

# RELAÇÃO ENTRE A ADUBAÇÃO NITROGENADA E AS CONDIÇÕES HÍDRICAS DO SOLO PARA UM CAFEZAL DE PIRACICABA, SP

Klaus Reichardt<sup>1</sup>, Adriana Lúcia da Silva<sup>2</sup>, Tatieli Anete Bergamo Fenilli<sup>3</sup>,  
Luís Carlos Timm<sup>4</sup>, Isabeli Pereira Bruno<sup>5</sup>, Carlos Alberto Volpe<sup>6</sup>

(Recebido: 29 de abril de 2008; aceito: 23 de setembro de 2008)

**RESUMO:** Apesar do manejo da cultura do café já estar bem estabelecido no Brasil, ainda existe espaço para sua melhoria no que se refere ao uso dos recursos naturais disponíveis em cada região produtora, visando ao aumento de produtividade. Aqui são apresentados resultados sobre o destino do nitrogênio (N) do fertilizante aplicado a um cafezal, relacionados às condições hídricas prevaletentes. São discutidos balanços hídricos que permitiram avaliações da distribuição radicular, do coeficiente de cultura e das condições hídricas do solo durante o desenvolvimento da cultura. Cerca de 60% do sistema radicular se distribui na camada 0-0,3 m e o coeficiente médio de cultura foi de 1,1 para plantas de 3 a 5 anos de idade. Pelo uso do marcador de nitrogênio - <sup>15</sup>N - pôde-se estudar a distribuição do N do fertilizante dentro da planta e do solo, bem como estabelecer balanços gerais de N que também incluem as perdas, como a lixiviação e a volatilização. Após dois anos de aplicação de sulfato de amônio, em doses de 280 (1º ano) e 350 (2º ano) kg.ha<sup>-1</sup> de N, em quatro aplicações iguais realizadas no período de taxas de crescimento positivo, as recuperações do N do fertilizante foram 19,1% pela parte aérea e 9,7% pelas raízes, restando 12,6% no solo e 11,2% na serrapilheira; 0,9% foi perdido por volatilização e 2,3% por lixiviação; 26,3% foram exportados pela colheita e 18,2% permaneceram em compartimentos não avaliados. Dos 630 kg.ha<sup>-1</sup> de N aplicados nos dois anos, ao final 180 se encontravam na planta (parte aérea mais raiz), o que equivale a 28,5%; 150 kg.ha<sup>-1</sup> de N ficaram disponíveis para os próximos anos (solo e serrapilheira) e apenas 20 kg.ha<sup>-1</sup> de N foram efetivamente perdidos (volatilização e lixiviação).

Palavras-chave: Balanço hídrico, balanço de nitrogênio, água no solo, lixiviação, volatilização, *Coffea arabica*.

## RELATION BETWEEN NITROGEN FERTILIZATION AND WATER SOIL CONDITIONS FOR A COFFEE PLANTATION FROM PIRACICABA, SP

**ABSTRACT:** Although the management of the coffee crop is well established in Brazil, there is still room for its improvement in relation natural resources available in each region, aiming the increase in productivity. Here are presented results regarding the fate of the fertilizer nitrogen (N) applied to a coffee plantation related to the prevailing soil water conditions. Soil water balances are discussed, which allowed evaluation of the root distribution, determinations of the crop coefficient and of the soil water conditions during the development of the crop. Approximately, 60% of the root system was distributed in the 0-0.3 m soil layer and the average crop coefficient was 1.1 for 3 to 5 year old plants. Using an N label, the <sup>15</sup>N, it was possible to study the distribution of N in the plant and in the soil and establishes general N balances, which also include losses like leaching and volatilization. After two years of ammonium sulfate application, at rates of 280 (1st year) and 350 (2nd year) kg.ha<sup>-1</sup> of N, in four equal application performed during the period of positive growth rate, the recuperation of fertilizer N were 19.1% by the aerial plant part and 9.4% by the roots, 12.6% remained in the soil and 11.2% in the litter; 0.9% was lost by volatilization and 2.3% by leaching; 26.3% was exported through harvesting and 18.2% remained in non evaluated compartments. From the applied 630 kg.ha<sup>-1</sup> of N during the two years, 180 kg.ha<sup>-1</sup> of N were found in the plant (shoot and root), which corresponds to 28.6%; 150 kg.ha<sup>-1</sup> of N remained available for the next years (soil and litter), and only 20 kg.ha<sup>-1</sup> of N were effectively lost (volatilization and leaching).

Key words: Water balances, nitrogen balance, soil water, leaching, volatilization, *Coffea arabica*.

### 1 INTRODUÇÃO

Apesar do manejo da cultura do café estar bem consolidado, ainda há espaço para seu aprimoramento,

principalmente no que se refere às relações clima-solo-cultura (RENA & MAESTRI, 2000) e à adubação nitrogenada que muitas vezes não é feita de forma adequada, tanto em termos de dose como

<sup>1</sup>Professor, USP/CENA – Laboratório de Física do Solo – Cx. P. 96 – 13400-970 – Piracicaba, SP – klaus@cena.usp.br

<sup>2</sup>Professora, UNICAMP/COTIL – Departamento de Geomática – Av. Cônego Manoel Alves, 129 – 13484-420 – Limeira, SP.

<sup>3</sup>Professora, FURB – Depto de Engenharia Florestal, Campus II, Rua São Paulo, 3250 – Itoupava Seca – 89030-000 – Blumenau, SC.

