostra tivesse pelo menos 100 µg de N, pois para realizar a análise de CN_{LX} e Ab_{LX} no espectrômetro de massa essa quantidade mínima de N é necessária.

As amostras de solução do solo foram primeiramente submetidas à análise de concentração de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) pelo método de análise química por injeção de fluxo (Flow Injection Analysis – FIA) com detecção por eletrodos íons-seletivo, e detalhes da metodologia podem ser encontrados em Reis (1996). Os resultados da concentração de NO_3^- e NH_4^+ obtidos por esta metodologia correspondem à mg de nitrato (ou amônio) por litro de solução. Estes dados foram transformados em kg de N por kg de solução, considerando sua densidade igual à 1000 kg m^{-3} . Como o NH_4^+ estava abaixo do nível de detecção considerou-se apenas o NO_3^- como solução lixiviada.

Para as análises de Ab_{LX} e CN_{LX} pelo espectrômetro de massa, foi feita primeiramente a concentração das amostras da solução lixiviada pelo método da microdifusão, desenvolvido por Sorensen e Jensen (1991). Esse método consiste basicamente em concentrar todo o N existente na amostra em filtros de fibra de vidro (Whatman GF/A 47mm) acidificados com 10 µL de solução de sulfato ácido de potássio 2,5M, envolvidos por fita de politetrafluoretileno vedada em suas bordas, a qual é utilizada pois é impermeável à água e permeável à amônia. Em recipiente plástico contendo um volume da amostra (com aproximadamente 100 µg de N, como citado anteriormente) adicionou-se um volume de água deionizada atingindo o total de 50 mL, óxido de Mg calcinado (para alcalinizar o meio e converter o NH_4^+ em NH_3) e liga de Devarda (para reduzir o NO_3^- e o NO_2^- a NH_3), e por último os filtros são colocados. Os recipientes foram fechados e submetidos a uma agitação de 48 horas em ambiente escuro para que não haja o desenvolvimento de organismos capazes de consumir o nitrogênio existente na solução. Durante essa etapa, toda amônia formada difundiu-se através da membrana de politetrafluoretileno e foi retida no filtro. Após a agitação as fitas foram postas em dessecador por 48h, e depois em cápsulas de estanho e enviados para determinação de CN_{LX} e Ab_{LX} no espectrômetro de massa.

Outras perdas que não foram possíveis de serem medidas durante o experimento foram calculadas no fechamento do balanço através da diferença entre a quantidade de N que foi aplicada e a que foi encontrada em todos os compartimentos. Essas perdas correspondem à volatilização de N da solução de ureia durante a aplicação, perdas de N pelo solo e pela parte aérea das plantas, além de erros experimentais.

3.2.3 Cálculos e análise estatística

Os cálculos da quantidade de N total (QN , g planta⁻¹ ou kg ha⁻¹), fração do N derivado do fertilizante ($Nddf$), quantidade do N derivado do fertilizante ($QNddf$, g planta⁻¹ ou kg ha⁻¹) e recuperação do N aplicado (R , %) foram feitos em cada compartimento segundo as equações 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4 do capítulo 2, respectivamente. A quantidade do N total derivado do solo ($QNdds$, g planta⁻¹ ou kg ha⁻¹), foi calculada de acordo com equação 3.3.

$$QNdfs_{i,j} = QN_{i,j} - QNddf_{i,j} \quad (3.3)$$

Para comparação dos grupos utilizou-se análise de variância de uma via, e quando esta foi significativa aplicou-se o teste de comparação de médias LSD de Fischer ($P= 0,05$), usando o programa Statistica (STATSOFT INC, 2004).

3.2.4 Dados Meteorológicos e balanço hídrico

Durante o experimento foram coletados mensalmente dados de uma estação meteorológica automática, localizada nas proximidades do experimento, os quais são apresentados na Tabela 3.2. Com destes dados foi feito um detalhado balanço hídrico climatológico do local do experimento usando o programa desenvolvido por Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998), e estudado em maiores detalhes por Bortolotto et al.⁶ (em fase de elaboração). Um resumo deste balanço também está apresentado na Tabela 3.2.

⁶ Bortolotto R. P. et al. (2010) (Universidade de São Paulo). **Perdas de nitrogênio por lixiviação em café fertirrigado no oeste baiano**

Tabela 3.2 - Dados mensais de agosto de 2008 a julho de 2009 de temperatura média do ar (T), umidade relativa média do ar (UR), radiação solar líquida média (Rn), velocidade média do vento (V), precipitação total (P), precipitação total somada à irrigação total (P+I), drenagem total abaixo de 1,0 m de profundidade (Q), e evapotranspiração total pelo método de Penman-Montheith para um cafezal fertirrigados

Mês/Ano	T	U.R.	Rn	V	P	P+I	Q	ETR
	°C	%	MJ.m ⁻² .dia ⁻¹	m.s ⁻¹	mm	(mm)	(mm)	(mm)
Ago/08	24	42,4	10,2	1,6	0,0	118	8	136
Set/08	26,4	49,5	10,4	1,9	31,5	160	0	135
Out/08	28,5	36,1	11,8	2,2	0,0	140	0	178
Nov/08	26,8	70,8	7,8	1,5	314,5	384	245	100
Dez/08	25,3	76,3	9,7	1,4	195,0	217	132	102
Jan/09	25,4	76,6	10,7	1,3	230,0	256	140	111
Fev/09	25,5	77,5	10,2	1,1	185,5	197	89	96
Mar/09	25,7	76,3	9,7	1,0	350,5	358	258	100
Abr/09	24,7	83,5	7,9	0,9	108,5	135	57	78
Mai/09	23,7	78,1	8,0	1,0	67,0	115	59	78
Jun/09	22,6	76,2	8,4	0,9	52,5	99	22	79
Jul/09	22,2	69,9	9,3	1,1	0,0	52	0	78
Anual	25,1	67,8	9,5	1,3	1535	2232	1011	1270

3.3 Resultados e discussão

3.3.1 Produção final de massa de matéria seca

A distribuição média da massa de matéria seca nos diferentes compartimentos do cafeeiro aos 356 DAI está apresentada na Figura 3.1. A massa de matéria seca da planta inteira foi de mais de 42.000 kg ha⁻¹, sendo que a parte aérea correspondia a 80% desse total, com aproximadamente 33.600 kg ha⁻¹. Ao final do ano agrícola o C_{CA} foi o que mais contribuiu para a massa do cafeeiro com 36% da mMS da planta inteira, seguido pelo C_{RZ} com 20%, C_{FR} com 19%, C_{RM} com 15% e C_{FO} com 10%.

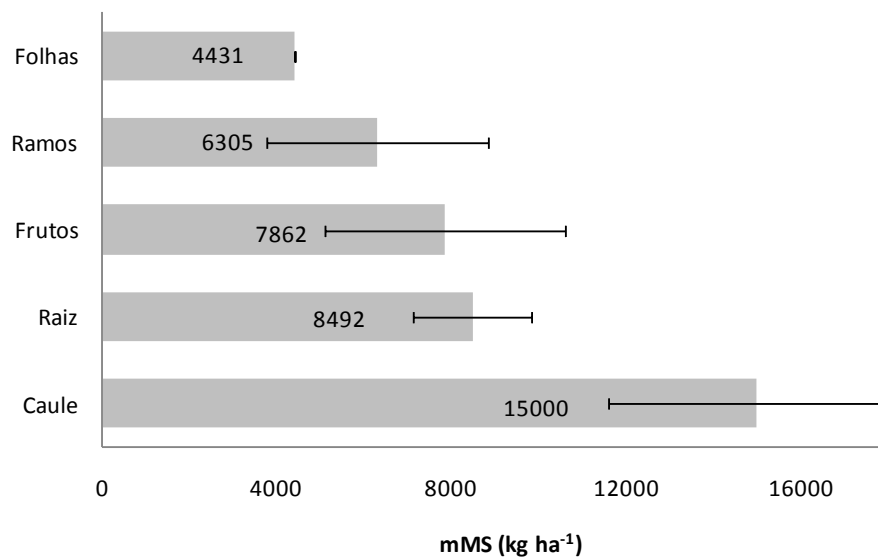


Figura 3.1 – Média da massa de matéria seca (mMS) de cada compartimento de cafeeiros fertirrigados com ¹⁵N-ureia, aos 356 dias após o início para todos os tratamentos. Os números no interior das colunas são os valores médios de mMS de cada compartimento, e as barras representam os desvios-padrão de quatro repetições

O valor médio da mMS_{PA} foi bastante superior à média apresentada por Cietto, Haag e Dechen (1991) para parte aérea de cafeeiros de 5 anos de idade ($15.700 \text{ kg ha}^{-1}$) mas foi próximo aos valores encontrados por Fenilli (2006) para cafeeiros também de 5 anos ($30.500 \text{ kg ha}^{-1}$). A diferença entre os valores de mMS_{PA} se deve às diferentes condições de cultivo, principalmente o espaçamento entre plantas, que era adensado ($1,3 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$) no caso de Fenilli (2006), muito amplo ($7,7 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$) no caso de Cietto, Haag e Dechen (1991), e com valor intermediário ($1,9 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$) no presente experimento.

Assim como nos dados apresentados por Fenilli (2006), neste trabalho a mMS_{CA} foi maior que a mMS_{RM} (Figura 3.1), ao contrário dos resultados apresentados por Cietto, Haag e Dechen (1991). Não há consenso na literatura sobre o padrão de crescimento de caule e ramos, mas a maioria dos autores do Brasil observou que o crescimento dos ramos laterais mostra flutuações sazonais relacionadas com o clima, principalmente temperatura e duração do dia (DA MATTA et al. 2007; DA MATTA; AMARAL; RENA, 1999; RENA; MAESTRI, 1986), porém este crescimento foi impossível de ser observado neste trabalho pelos motivos já discutidos no item 3.2.2. A

mMS_{RM} talvez não tenha sido maior neste estudo devido às podas e ao manejo intensivo com maquinários, que limitaram seu crescimento.

A mMS_{RZ} foi de quase 8500 kg ha^{-1} (Figura 3.1) e é bem menor que a da parte aérea vegetativa, o que pode ser visualizado pela relação mMS_{PA}/mMS_{RZ} que foi de 3,96. Esse fato pode representar um problema para o aproveitamento eficiente dos nutrientes, inclusive o N. O valor de mMS_{RZ} encontrado neste estudo é incompatível com cafeeiros desta idade, o que pode ser comprovado comparando-se com dados de literatura. Dafert e Braga (1917) citados por Franco e Inforzato (1946) avaliaram em um cafezal do estado de São Paulo, a massa de matéria seca do sistema radicular de cafeeiros de 10 anos até 0,95 m de profundidade, e essa foi de $20 \text{ kg planta}^{-1}$, ou seja, mais de 10 vezes maior do que a encontrada neste experimento ($1,6 \text{ kg planta}^{-1}$). Franco e Inforzato (1946) também em São Paulo encontraram para o sistema radicular de cafeeiros a média da massa de matéria seca de 11200 kg ha^{-1} , no espaçamento 3,0 x 3,6 m, porém os autores não citaram a idade dos cafeeiros que foram avaliados. O peso do sistema radicular de cafeeiros de 5 anos de idade em São Paulo apresentado por Costa (2006) no espaçamento 1,75 x 0,75 m foi de quase 13000 kg ha^{-1} , também superior ao valor encontrado para as plantas do presente experimento. A razão dessa discrepância entre os dados obtidos neste estudo e os de literatura acima citados se devem provavelmente às características do solo do cerrado, além de diferenças genéticas entre plantas, irrigação, espaçamento e adubação adotados (DA MATTA et al. 2007; SOARES et al. 2007; RENA; MAESTRI, 1986). Neste experimento não foi possível determinar a mMS_{RZ} a cada 0,2 m de solo pois a metodologia de coleta utilizada (jato d'água) não o permitia. Com o método utilizado era impossível se controlar a quantidade de solo retirada, assim como determinar a qual camada pertencia cada parte do sistema radicular depois da retirada da trincheira. No entanto, através de observações visuais durante a abertura das trincheiras foi possível comprovar que o sistema radicular dos cafeeiros não se desenvolveu muito, apresentou reduzida profundidade e concentrou-se nas camadas superficiais do solo, onde os nutrientes eram encontrados em excesso e a água era fornecida contínua e abundantemente. Em cafeeiros da espécie *Coffea canephora* na Nigéria, Ojeniyi (1987) encontrou correlação positiva entre a formação de biomassa do sistema radicular e o

aumento da adubação nitrogenada, porém a maior dose usada por ele é menos da metade da dose de 600 kg ha^{-1} de N a que os cafeeiros estavam sendo submetidos antes do início do experimento, o que fez com que aquelas plantas respondessem prontamente à adubação fornecida. Na análise química de solo (Tabela 2.1, capítulo 2) pode-se observar que a partir da camada de 0,2 m houve aumento do alumínio e da acidez, e também baixas quantidade de Ca e Mg, o que sem dúvida impediu o desenvolvimento do sistema radicular (MARSCHNER, 1995; RAIJ et al. 1997; RODRIGUES et al. 2001). O fato de o sistema radicular ser muito superficial diminui a área a ser explorada para a absorção de nutrientes, aumentando as perdas de N. As perdas do elemento devem ser evitadas apesar desse problema ainda não estar se refletindo em queda de produção, possivelmente pelo excesso de N disponível para as plantas durante os anos anteriores. De qualquer maneira, as perdas do nutriente representam um custo ao agricultor que poderia ter sido evitado. Portanto, pode-se concluir que os 600 kg ha^{-1} de N anuais podem ser diminuídos já que não há condições de o adubo ser plenamente absorvido via radicular. Além da diminuição da adubação nitrogenada, o aumento da quantidade de gesso aplicada é recomendável, pois resultará em aumento na profundidade do sistema radicular e exploração de outras camadas do solo, melhorando assim a eficiência do uso do N aplicado via fertirrigação.

Os resultados de mMS_{FO} serão discutidos em conjunto com os de mMS_{SE} , já que estes últimos tem seu crescimento atrelado principalmente ao C_{FO} . A mMS_{FO} aos 356 DAI foi de mais de 4400 kg ha^{-1} (Figura 3.1), sendo o C_{FO} o de menor quantidade de massa de matéria seca do cafeeiro, o que se deve em grande parte às perdas de folhas durante o ciclo. A produção e expansão de folhas é um processo contínuo durante o ano, mas sua taxa de crescimento varia com as condições climáticas, sendo menor em estações secas, independente de haver irrigação, o que pode estar relacionado à temperatura e ao fotoperíodo (RENA; MAESTRI, 1986). A mMS_{FO} foi crescente até o DAI 265 (fase final da granação dos frutos) decrescendo desde então, como abordado no item 2.3.1 do capítulo 2, o que corresponde ao padrão de comportamento, já que o início do decréscimo ocorreu na estação sem chuvas. O cafeeiro é uma planta de folhas perenes, que não caem todas ao mesmo tempo em determinada época do ano. As folhas têm a duração média de 1,5 anos e são regularmente renovadas (MATIELLO;

ALMEIDA; JAPIASSU, 2010; RENA; MAESTRI, 1986). A queda das folhas se deve principalmente à translocação de fotossintatos para outros órgão da planta que estavam em rápido crescimento durante a estação chuvosa, como os grãos, o que também foi sugerido por Fenilli (2006) e por Amaral, Da Matta e Rena (2001). As folhas perdidas pelos cafeeiros formaram a maior parte da mMS_{SE} , cobrindo o solo e representando um importante papel na ciclagem de nutrientes, inclusive N. A mMS_{SE} teve seus valores crescentes no tempo, sem diferença significativa entre os tratamentos (Figura 3.2). Compõem a MS_{SE} além das folhas caídas, também ramos provenientes de podas e do manejo do cafezal e de frutos, porém em menor parte. O aporte de matéria seca para o C_{SE} é desejável até certo ponto, pois melhora características físicas, químicas e biológicas do solo, retendo a água do solo e participando da ciclagem de nutrientes. No entanto, quando ocorre intensa queda de folhas pode estar havendo o depauperamento do cafezal. A média de mMS_{SE} entre todos os tratamentos ao final do ano agrícola foi de $8126 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, valor esse muito superior ao encontrado por Campanha et al. (2007) em cafeeiros da mesma idade em Minas Gerais, onde o acúmulo observado foi de $4500 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ou por Matiello, Almeida e Japiassu (2010) que observou em Minas Gerais em cafeeiros com 7 anos de idade e a mMS_{SE} foi de $3700 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. A grande quantidade de mMS_{SE} deste estudo indica que algum distúrbio pode estar contribuindo para a queda tão acentuada de folhas. Outros fatores além do fisiológico podem afetar a queda de folhas, como por exemplo, o estresse, a nutrição inadequada ou carga excessiva das plantas (MATIELLO; ALMEIDA; JAPIASSU, 2010). Apesar de este estudo ter apontado uma mMS_{SE} elevada, isto ainda não afetou a produção de grãos, e dessa forma, a carga excessiva dos cafeeiros pode ser a causa da mínima quantidade de folhas e aumento da serrapilheira no momento da colheita. A carga excessiva dos cafeeiros provavelmente é resultado da grande quantidade de adubo nitrogenado a que as plantas foram submetidas nos anos anteriores. No entanto, apesar da produtividade dos cafeeiros ainda não ter sido afetada, isso pode ocorrer no longo prazo.

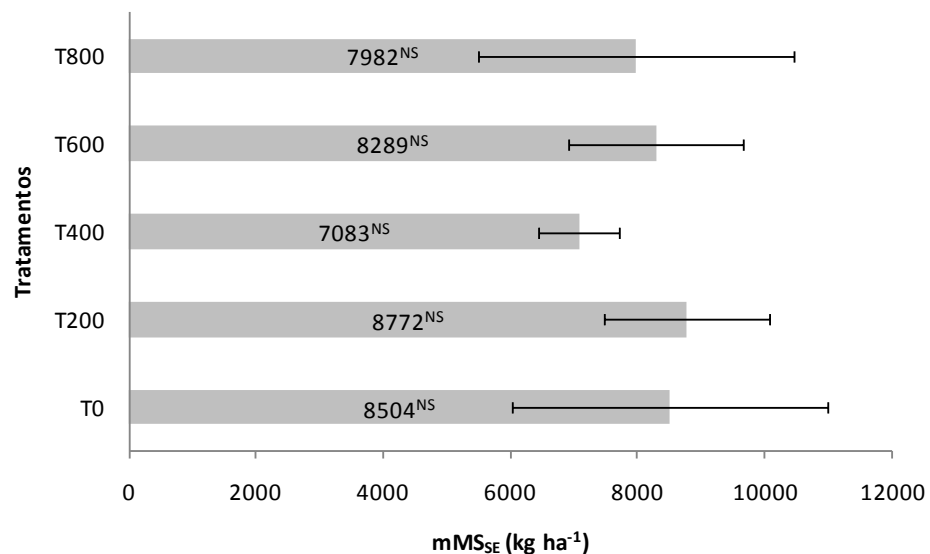


Figura 3.2 – Massa de matéria seca da serrapilheira (mMS_{SE}) medida aos 356 dias após o início (DAI) para cada tratamento. Os números no interior das colunas são os valores médios de mMS de cada compartimento, e as barras representam os desvios-padrão de quatro repetições. NS = não há diferença significativa entre os tratamentos pelo teste F (P<0,05)

Apenas o C_{FR} foi avaliado durante duas safras consecutivas, como explicado no item 3.2 deste capítulo. A produção média de mMS_{FR} de todos os tratamentos na colheita de 2009 (DAI 356) foi de aproximadamente 7900 kg ha⁻¹ (Figura 3.1) e no ano de 2010 (DAI 721) foi de 3200 kg ha⁻¹ e apesar de variar entre os tratamentos, em ambos os anos não houve diferença significativa entre eles (dados não mostrados), o que se refletiu na mMS_{FRB} (Figura 3.3). Os resultados de mMS_{FRB} indicam que tanto em 2009 quanto em 2010 as plantas adultas de cafeeiro que receberam altas doses de N desde sua formação (600 kg ha⁻¹ de N) não responderam a doses diferentes das que tinham recebido até então. Para se analisar a produção de café deve-se considerar além do histórico da área, também a fisiologia do cafeeiro, que é bastante complexa. O cafeeiro leva dois anos para completar o seu ciclo fenológico, em que primeiramente formam-se as gemas vegetativas axilares nos ramos vegetativos durante os meses de dias longos as quais são induzidas a gemas reprodutivas nos meses de dias curtos, que posteriormente amadurecem, entram em dormência e depois em antese (CAMARGO; CAMARGO; 2001). Assim, a formação das gemas vegetativas do ano anterior é que determina – em conjunto com fatores ambientais e manejo - a produção da safra

seguinte, refletindo o estado nutricional de quando as gemas vegetativas foram formadas. Sendo assim, para se encontrar um resultado conclusivo mais anos de estudos são necessários. Um trabalho desenvolvido por quatro anos no cerrado do Distrito Federal também não encontrou diferença nas produções de café aplicando-se as doses de 200, 400 e 600 kg ha⁻¹ de N em cafeeiros de 20 anos de idade (SANZONOWICZ et al., 2003), sugerindo que lavouras antigas podem não responder a diferentes doses de adubo nitrogenado quanto à produção de frutos. Dessa maneira doses menores que 600 kg ha⁻¹ podem ser recomendadas, ao menos para cafeeiros com mais de 7 anos de idade nas condições de cerrado, visto que não há diminuição na produção de grãos de café por duas safras consecutivas. A safra de 2008/2009, devido à bienalidade do cafeeiro foi uma safra de alta produção, enquanto 2009/2010 foi de baixa produção (Figura 3.3) ao contrário da tendência apresentada pelos cafezais brasileiros nestas duas safras (CONAB, 2009; CONAB, 2010). A igualdade de produção entre os tratamentos para mMS_{FRB} sugere que nos cafeeiros que receberam as doses abaixo de 600 kg ha⁻¹ pode ter havido remobilização de N armazenado em anos anteriores de outros compartimentos como folhas, sistema radicular e ramos para suprir as necessidades desse elemento nos frutos, como sugerem Lima Filho e Malavolta (2003); porém o mais provável de ter ocorrido é que o fertilizante nitrogenado tenha sido melhor aproveitado com as doses menores.

Como para duas safras seguidas não houve diferença significativa na produção de grãos de café nos cafeeiros submetidos a diferentes doses de N, a diminuição da dose de 600 a 800 kg ha⁻¹ de N aplicada é possível de ser realizada sem perda de produtividade.

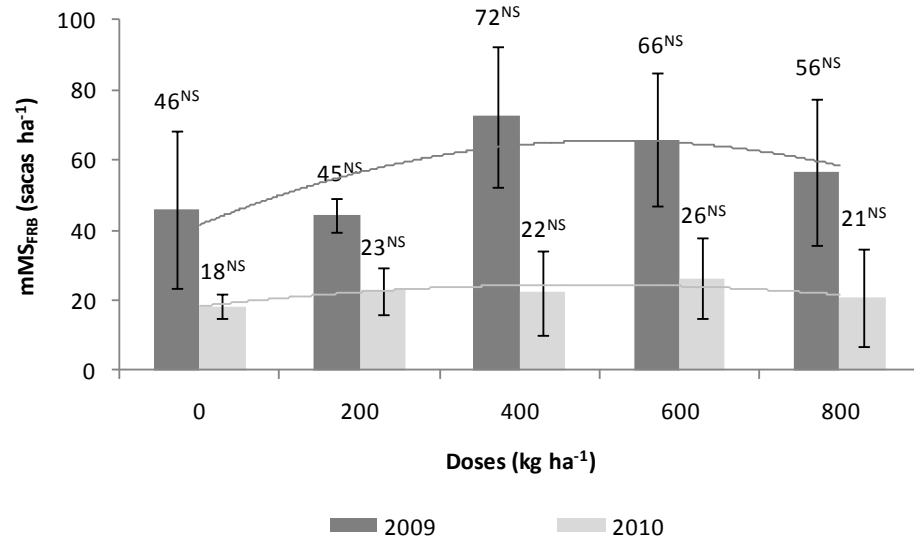


Figura 3.3 – Massa de matéria seca de frutos beneficiados (mMS_{FRB}) medida aos para cada tratamento nos anos de 2009 e 2010. Os números acima das colunas são os valores médios de mMS de cada compartimento, e as barras representam os desvios-padrão de quatro repetições. NS = não há diferença significativa entre os tratamentos pelo teste F ($P < 0,05$)

3.3.2 Balanço final de N

O balanço feito aos 356 DAI é a distribuição final do nitrogênio derivado do fertilizante, representado por QN_{ddf} (kg ha⁻¹) e R (%) nos diferentes compartimentos, resultado das aplicações contínuas de ¹⁵N-ureia nas diferentes doses e inclui o efeito das translocações de N entre os compartimentos (Tabela 3.3). Os cafeeiros que receberam o tratamento T_{600} foram os que mais acumularam N derivado do fertilizante no C_{FO} e no C_{FR} , enquanto os que receberam o tratamento T_{800} acumularam mais N nos C_{RM} e C_{CA} , embora sem diferença estatística para T_{600} . A recuperação do N aplicado via fertilizante pelos diferentes compartimentos foi maior para os cafeeiros submetidos ao tratamento T_{200} para C_{FO} , C_{RZ} e C_{SE} enquanto a recuperação praticamente não variou entre as doses dentro dos demais compartimentos. A recuperação foi maior para o tratamento T_{200} por se tratar da menor dose, sendo que esta foi quase inteiramente aproveitada pelas plantas, o que não significa necessariamente que seja a dose mais eficiente, devendo-se considerar também a produtividade de vários anos, mas que no presente estudo só pode ser avaliada durante dois anos. Além disso, o tratamento T_{200} teve todo o N recuperado no balanço, o que possivelmente se deve a erros

experimentais, já que perdas por outros meios além da lixiviação são inevitáveis e certamente ocorreram. A porcentagem de N recuperado pelo cafeeiro apresentou tendência a ser menor à medida que as doses aumentaram, enquanto o N perdido tendeu a aumentar com o aumento de doses. A porcentagem de N recuperado pelas reservas foi praticamente a mesma independente do aumento de dose.

Em balanço de N em *Coffea arabica* de 5 anos de idade em Piracicaba-SP, após 2 anos de estudo verificou-se que do N aplicado como sulfato de amônio (280 kg ha^{-1} e 350 kg ha^{-1} no primeiro e segundo anos respectivamente) 19% tinha sido absorvido pela parte aérea vegetativa; 9% pelo sistema radicular; 24% estava presente na serrapilheira; 26% foi exportado pelos frutos; 1 % tinha sido perdido por lixiviação; 2% tinha sido volatilizado; 13% permaneceu no solo e 6% não foi recuperado (FENILLI, 2008). Os valores recuperados na planta e as perdas de N no estudo de Fenilli (2008) são intermediários aos valores dos tratamentos T_{200} e T_{400} (Tabela 3) o que é razoável visto que as doses aplicadas por eles também foram intermediárias. O N contido na reserva e nos frutos foi maior no cafezal de 5 anos de idade, possivelmente porque houve um aproveitamento melhor do N pelas plantas e menores perdas nos cafeeiros mais jovens.

Tabela 3.3 Destino do nitrogênio derivado do fertilizante (QNddf, kg ha⁻¹ de N) nos diferentes compartimentos e sua recuperação (R, %) depois de um ano agrícola, aos 356 dias após o início

	T ₂₀₀		T ₄₀₀		T ₆₀₀		T ₈₀₀	
	QNddf (Kg ha ⁻¹)	R (%)	QNddf (Kg ha ⁻¹)	R (%)	QNddf (Kg ha ⁻¹)	R (%)	QNddf (Kg ha ⁻¹)	R (%)
<i>Folhas</i>	64,0 (± 3,9) ^b	32,0	38,9 (± 3,3) ^c	9,7	104,0 (± 11,2) ^a	17,3	62,5 (± 9,9) ^b	7,8
<i>Ramos</i>	8,9 (± 0,5) ^c	4,5	13,5 (± 4,8) ^b	3,4	17,4 (± 5,0) ^{ab}	2,9	26,7 (± 15,5) ^a	3,3
<i>Caule</i>	14,7 (± 1,4) ^b	7,4	20,8 (± 6,0) ^{ab}	5,2	32,8 (± 12,9) ^a	5,5	38,9 (± 29,0) ^a	4,9
<i>Frutos</i>	29,7 (± 1,4) ^b	14,9	67,9 (± 24,0) ^a	17,0	91,2 (± 28,6) ^a	15,2	77,4 (± 19,6) ^a	9,7
<i>Sistema radicular</i>	31,7 (± 4,5) ^{NS}	15,9	23,2 (± 9,5) ^{NS}	5,8	27,8 (± 6,8) ^{NS}	4,6	23,5 (± 8,1) ^{NS}	2,9
Sub-total da planta	149,1	74,6	164,4	41,1	273,2	45,5	229,1	28,6
<i>Serrapilheira</i>	42,6 (± 0,8) ^b	21,3	48,4 (± 9,2) ^b	12,1	82,1 (± 31,3) ^a	13,7	94,7 (± 35,6) ^a	11,8
<i>Solo</i>	6,0	3,0	47,5	11,9	93,7	15,6	158,0	19,8
Sub-total da reserva	48,6	24,3	95,9	24,0	175,8	29,3	252,7	31,6
<i>Solução lixiviada</i>	2,5	1,3	14,7	3,7	45,6	7,6	104,2	13,0
<i>Outras perdas</i>	0	0,0	125,0	31,2	105,4	17,6	214,1	26,8
Sub-total de perdas	32,5	1,2	139,7	34,9	151,0	25,2	318,2	39,8
<i>Total recuperado</i>	200	100	275	69	495	82	586	73
Total	200	100	400	100	600	100	800	100

Nota: Números entre parênteses são os desvios-padrão de quatro repetições, e os dados sem os desvios-padrão não possuem repetições. Médias seguidas pelas mesmas letras em cada linha não diferem entre si pelo teste de Fisher LSD (P<0,05). NS = não existe diferença significativa entre os tratamentos pelo teste F (P<0,05).

A Figura 3.4 mostra a quantidade de N derivado do fertilizante em relação ao N total acumulado nos diferentes compartimentos do cafeeiro.

A nutrição nitrogenada em cafeeiro está diretamente relacionada com a formação de folhas, sendo imprescindível para a fotossíntese e produção de carboidratos necessários para o crescimento e desenvolvimento tanto das partes vegetativas quanto reprodutivas, e podem servir de base para a adubação de N (MALAVOLTA, 1986). Os teores foliares médios de N aos 356 DAI foram de 2,8; 3,0; 3,3 e 3,6% para T₂₀₀, T₄₀₀, T₆₀₀ e T₈₀₀ respectivamente. De acordo com Malavolta (2006) os teores dos tratamentos T₂₀₀ e T₄₀₀ são considerados adequados, enquanto o de T₆₀₀ é alto e o de T₈₀₀ excessivo. Os cafeeiros que receberam a dose de 800 kg ha⁻¹ apresentaram absorção

de luxo, mas tanto a dose de 800 quanto a de 600 kg ha⁻¹ não devem ser recomendadas porque as aplicações resultaram em teores de N foliar acima dos limites considerados adequados. Apesar de T₈₀₀ apresentar o maior teor de N nas folhas, a maior quantidade de N total no C_{FO} foi apresentada por T₆₀₀ (Figura 3.4), que diferiu significativamente dos outros tratamentos, mas isso se deve à mMS_{FO} que foi maior nesse tratamento do que nos demais. O C_{FO} foi o compartimento que mais recuperou N do fertilizante, indicando que a mudança da dose de N aplicada como adubo pode ser observado nas folhas logo na primeira safra. Um bom enfolhamento depende do fornecimento de N e é interessante, pois aumenta a área fotossintética, que proporcionará o crescimento do cafeeiro, refletindo em aumento de produção. No entanto, como T₆₀₀ não se destacou das demais doses em termos de produção de grãos de café, esse maior enfolhamento resultante da alta quantidade de N fornecida favorece apenas as partes vegetativas da planta em detrimento da reprodutiva, como apresentado por Malavolta (2006). O excesso de N, que geralmente é detectado através das folhas, pode prejudicar cafeeiros adultos de várias maneiras, como a perda de produtividade, o favorecimento ao desenvolvimento de patógenos e plantas daninhas, menor síntese de fitoalexinas e atraso no amadurecimento dos frutos (MALAVOLTA, 1986, 2006; GALLO et al., 1999; RICCI; NEVES, 2004).

A participação do N do fertilizante aplicado em relação ao total de N foi menor que 25% para C_{CA}, C_{RM} e C_{RZ} em todos os tratamentos (Figura 3.4), o que vem a reforçar que a maior parte do crescimento já havia ocorrido para esses compartimentos antes do início do experimento. As quantidades de N no caule e nos ramos do presente experimento estão muito acima das médias apresentadas para cafeeiros de 10 anos de idade, que era de 79 kg ha⁻¹ tanto no caule quanto nos ramos (CATANI et al., 1967 citado por MALAVOLTA, 1986). Fenilli et al. (2008) encontrou para cafeeiros de 5 anos de idade 88 e 59 kg ha⁻¹ de N para caule e ramos, ou seja, quase a metade dos valores encontrados aqui. Isso sugere que a adubação praticada anteriormente na dose de 600 kg ha⁻¹ de N, causou acúmulo deste elemento nas partes lenhosas dos cafeeiros do presente estudo. A quantidade de N total no C_{RZ} não apresentou diferenças entre as doses aplicadas, e apresentou valores bastante altos, assim como os de caule e ramos. A reduzida participação do N do fertilizante na composição do N total do C_{RZ} sugere

pouca formação de novas raízes, provavelmente devido aos problemas já discutidos em relação à produção de mMS_{RZ} . Os valores de $QNddf_{RZ}$ deste experimento são bem menores que os apresentados por Fenilli (2006) para cafeeiros de 5 anos de idade, que variaram de 40 a 60 $kg\ ha^{-1}$ de N derivado do fertilizante, o que se deve principalmente à formação de raízes novas.

Para o C_{FR} a $QNddf$ foi menor em T_{200} , onde menos de um quarto do N presente no fruto era proveniente da ureia, enquanto para os outros tratamentos o N do fertilizante teve participação crescente com a dose, chegando a representar quase metade do total de N dos frutos em T_{800} (Figura 3.4). A maior quantidade de N acumulada nos frutos ocorreu em T_{400} , que embora sem diferir significativamente dos demais tratamentos pode sinalizar para um melhor aproveitamento do nutriente para esta dose (Figura 3.4). Os teores de N dos frutos foram de 2,1; 2,1; 2,2 e 2,2% para T_{200} , T_{400} , T_{600} e T_{800} respectivamente, valores estes um pouco acima do teor de 1,8% encontrado em frutos de cafeeiro por Malavolta (1986). Aparentemente os frutos de todos os tratamentos não apresentam excesso de N, o que poderia ser prejudicial para a saúde dos consumidores de café (TAIZ; ZEIGER, 2004). Apesar dos teores de N estarem adequados, deve-se atentar para o fato do fruto ser um exportador de nutrientes, o que deve ser levado em conta para os cálculos de adubação tanto quanto os teores foliares de N. A quantidade de N exportada pela colheita de Fenilli et al. (2008) usando dose de N intermediária àquelas usadas nos tratamentos T_{200} e T_{400} foi de 280 $kg\ ha^{-1}$, valor esse acima dos encontrados neste experimento, que variaram de 126 $kg\ ha^{-1}$ de N para T_{200} a 205 $kg\ ha^{-1}$ de N para T_{400} , mostrando que em cafeeiros adultos cultivado em solos arenosos, há menor aproveitamento do N para os frutos.

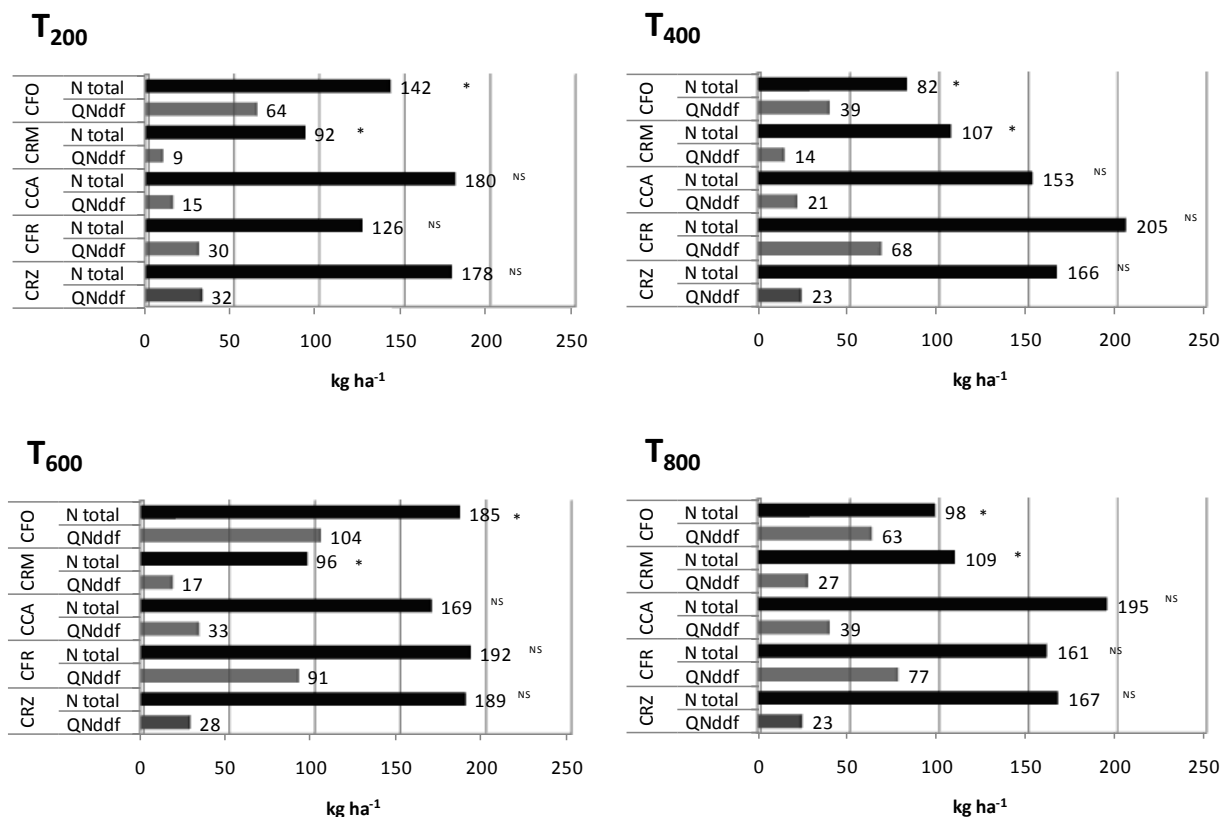


Figura 3.4 – Quantidade de nitrogênio total acumulado (N total, kg ha⁻¹ de N) e quantidade de nitrogênio derivado do fertilizante (QNddf, kg ha⁻¹ de N) nos diferentes compartimentos do cafeeiro - folhas: C_{FO}; ramos: C_{RM}; caule: C_{CA}; frutos: C_{FR}; sistema radicular: C_{RZ}; o símbolo asterisco (*) indica diferença significativa e NS indica que não existem diferença significativa dentro do mesmo compartimento entre os diferentes tratamentos, ambos pelo teste F (P<0,05)

A quantidade de N total na planta inteira (QNdds_{PI}) que é a somatória do total de N do C_{FO}, C_{RM}, C_{CA}, C_{FR}, C_{RZ}, não variou muito entre os tratamentos, sendo a maior parte do elemento fornecido pelo solo e menos de um terço fornecido pela ¹⁵N-ureia (QNddf_{PI}) (Figura 3.5). A proporção QNddf:QNdds na planta inteira foi de 0,26; 0,30; 0,49; 0,46 respectivamente para T₂₀₀, T₄₀₀, T₆₀₀ e T₈₀₀, valores esses similares aos encontrados por Fenilli (2006) em cafezal jovem. A maior absorção de N nativo do solo por plantas que receberam fertilizante nitrogenado é comum, o que se deve em parte à imobilização pelos microrganismos do solo quando o fertilizante mineral é adicionado em solo com baixa ou moderada quantidade de matéria orgânica, como ocorreu neste trabalho (Tabela 2.1 do capítulo 2). Quando alguma fonte marcada com ¹⁵N é

adicionada ao compartimento de N inorgânico não marcado, este ^{15}N está sujeito a vários processos além da absorção pelas plantas, dependendo das condições ambientais e propriedades do solo. O ^{15}N do fertilizante marcado adicionado ao solo pode tomar o lugar do ^{14}N nativo do solo que seria imobilizado, deixando menos ^{15}N do fertilizante e mais ^{14}N nativo do solo disponíveis à absorção pelas plantas, efeito esse conhecido como “pool substitution” (POWLSON; BARRACLOUGH, 1993; JENKINSON; FOX; RAYNER, 1985). Em cafezais a imobilização de N pelos microrganismos é interessante, pois esse N retornará gradativamente ao solo, tornando-se então disponível às plantas. Por se tratar de uma planta perene e tendo o estudo a duração de apenas um ciclo, é provável que o N imobilizado no início do experimento já estivesse disponível ao longo do ano, e a baixa participação do N do fertilizante pode se dever a outros fatores, como por exemplo as perdas.

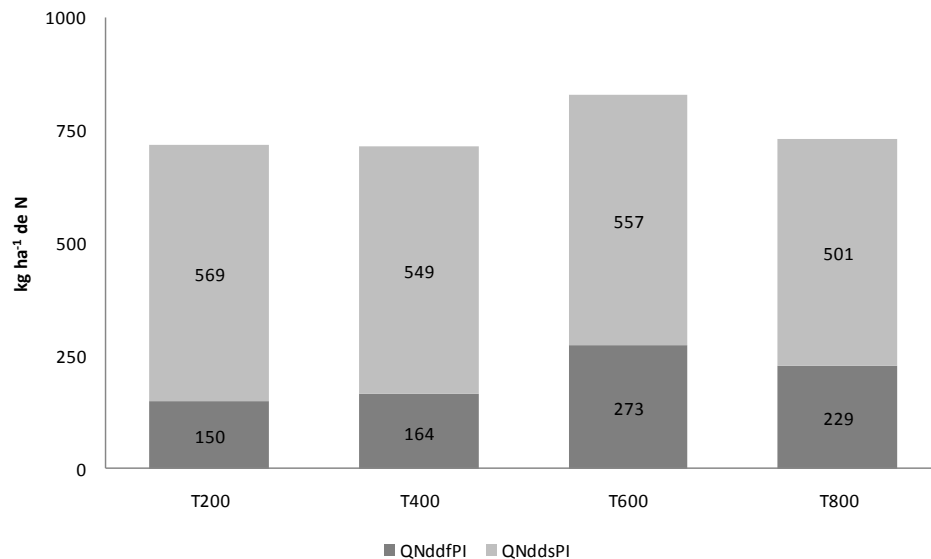


Figura 3.5 – Quantidade de nitrogênio derivado do fertilizante na planta inteira (QNddf_{PI}, kg ha⁻¹ de N) e quantidade de nitrogênio derivado do solo na planta inteira (QNdds_{PI}, kg ha⁻¹ de N) aos 356 dias após o início, nos diferentes tratamentos

A serrapilheira, o solo e a solução do solo são compartimentos interligados pela dinâmica de nutrientes, entre eles o N, pois a velocidade de decomposição da primeira influencia na maior ou menor disponibilidade de elementos para os demais compartimentos, e dependendo da quantidade de N, localização ou do tempo decorrido,

esses compartimentos podem servir tanto como reserva quanto como fonte de perda do nutriente.

A serrapilheira constitui uma das principais reservas de N em um agroecossistema, e sua composição pode ser influenciada pelo manejo da adubação nitrogenada. A $QN_{ddf_{SE}}$ foi crescente de acordo com o aumento da dose aplicada variando de 43 a 95 kg ha⁻¹, não havendo diferença significativa entre T_{800} e T_{600} e nem entre T_{400} e T_{200} . A R_{SE} foi maior para T_{200} (21%) e praticamente não variou entre os demais tratamentos estando ao redor de 12% (Tabela 3.3). Em trabalho com cafeeiro Reichardt et al. (2009) encontrou os valores de QN_{ddf} de 80 e 70 kg ha⁻¹ de N na serrapilheira, para o primeiro e segundo ano consecutivos de cultivo do cafeeiro, valores estes comparáveis aqui às duas maiores doses, embora as doses empregadas por eles tenham sido bem menores, o que provavelmente se deve à maior densidade de cafeeiros do citado trabalho. Em trabalho com laranjeiras adultas, compartimento serrapilheira recuperou de 1,6 a 2,9% do N aplicado na dose de 125 g planta⁻¹ ano⁻¹ de N (QUIÑONES et al., 2005; QUIÑONES; MARTÍNEZ-ALCÁNTARA; LEGAZ, 2007), muito abaixo dos valores encontrados tanto para o presente experimento quanto para os de Reichardt et al. (2009) em cafeeiros jovens (de 11 a 28%). As laranjeiras certamente translocam o N das folhas velhas para as mais novas com maior eficiência quando comparadas com o cafeeiro, tornando a serrapilheira mais empobrecida deste nutriente.

O solo também pode ser um reservatório do N não absorvido pela planta. Aos 356 DAI o solo do cafezal em estudo retinha aproximadamente 3100; 2400; 2400; 2600 kg ha⁻¹ de N total, para T_{200} , T_{400} , T_{600} e T_{800} respectivamente. A $QN_{ddf_{SL}}$ variou de 6 a 158 kg ha⁻¹ de N, aumentando de acordo com o aumento da dose de N aplicada (Tabela 3.3). A $QN_{ddf_{SL}}$ é muito pequena em relação ao conteúdo total de N do solo, sendo que este último não dependeu da dose aplicada do fertilizante nitrogenado. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Reichardt et al. (2009), que recuperou 50 e 79 kg ha⁻¹ de N respectivamente para as doses de 280 e 350 kg ha⁻¹ de N. A R_{SL} variou de 3 a quase 20% aumentando de acordo com a dose (Tabela 3.3). Resultados compatíveis também foram encontrados em laranjeiras adultas em lisímetros usando ¹⁵N-KNO₃ (125 g planta⁻¹ ano⁻¹ de N) com diferentes manejos de irrigação, onde de 13 a

23% do N aplicado como fertilizante permaneceu no solo (QUIÑONES et al., 2005). O N do solo pode ser conservado no sistema e posteriormente tornar-se disponível para as plantas ou ser perdido por lixiviação/volatilização, com potenciais efeitos ambientais negativos. A maior parte do N de solos cultivados com cafeeiros adultos em campo provavelmente encontra-se na forma orgânica, enquanto o $N_{ddf_{SL}}$ pode estar tanto na forma inorgânica quanto orgânica, sendo as frações inorgânicas compostas principalmente por NH_4^+ e NO_3^- (CANTARELLA, 2007). A meia-vida do N no solo é importante para diminuir as perdas de N e aumentar suas reservas, e pode chegar a 1000 anos nas frações de N orgânico protegidos por material coloidal (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Provavelmente o N do solo neste estudo encontra-se em sua maioria na forma orgânica já que a ureia transforma-se em nitrato que é pouco retido no solo. Neste estudo não foi possível, por vários motivos, verificar se o N do solo encontrava-se em sua maior parte na forma orgânica ou inorgânica, e nem mesmo sua distribuição ao longo do perfil do solo, o que seria interessante e recomendável para trabalhos futuros em cafezais fertirrigados.

O nitrogênio do fertilizante está sujeito a perdas após a aplicação, sendo uma das mais importantes no caso estudado, a lixiviação. O N do fertilizante pode ser lixiviado logo após a aplicação do adubo no caso de uma chuva torrencial ou irrigação excessiva, o que traz prejuízos econômicos e ambientais. A solução lixiviada (C_{LX}) é considerada aqui como a solução do solo que ultrapassou a profundidade de 1,0 m, e como essas perdas se processaram no decorrer do experimento, para se realizar um balanço final há que se fazer a somatória do nutriente perdido desde o início (0 DAI) até o final do experimento (DAI 356) (Tabela 3.3). A comparação de resultados de lixiviação é difícil, pois além de depender de peculiaridades de cada cultivo, ainda encontra-se certa dificuldade de definição sobre o termo lixiviação. Alguns autores se referem como nitrogênio lixiviado aquele que atinge o lençol freático (RUCKART et al., 2008; PRIMAVESI et al., 2006; FANG et al., 2006; JAYNES et al. 2001), enquanto outros, como no presente estudo, se referem ao nitrogênio que saiu da zona de absorção radicular das plantas.

Todo o N mineral do C_{LX} se encontrava na forma de nitrato, pois em todas as amostras de solução do solo coletadas a quantidade de amônio presente estava abaixo

do nível de detecção do aparelho. Este fato se deve em grande parte pelas transformações que a ureia sofre no solo, seja ela proveniente da matéria orgânica adicionada ao solo, que libera ureia durante a mineralização (HAVLIN et al. 2005), ou da aplicação de fertilizantes minerais, o que a torna uma molécula importante no ciclo do N em agroecossistemas. A ureia no solo transforma-se rapidamente em amônio através de processos microbiológicos, sendo este amônio posteriormente convertido em nitrito e então em nitrato. Como o nitrato é móvel no solo devido à sua carga negativa, este pode permanecer na solução do solo e ser absorvido pelas plantas ou lixiviar para áreas abaixo da zona radicular, principalmente em situações de movimento intenso de água no solo, sendo maior a quantidade perdida quanto maior a precipitação ou irrigação o que torna o nitrato um poluente (CANTARELLA, 2007; HAVLIN et al. 2005; ADDISCOTT, 2004). No decorrer do texto os termos nitrato ou N-NO_3^- sempre serão usados para referir-se à quantidade de N proveniente do nitrato, em kg ha^{-1} , e não à quantidade de nitrato ou à sua concentração.

A análise da quantidade de N-NO_3^- lixiviado durante o experimento foi realizada apenas para os tratamentos T_{400} e T_{800} como explicado no item 3.2.2 deste capítulo. O regime hídrico local (precipitação e irrigação), a quantidade de N-NO_3^- no C_{LX} e a $QNddf_{LX}$ do início das chuvas até o final do experimento podem ser observados para os tratamentos medidos, de forma distribuída ou acumulada ao longo do ano, nas figuras 3.6 e 3.7. Os valores de $QNddf_{LX}$ aos 356 DAI foram calculados para os tratamentos T_{400} e T_{800} , enquanto para T_{200} e T_{600} esses resultados foram estimados através de uma curva de regressão (Figura 3.8).

Tanto a quantidade de NO_3^- quanto $QNddf_{LX}$ na solução lixiviada acompanharam o regime hídrico, porém mais pronunciadamente em T_{800} que em T_{400} (Figura 3.6), assim como mostrado em Noordwijk e Cadish (2002). O pico de lixiviação de nitrato ocorreu no mês de março de 2009 para ambos os tratamentos, quando o total mensal de chuvas foi de mais de 350 mm somado ainda com uma pequena lâmina de irrigação. Apesar de ter havido um pico na quantidade de chuva e irrigação em novembro de 2008, quando o total de chuvas do mês foi de 315 mm, não houve grande quantidade de N-NO_3^- e $QNddf$ perdida, certamente porque nesse período apenas um terço das aplicações da ^{15}N -ureia tinham sido realizadas (Figura 3.6). Em geral, nessa fazenda,

bem como em toda a região, mesmo com a ocorrência de chuvas intensas a fertirrigação era praticada, pois o fornecimento de certos elementos era feito apenas dessa maneira, o que sem dúvida aumenta a lixiviação do nitrato. Entre outros fatores que influenciam a maior ou menor lixiviação do nitrato estão taxa e época de aplicação do fertilizante nitrogenado e características do solo (HAVLIN et al. 2005). No presente caso, todos esses fatores em conjunto com as altas taxas de irrigação favoreceram as perdas por lixiviação. Como o parcelamento da dose era feito simplesmente dividindo-se a dose por 26 aplicações, a fertirrigação durante os períodos chuvosos era inevitável para que se cumprisse o planejamento inicial. O fato de que parcelas maiores do fertilizante devem ser oferecidas nos períodos de grande necessidade de N pela planta não era levado em conta, e menos as prováveis perdas de N do fertilizante devido ao intenso fornecimento de água. Desde o mês de abril até o final do experimento a chuva diminuiu bastante e embora a quantidade de irrigação tenha aumentado, não chegou a níveis que permitissem altas taxas de drenagens como vinha acontecendo nos meses anteriores, o que fez com que a quantidade de N perdido via lixiviação diminuísse para os dois tratamentos analisados. Para as condições deste estudo, as maiores perdas de nutrientes nos períodos de chuva reforçam a recomendação do parcelamento em quantidades diferentes ao longo do ano agrícola, devendo ser privilegiada aquela fase anterior ao início das chuvas intensas na região e à expansão e granação de frutos, ou seja, entre o final de outubro e início de novembro. A quantidade de $N-NO_3^-$ e $QNddf_{LX}$ foi muito maior no tratamento T_{800} quando comparado com o tratamento T_{400} durante o ano todo, mostrando que as perdas do nutriente são maiores com o aumento da dose de N aplicada independente da época do ano. Considerando-se as perdas por lixiviação, pode-se afirmar que tratamento T_{400} é o recomendado para as condições deste experimento, pois a $QNddf_{LX}$ para T_{400} foi baixa durante todo o ano ainda que em condições propícias a perdas. Mesmo com poucas perdas em T_{400} o fornecimento de parcelas maiores de fertilizante nitrogenado no período de maior consumo pelo cafeeiro também é importante, já que faz com que a fertirrigação seja desnecessária durante os meses de menor consumo, evitando também o desperdício de água. A prática de se fertirrigar no período de chuva é irracional, já que muitos rios da região estão diminuindo sua vazão e em alguns casos já secaram totalmente, além do fato de que a

partir de 2010 entra em vigor a legislação referente à cobrança pelo uso da água (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA, 2010), tornando essa prática inviável também do ponto de vista econômico.

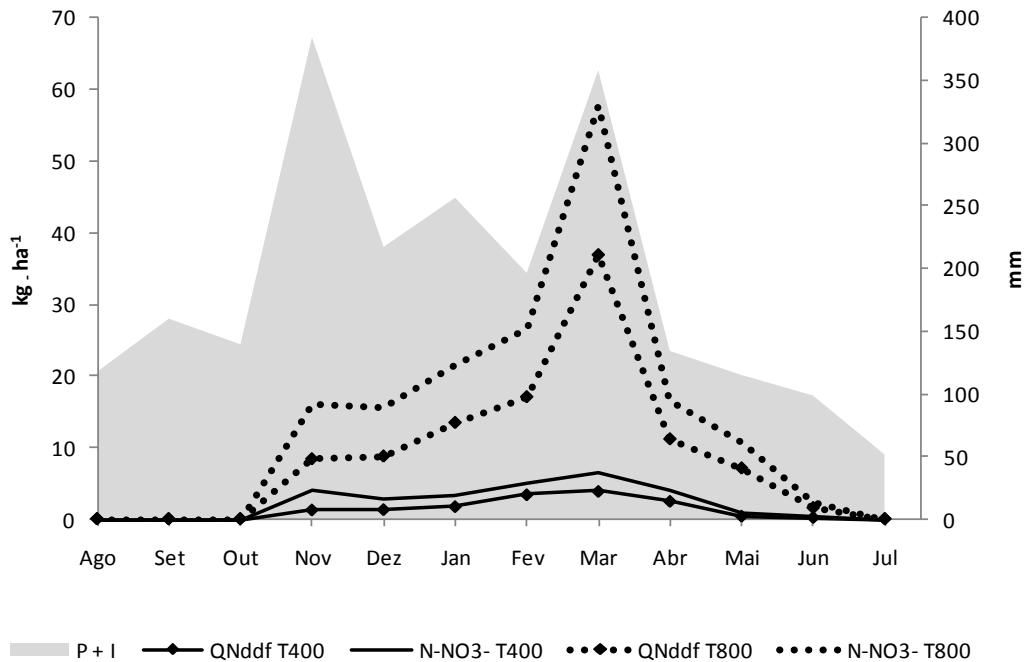


Figura 3.6 – Distribuição da precipitação pluviométrica e irrigação (P+I, mm), da quantidade de N-NO₃⁻ encontrada na solução do solo abaixo de 1,0 m de profundidade nos tratamentos T₄₀₀ (N-NO₃⁻ T₄₀₀) e T₈₀₀ (N-NO₃⁻ T₈₀₀), e suas respectivas quantidades de N derivado do fertilizante (QNddf_{T400} e QNddf_{T800}) durante o ano agrícola 2008/2009 em cafeeiros fertirrigados com ¹⁵N-ureia

A precipitação e irrigação acumularam 2232 mm de água ao final do ano agrícola sendo que desse total 1011 mm foram drenados causando a lixiviação de 27 e 167 kg ha⁻¹ de N-NO₃⁻ e 15 e 104 kg ha⁻¹ de QNddf_{LX}, para T₄₀₀ e T₈₀₀ respectivamente (Figura 3.7). As perdas de N-NO₃⁻ no tratamento T₄₀₀ foram irrisórias quando comparadas ao de T₈₀₀, bem como a QNddf_{LX}. Isso se deve à quantidade menor de N aplicado em T₄₀₀, e em parte também ao fato da mineralização dos resíduos maior em T₈₀₀ devido à maior adição de N do fertilizante (HAVLIN et al., 2005).

Ao contrário dos resultados encontrados aqui, a maior parte da literatura não observa perdas de N via lixiviação para as condições brasileiras como as revisões de Urquiaga e Zapata (2000) e de Cantarella (2007) sobre lixiviação de nitrato em agroecossistemas brasileiros, que afirmam que a maior parte do N lixiviado é proveniente da mineralização da matéria orgânica do solo e não diretamente do fertilizante aplicado. No entanto, na maioria dos estudos realizados, as condições eram propícias à diminuição das perdas de N via lixiviação. Outros autores que também não encontraram lixiviação de N ou esta foi muito baixa abaixo da zona radicular para diferentes culturas foram Alfaia (1997), Fernandes e Libardi (2009), Oliveira et al. (2002), Trivelin et al. (2002), Boaretto et al. (2004). Um dos poucos trabalhos brasileiros em que foi observada lixiviação é o de Camargo (1989) que encontrou a lixiviação de quase 30 kg ha⁻¹ de N derivado do fertilizante em cana-de-açúcar adubada com 100 kg ha⁻¹ de ¹⁵N-ureia em solo arenoso. Solos com menor quantidade de argila como os desse experimento, são mais propensos à lixiviação (FEY et al. 2010), que geralmente ocorre quando N além da necessidade de absorção pelas plantas e imobilização pelos microrganismos é aplicado, o que parece ser o caso do tratamento T₈₀₀. Em cafeeiros jovens Fenilli et al. (2008) observaram lixiviação de 6,5 e 10,5 kg ha⁻¹ do N aplicado como sulfato de amônio nas doses 280 e 350 kg ha⁻¹ de N, após um e dois anos. Esses valores estão bem abaixo dos encontrados no presente estudo, e se devem ao tipo de solo mais argiloso e às menores doses, além do fato de a irrigação ser apenas suplementar no trabalho de Fenilli et al. (2008).

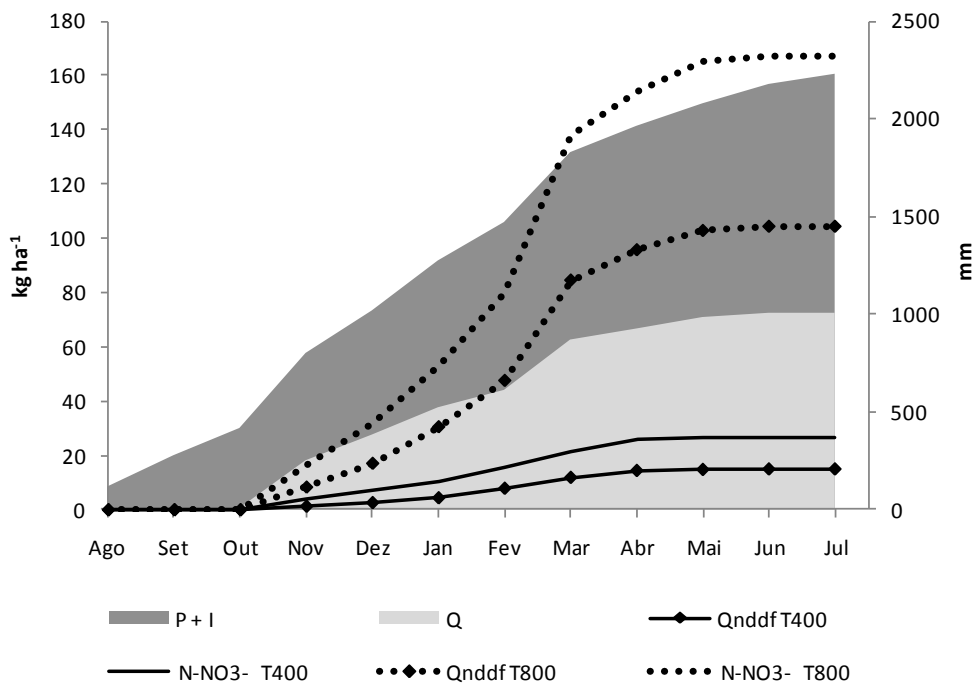


Figura 3.7 – Valores acumulados de precipitação pluviométrica e irrigação (P+I, mm), drenagem abaixo de 1,0 m de profundidade do solo (Q), quantidade nitrato nos tratamentos T₄₀₀ (N-NO₃⁻ T₄₀₀, kg ha⁻¹) e T₈₀₀ (N-NO₃⁻ T₈₀₀, kg ha⁻¹), e as respectivas quantidades de N derivado do fertilizante (QNddf_{T400}, kg ha⁻¹ e QNddf_{T800}, kg ha⁻¹), acumuladas durante o ano agrícola 2008/2009 em cafeeiros fertilizados com ¹⁵N-ureia

Para se obter a QNddf_{LX} para os tratamentos T₂₀₀ e T₆₀₀ foi feita uma curva de regressão, que está apresentada na Figura 3.8. Esta curva foi obtida a partir dos valores de QNddf_{LX} dos tratamentos T₀, T₄₀₀ e T₈₀₀, sendo T₀ referente à QNddf_{LX} igual a zero, pois não houve aplicação de fertilizante nesse tratamento. A condição dada para o melhor ajuste da curva foi apenas a que apresentasse o maior coeficiente de determinação (R²), que nesse caso foi de 0,999.

A QNddf_{LX} variou em função da dose de N aplicada, de pouco mais de 2,5 kg ha⁻¹ de N para T₂₀₀ a 104,2 kg ha⁻¹ de N para T₈₀₀. Nota-se portanto um aumento “exponencial” da quantidade do lixiviado proveniente do fertilizante com o aumento da dose, sendo recuperados de 1,3 a 13 % do N aplicado, de acordo com a dose utilizada (Tabela 3.3 e Figura 3.7). Uma análise mais detalhada a respeito das perdas de N por

lixiviação nesse cafezal pode ser encontrado em Bortolotto et. al. ⁷ (em fase de elaboração).

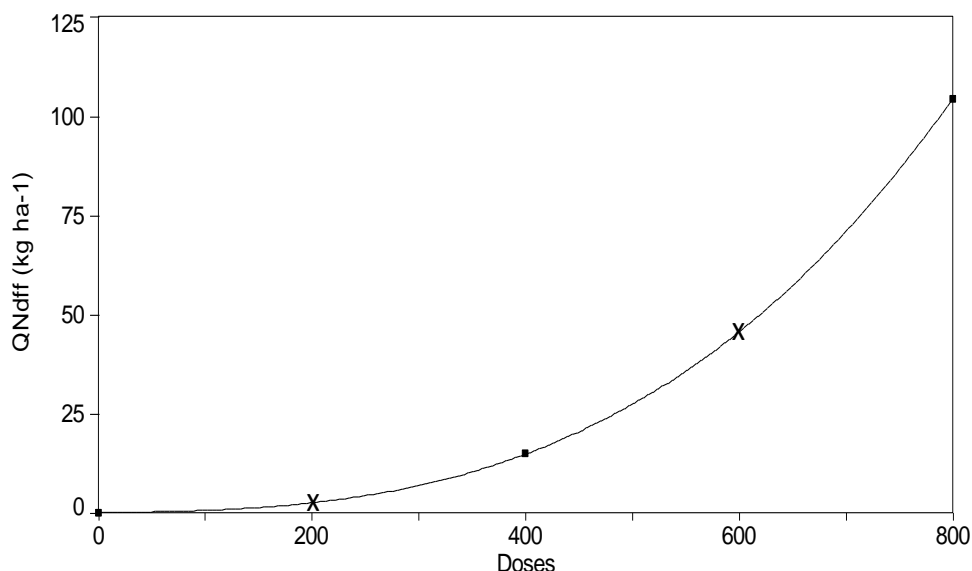


Figura 3.8 - Variação da quantidade de nitrogênio derivado do fertilizante na solução lixiviada ($QNddf_{LX}$, $kg\ ha^{-1}$) de cafeeiros fertirrigados com ^{15}N -ureia em diferentes doses (\bullet = dados medidos; x = dados estimados); [$y^{0,5} = a + bx^{1,5}$, $a = 0,3586$, $b = 0,0004$]

Outras perdas que ocorreram durante o desenvolvimento do experimento são representadas pelo C_{OP} , que compreende todas as perdas do N aplicado via fertilizante e que não puderam ser contabilizadas. Além das perdas de N do fertilizante através da lixiviação, podem ocorrer perdas por volatilização da amônia, por nitrificação, por desnitrificação e por emissões de amônia via foliar (CANTARELLA, 2007; HAVLIN et al., 2005). A exportação de N pelos frutos não é considerada aqui como perda, pois é o objetivo final do cultivo do cafeeiro, embora deva ser considerada nos cálculos de adubação do ano subsequente.

O único tratamento que não registrou outras perdas foi o T_{200} , devido ao fato de ser a menor dose aplicada, além de erros experimentais, fazendo com que o aproveitamento do adubo fosse praticamente total. A maior $QNddf_{OP}$ ocorreu em T_{800} , com $214\ kg\ ha^{-1}$ de N perdidos para o ambiente (Tabela 3.3). Essas perdas foram muito

⁷ Bortolotto R. P. et al. (2010) (Universidade de São Paulo). **Perdas de nitrogênio por lixiviação em café fertirrigado no oeste baiano.**

grandes, representando quase 27% do N recuperado no balanço final, e representaram mais que o dobro das perdas por lixiviação, o que expressa a baixa eficiência desse tratamento em cafezais nas condições do oeste baiano. O tratamento T₄₀₀ perdeu mais através de outras perdas do que T₆₀₀.

Uma das vias de perdas que não foi medida nesse experimento é a volatilização da amônia durante a aplicação da solução de ureia, que pode ter ocorrido (HARRISON; WEBB, 2001; KIRCHMANN et al., 1998). Martha Junior et al. (2004) trabalhando com ¹⁵N-ureia em capim tanzânia observou perdas de 48%, 41% e 42% do N aplicado na forma de solução nas doses de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Em cafeeiro, observou-se que as perdas por volatilização de sulfato de amônio via sólida, aplicado em cobertura, são em média de 2%, e que a reabsorção foliar da amônia volatilizada, pode ser da ordem de 43% (FENILLI, 2006), apresentando números bem diferentes daqueles do trabalho já citado de Martha Junior et al. (2004), devido principalmente à fonte de N utilizada.

Outra fonte de perda é a desnitrificação, geralmente associada a solos inundados, pois estes possuem condições anaeróbias que favorecem a desnitrificação, mas que podem ocorrer mesmo em microssítios anaeróbicos de solos bem drenados sujeitos à alta intensidade de irrigação, como é o caso do presente estudo. A desnitrificação pode dar origem a gases do efeito estufa como N₂ e N₂O. Esses gases são formados durante a transformação de NO₃⁻ em NO₂⁻, e este em NO que rapidamente se transforma em N₂ e N₂O que serão perdidos para a atmosfera. A oferta de carbono é essencial para a desnitrificação, e perdas razoáveis de N por esse processo ocorrem em sistemas que preservam restos culturais, pois estes mantêm o solo úmido além de fornecer carbono (C) (HAVLIN et al., 2005). Os fatores expostos acima ocorrem nos cafezais do oeste baiano, visto que o regime hídrico (Tabela 3.2) a que o terreno é exposto favorece a formação de microssítios anaeróbicos mesmo em um solo arenoso, e a serrapilheira do cafezal é abundante (Figura 3.2). Além disso, a desnitrificação é favorecida por outras condições locais como a temperatura do solo entre 25 e 60°C, a presença de nitrato, a presença de plantas e o pH menor que 5,0 que favorece a formação de NO (HAVLIN et al., 2005). Em balanço de N utilizando o traçador ¹⁵N é comum o não fechamento do balanço devido, além dos erros amostrais, também a perdas gasosas de N através das

plantas e retenção de gases no solo que não são medidos quando normalmente um balanço é realizado. Clough et al. (2001) encontraram aproximadamente 23% de N_2 e N_2O retidos em um torrão de solo em ensaio de laboratório, provenientes da desnitrificação que ocorreu nos microporos. Além da desnitrificação, também durante a nitrificação pode haver perdas de N_2O formado no processo de transformação de NH_4^+ a NO_3^- (HAVLIN et al., 2005)

A adubação nitrogenada excessiva também pode causar perdas de N para a atmosfera durante a decomposição da serrapilheira que ao liberar nutrientes para o solo, também libera gases NO_x , o que ocorre em maior ou menor quantidade dependendo entre outros fatores, do teor de N da serrapilheira em comparação com o de C. A rápida decomposição da serrapilheira é favorecida pela baixa relação C:N, e causa o aumento da liberação de N_2O e também de CO_2 para a atmosfera, favorecendo o efeito estufa. Esse processo pode ser diminuído pelo manejo correto do fertilizante nitrogenado, diminuindo assim os impactos negativos da agricultura no que diz respeito ao aquecimento global (CHRISTOPHER; LAL, 2007). Uma das maneiras de se aproximar do ponto ideal entre alta produtividade e diminuição da emissão de gases do efeito estufa é diminuindo-se a taxa de decomposição da serrapilheira, que implica em manter a relação C:N das folhas relativamente alta, mantendo-se o teor de N dentro dos limites adequados para a nutrição das plantas. Outro fator de manejo que aumenta a mineralização da matéria orgânica é a irrigação excessiva, como a que ocorre no oeste da Bahia onde uma lâmina de 4 mm de água é aplicada a cada 2 dias (CANTARELLA, 2007). A aplicação de altas doses de N nos sistemas agrícolas também diminui a população microbiana do solo, deixando de evitar consideráveis perdas de N para o ambiente através da imobilização deste elemento em sua biomassa (CHRISTOPHER; LAL, 2007; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

As perdas de N podem ocorrer também através da parte aérea das plantas, pois na senescência há quebra das proteínas e algumas enzimas, liberando aminoácidos que podem ser translocados para partes em crescimento ou permanecer acumulados no vacúolo, que estão assim sujeitos a perdas (HÖRTENSTEINER; FELLER, 2002). Nas folhas de plantas pode ocorrer tanto absorção quanto perda de NH_3 para o ar, o que dependerá do ponto de compensação de amônia da vegetação, sendo maior para

culturas agrícolas e variando com a idade da planta (HAVLIN et al., 2005; ASMAN; SUTTON; SCHJORRING, 1998). Em trabalho com feijão, Farquhar et. al. (1980) observaram que abaixo do ponto de compensação de amônia existe liberação deste gás da planta para o ambiente, e como, geralmente, esse ponto de compensação não é atingido em condições naturais há uma tendência de se perder amônia pela parte aérea da planta no campo. Outros trabalhos que observaram perda de N para a atmosfera na forma de gás são os de Schjoerring et al. (1993), Haper e Sharpe (1994), Bologna et al. (2006) e Mattsson, Husted e Schjoerring (1998). Outra possível fonte de perda de N através das plantas, mas que ainda não está bem estabelecida, é a emissão de N_2O durante a assimilação do nitrato, como no trabalho de Smart e Bloom (2001). A emissão de gases NO_x na cultura do cafeeiro deve ser melhor estudada, não apenas porque representa prejuízo financeiro ao agricultor, mas também porque pode poluir a atmosfera contribuindo, deste modo, para o aquecimento global e para a diminuição da camada de ozônio.

3.4 Considerações finais

A dose mais eficiente em termos de menores perdas para o ambiente e maior recuperação pela planta do N aplicado foi a de 200 kg ha^{-1} de N, que foi de 1,2 e 75% respectivamente. No entanto, deve-se ter cautela quanto à sua recomendação, pois como essa foi a dose que apresentou menores quantidades de N proveniente do fertilizante nas reservas, é possível que futuramente esta dose seja insuficiente para suprir adequadamente os cafeeiros. Desse modo, a dose de 400 kg ha^{-1} de N é a mais adequada. As perdas de $N-NO_3^-$ para o ambiente seguiram o regime hídrico ao longo do ano, sendo muito maiores nos cafeeiros submetidos a 800 do que a 400 kg ha^{-1} de N. A quantidade de N proveniente do fertilizante perdida para o meio ambiente via lixiviação foi maior quanto maior a dose de N aplicada, alcançando os valores máximos de 104 kg ha^{-1} de N nos cafeeiros que receberam 800 kg ha^{-1} de N, e apenas $2,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N quando a dose foi de 200 kg ha^{-1} .

Observou-se também que a massa de matéria seca e profundidade alcançada pelo sistema radicular dos cafeeiros era menor do que em outros experimentos com

cafeeiros da mesma idade ou mais novos, o que sem dúvida implica em menor eficiência na absorção de N.

A massa de matéria seca da serrapilheira encontrada foi acima do esperado, indicando um possível depauperamento das plantas por excesso de produção de grãos de café.

Referências

ADDISCOTT, T.M. **Nitrate, agriculture and environment**. Cambridge: CABI Publishing, 2004. 279 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Cobrança**: Bacia do São Francisco. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/cobrancaearrecadacao/BaciaSF_Inicial.aspx>. Acesso em: 16 nov. 2010.

ALFAIA, S.S. Destino de adubos nitrogenados marcados com ^{15}N em amostras de dois solos da Amazônia central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 379–385, 1997.

AMARAL, J.A.T.; DA MATTA, F. M., RENA, A. B. . Effects of fruiting on the growth of arabica coffee trees as related to carbohydrate and nitrogen status and to nitrate reductase activity. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 13, n.1, p.66-74, 2001.

ASMAN, W.; SUTTON, M.A.; SCHJORRING, J.K. Ammonia: emission, atmospheric transport and deposition. **New Phytologist**, Oxford v. 139, p. 27-48, 1998.

BOARETTO, A.E.; SPOLIDORIO, E.S.; FREITAS, J.G.D.; TRIVELIN, P.C.O.; MURAOKA, T.; CANTARELLA, H. Fate of ^{15}N -urea applied to wheat-soybean succession crop. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 2, p. 265-274, 2004.

BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; LANGE, A.; TRIVELIN, P. C. O. Perda de nitrogênio pela parte aérea de plantas de trigo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n. 4, p.1106-1111, 2006.

CAMARGO, P.B. **Dinâmica do nitrogênio dos fertilizantes : uréia (^{15}N) e aquamônia (^{15}N) incorporados ao solo na cultura de cana-de-açúcar**. 1989. 104 p. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear Na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.

CAMPANHA, M.M.; SANTOS, R.H.S.; FREITAS, G.B.D.; MARTINEZ, H. N.E.L.P.; JARAMILLO-BOTERO, C.; GARCIA, S.L. Análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroflorestral e em monocultura, na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.31, n.5, p. 805-812, 2007.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 375-470.

CHRISTOPHER, S.F.; LAL, R. Nitrogen management affects carbon sequestration in north american cropland soils. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Philadelphia, v. 26, n. 1, p. 45-64, 2007.

CIETTO, S.; HAAG, H.P.; DECHEN, A.R. Acumulação de matéria seca, absorção de N, P e K pelo cafeeiro (*Coffea arabica* L. CV Catuaí) com dois, três, quatro e cinco anos de idade, nas fases fenológicas de repouso, granação e maturação vegetando em um Latossolo Vermelho Amarelo, Fase Cerrado. **Anais Esalq**, Piracicaba, v. 48, p. 245-268, 1991.

CLOUGH, T. J.; SHERLOCK, R.R.; CAMERON, K.C.; STEVENS, R.J.; LAUGHLIN, R.J.; MULLER, C. Resolution of the ¹⁵N balance enigma? **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 39, p. 1419-1431, 2001.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: café, safra 2009 - primeira estimativa**, janeiro 2009. Brasília, 2009. 17 p.

_____. **Acompanhamento da safra brasileira: café, safra 2010 - terceira estimativa**, setembro 2010. Brasília, 2010. 19 p.

COSTA, F.M.P. **Crescimento e desenvolvimento do cafeeiro sob efeito da adubação nitrogenada**. 2006. 80 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

DA MATTA, F.M.; AMARAL, J.A.T.; RENA, A.B. Growth periodicity in trees of *Coffea arabica* L. In relation to nitrogen supply and nitrate reductase activity. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 60, p. 223-229, 1999.

DA MATTA, F.M.; RONCHI, C.P.; MAESTRI, M.; BARROS, R.S. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v. 19, n.4, p.485-510, 2007.

FANG, Q.X.; YU, Q.; WANG, E.L.; CHEN, Y.H.; ZHANG, G.L.; WANG, J.; LI, L.H. Soil nitrate accumulation, leaching and crop nitrogen use as influenced by fertilization and irrigation in an intensive wheat–maize double cropping system in the North China Plain. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 284, p.335–350, 2006.

FARQUHAR, G.D.; FIRTH, P.M.; WETSELAAR, R.; WEIR, B. On the gaseous exchange of ammonia between leaves and the environment – determination of the ammonia compensation point. **Plant Physiology**, Rockville, v. 66, p. 710-714, 1980.

FEIGENBAUM, S.; BIELORAI, H.; ERNER, Y.; DASBERG, S. The fate of ^{15}N labeled nitrogen applied to manure citrus trees. **Plant and Soil**, Dordrecht, p. 179-187, 1987.

FENILLI, T.A.B. **Destino do ^{15}N do fertilizante em uma cultura de café**. 2006. 116 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2006.

FENILLI, T.A.B.; REICHART, K.; BACCHI, O.O.S.; TRIVELIN, P.C.O.; DOURADO-NETO, D. The ^{15}N isotope to evaluate fertilizer nitrogen absorption efficiency by the coffee plant. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 79, n. 4, p. 767-776, 2007a.

FENILLI, T.A.B.; REICHARDT, K.; DOURADO-NETO, D.; TRIVELIN, P.C.O.; FAVARIN, J.L.; COSTA, F.M.P.; BACCHI, O.O.S. Growth, development and fertilizer ^{15}N recovery by the coffee plant. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 64, n. 5, p. 152–160, 2007b.

FENILLI, T.A.B.; REICHARDT, K.; TRIVELIN, P.C.O.; FAVARIN, J.L. Volatilization of ammonia derived from fertilizer and its reabsorption by coffee plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 38, p. 1741-1751, 2007. c

FENILLI, T.A.B.; REICHARDT, K.; FAVARIN, J.L.R.; BACCHI, O.O.S.; SILVA, A.L.; TIMM, L.C. Fertilizer ^{15}N balance in a coffee cropping system: a case study in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1459-1469, 2008.

FERNANDES, F.C.S.; LIBARDI, P. L. Drenagem interna e lixiviação de nitrato em um latossolo sob sucessão milho-braquiária-milho, com diferentes doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p.1163-1173, 2009.

FEY, R. Leaching of nitrogen in column in regarding soil particle size. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.11, n.2, p.181-185, 2010.

FRANCO, C.M.; INFORZATO, R. O sistema radicular do cafeeiro nos principais tipos de solo do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 6, n. 9, p. 443-478, 1946.

GALLO, P.B.; RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; PEREIRA, L.C.E. Resposta de cafezais adensados à adubação NPK. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 2, p. 341-351, 1999.

HARPER, L.A.; SHARPE, R.R. Nitrogen dynamics in irrigated corn: soil-plant nitrogen and atmospheric ammonia transport. **Agronomy Journal**, Madison, v.87, p. 669-675, 1994.

HARRISON, R.; WEBB, J. A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 73, p. 65-108, 2001.

HAVLIN, J.L.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. **Soil fertility and fertilizers**: an introduction to nutrient management. 7th ed. Upper Saddle River, N.J : Pearson Prentice Hall, 2005. 505 p.

HÖRTENSTEINER, S.; FELLER, U. Nitrogen metabolism and remobilization during senescence. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, Inorganic Nitrogen Assimilation Special Issue, p. 927–937, 2002.

JAYNES, D.B.; COLVIN, T.S.; KARLEN, D.L.; CAMBARDELLA, C.A.; MEEK, D.W. Nitrate loss in subsurface drainage as affected by nitrogen fertilizer rate. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.30, p. 1305–1314, 2001.

JENKINSON, D.S.; FOX, R.H.; RAYNER, J.H. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen: the so-called 'priming' effect. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 36, p. 425-444, 1985.

KIRCHMANN, H.; ESALA, M.; MORKEN, J.; FERM, M.; BUSSINK, W.; GUSTAVSSON, J.; JAKOBSSON, C. Ammonia emissions from agriculture: Summary of the Nordic seminar on ammonia emission, science and policy. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 51, p. 1–3, 1998.

LIMA FILHO, O.F.; MALAVOLTA, E. Studies on mineral nutrition of the coffee plant (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí Vermelho). LXIV. Remobilization and re-utilization of nitrogen and potassium by normal and deficient plants. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 63, n. 3, p. 481-490, 2003.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

_____. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 1986. p. 165- 274.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MARTHA JÚNIOR, G.B.; CORSI, M.; TRIVELIN, P.C.O.; VILELA, L.; PINTO, T.S.L.F.; TEIXEIRA, G.M.; MANZONI, C.S.; BARIONI, L.G. Perda de amônia por volatilização em pastagem de capim-tanzânia adubada com ureia no verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.33, n.6, p.2240-224, 2004.

MATIELLO, J.B.; ALMEIDA, S.R.; JAPIASSU, L. Reciclagem de folhas em cafezais. **Fundação Procafé Online**: Clube de tecnologia cafeeira. Disponível em: <<http://www.fundacaoprocafe.com.br/noticias.php?id0=26#>>. Acesso em: 09 ago 2010.

MATTOS-JÚNIOR, D.; GRAETZ, D.A.; ALVA, A.K. Biomass Distribution and Nitrogen-15 Partitioning in Citrus Trees on a Sandy Entisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 67, p.555–563, 2003.

MATTSSON, M.; HUSTED, S.; SCHJOERRING, J.K. Influence of nitrogen nutrition and metabolism on ammonia volatilization in plants. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 51, p. 35-40, 1998.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Transformações bioquímicas e ciclos dos elementos no solo. In: _____. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2006. p. 338-364.

NARIO, A.; PINO, I.; ZAPATA, F.; ALBORNOZ, M. P.; BAHERLE, P. Nitrogen (¹⁵N) fertilizer use efficiency in peach (*Prunus persica* L.) cv. Goldencrest trees in Chile. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 97, p. 279–287, 2003.

NOORDWIJK, M.; CADISH, G. Access and excess problems in plant nutrition. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 247, p. 25–40, 2002.

OJENIYI, S. O. Relationships between soil organic matter, availability of nitrogen and phosphorus and the total root biomass of coffee (*Coffea canephora*). **Biology and Fertility Soils**, Berlin, v. 4, p.163-165, 1987.

OLIVEIRA, M.W.D.; TRIVELIN, P.C.O.; BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; MORTATTI, J. Leaching of nitrogen, potassium, calcium and magnesium in a sandy soil cultivated with sugarcane. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.6, p. 861-868, 2002.

POWLSON, D.S.; BARRACLOUGH, D. Mineralization and assimilation in soil-plant systems. In: KNOWLES, R.; BLACKBURN, T.H. (Ed.). **Nitrogen isotope techniques**. San Diego: Academic Press, 1993. p.209-242.

PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A.C.; CORRÊA, L.D.A.; SILVA, A.G.D.; CANTARELLA, H. Lixiviação de nitrato em pastagem de coastcross adubada com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.35, n.3, p.683-690, 2006.

QUIÑONES, A.; MARTÍNEZ-ALCÁNTARA, B.; LEGAZ, F. Influence of irrigation system and fertilization management on seasonal distribution of N in the soil profile and on N-uptake by citrus trees. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.122, n. 3, p. 399-409, Abr. 2007.

QUIÑONES, A.; BAÑULS, J.; PRIMO-MILLO, E.; LEGAZ, F. Recovery of the ^{15}N -labelled fertilizer in citrus trees in relation with timing of application and irrigation system. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 268, n. 1, p. 367-376, Jan. 2005.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. 285 p. (Boletim técnico, 100).

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004. 478 p.

REICHARDT, K.; SILVA, A.L.; FENILLI, T.A.B.; TIMM, L.C.; BRUNO, I.P.; VOLPE, C. A. Relation between nitrogen fertilization and water soil conditions for a coffee plantation from Piracicaba, SP. **Coffee Science**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 41-55, Jan-jun. 2009.

REIS, B.F. Análise química por injeção em fluxo: vinte anos de desenvolvimento. **Química Nova**, São Paulo, v. 19, p. 51-58, 1996.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1986. p. 13-86.

RICCI, M.S.F.; NEVES, M.C.P. **Cultivo do Café Orgânico**. Seropédica: EMBRAPA Agrobiologia, 2004. 95 p. (Sistemas de Produção, 2).

RODRIGUES, L.A.; MARTINEZ, H.E.P.; NEVES, J.C.; NOVAIS, R.F.; MENDONÇA, S.M. Growth response of coffee tree shoots and roots to subsurface liming. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 234, p. 207–214, 2001.

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente ExcelTM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

RUCKART, P.Z.; HENDERSON, A.K.; BLACK, M.L.; FLANDERS, W.D. Are nitrate levels in groundwater stable over time? **Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology**, New York, v. 18, p. 129–133, 2008.

SANZONOWICZ, C.; TOLEDO, P.M.R.; SAMPAIO, J.B.R.; GUERRA, F.A.; SILVA, D.T.M. **Adubação nitrogenada em café decotado num Latossolo de Cerrado**. Planaltina: Embrapa, Embrapa Cerrados, 2003. 15 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Cerrados)

SCHJOERRING, J.K.; KYLLINGSBAEK, A.; MORTENSEN, J.V.; BYSKOV-NIELSEN, S. Field investigations of ammonia exchange between barley plants and the atmosphere. I. Concentration profiles and flux densities of ammonia. **Plant, Cell and Environment**, Malden, v. 16, p. 161–167, 1993.

SMART, D. R.; BLOOM, A. J. Wheat leaves emit nitrous oxide during nitrate assimilation. **Proceedings of the National Academy of Sciences of The United States of America**, Washington, v. 98, n. 14, p. 7875–7878, 2001.

SOARES, A. R.; MANTOVANI, E.C.; SOARES, A.A.; BATISTA, R.O.; COELHO, M.B.; RENA, A.B. Produção e distribuição de raízes em cafeeiros irrigados por gotejamento. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 15, n. 2, p. 130-140, Abr-jun. 2007.

SORENSEN, P.; JENSEN, E.S. Sequential diffusion of ammonium and nitrate from soil extracts to a polytetrafluorethylene trap for ^{15}N determination. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 252, p. 201-203, 1991.

SPOLIDORIO, E.S. **Balço de nitrogênio (^{15}N) na cultura do trigo irrigado**. 1999. 128 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

STATSOFT INC. **Statistica v 8.0**. Tulsa, 2004. 1CD-ROM.

SYSTAT. **Table Curve 2D**. San Jose, CA, 2002. 1CD-ROM.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução de SANTARÉM, E. R. et al. 3rd ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.D.; VITTI, A.C.; GAVA, G.J.D.C.; BENDASSOLLI, J.A. Perdas do nitrogênio da uréia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 193-201, 2002.

URQUIAGA, S.; ZAPATA, F. **Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en América Latina y el Caribe**. Porto Alegre: Gênese, 2000. 110 p.