<sup>4</sup>Professor, Departamento de Engenharia Rural/FAEM/UFPel, Cx. P. 354 – 96001-970 – Pelotas, RS.

<sup>5</sup>Professora, USP/ESALQ – Departamento de Produção Vegetal, Cx. P. 9 – 13418-900 – Piracicaba, SP.

<sup>6</sup>Professor, UNESP/FCAV – Departamento de Ciências Exatas, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n – 14884-900 – Jaboticabal, SP.

época de aplicação (KÜPPER, 1976; MALAVOLTA, 1986; MARTINS, 1981). Visando a contribuir para o conhecimento mais aprofundado de suas relações hídricas, bem como do caminhar do nitrogênio do adubo dentro das diferentes partes da planta de café, aqui é apresentado um estudo detalhado dos balanços de água e de nitrogênio do adubo, desenvolvido em um cafezal de Piracicaba, SP.

O nitrogênio é o nutriente exigido em maior quantidade pela cultura do café (CATANI & MORAES, 1958; MALAVOLTA, 1993) devido às funções que exerce como constituinte de moléculas de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos e citocromos. Quando o fertilizante nitrogenado é aplicado, parte dele é recuperada pelo sistema radicular e parte aérea, parte permanece no solo enquanto outra porção pode ficar imobilizada na serrapilheira ou pode se perder do sistema solo-planta. Resultados obtidos sob os mais diversos sistemas agrícolas mostraram que raramente uma cultura aproveita mais de 60% do nitrogênio aplicado como fertilizante.

Em função da interação de fatores genéticos, nutricionais e ambientais, as plantas de café normalmente crescem em diferentes ritmos durante as diferentes épocas do ano (MOHR & SHOPFER, 1995; RENA et al., 1996; TAIZ & ZIEGER, 1991). A fase vegetativa das plantas perenes é ininterrupta, variando de intensidade durante o ano em razão da fenologia da planta, força-dreno dos órgãos e das condições ambientais, sendo favoráveis ao crescimento temperaturas acima de 12,5°C, boa disponibilidade hídrica e fotoperíodo longo. No hemisfério sul, durante o inverno o crescimento vegetativo é menor devido aos efeitos da baixa temperatura e ou à falta de água no solo (AMARAL et al., 1987; RENA & MAESTRI, 1986).

O crescimento radicular, da mesma maneira que ocorre com a parte aérea, diminui quando a temperatura do solo aproxima de 13°C (FRANCO, 1965). Mas como em nosso meio a temperatura do solo é freqüentemente superior a 17°C, admite-se que as raízes são ativas e que a atividade da redutase do nitrato no inverno é aumentada com o fornecimento de N (AMARAL, 1991; AMARAL et al., 1987).

As quantidades de N adicionadas às culturas dependem do teor de N mineral que o solo pode

fornecer em determinada fase de desenvolvimento da cultura. A matéria orgânica (MO) é a principal fonte de N no solo, onde mais de 85% do N encontram-se na forma orgânica; seu teor é muito variável e depende do processo de mineralização (MALAVOLTA, 1986). De acordo com a recomendação oficial, para cafeeiros em produção as doses de N baseiam-se no rendimento esperado e no teor do nutriente na folha. São recomendadas doses de até 450 kg ha<sup>-1</sup> de N por ano agrícola, fornecidas no período chuvoso, de setembro a março, compreendendo as fases de floração, frutificação e desenvolvimento vegetativo (RAIJ et al., 1996; RENA & MAESTRI, 1987; RIBEIRO et al., 1999).

Para um melhor entendimento do balanço do N no sistema solo-planta, pode-se lançar mão da técnica que utiliza o isótopo estável de N, o <sup>15</sup>N, como traçador. Essa técnica consiste em fornecer ao organismo em estudo um composto químico no qual a razão isotópica do elemento considerado é diferente da natural e em seguida procurar em que fração dos produtos sintetizados se encontra o elemento com razão isotópica alterada (HARDARSON, 1990; TRIVELIN et al., 1973).

Poucos estudos foram realizados com plantas perenes utilizando o traçador <sup>15</sup>N, pela dificuldade de se avaliar o acúmulo de massa seca e por necessitar-se de fertilizante marcado em grande quantidade, o que onera os custos de pesquisa. No Brasil, entre as culturas perenes destacam-se os trabalhos de Boaretto et al. (1999a,b), que estudaram fertilização foliar em laranjeiras em formação e Fenilli et al. (2004), que estudaram a dinâmica de <sup>15</sup>N em laranjeiras em solução nutritiva. Nario et al. (2003), estudando o comportamento do N em pessegueiro de cinco anos de idade com fertilizante marcado, observaram baixa eficiência no uso dos 100 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicados, a qual variou de 8,3 a 12,7%.

Na cultura do café alguns trabalhos foram realizados utilizando essa técnica, como o de Bustamante et al. (1997), que fizeram um balanço de N em mudas de café, utilizando nitrato de amônio, uréia e nitrato de potássio marcados. Lima Filho & Malavolta (2003) estudaram a remobilização de N de reserva e seu uso nas diferentes partes de cafeeiros em fase reprodutiva em casa de vegetação, em condições normais e em condições de carência dos elementos.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado em um cafezal (*Coffea arabica* L.) de 0,2 ha da cultivar Catuaí Vermelho (IAC-44), inicialmente com três anos de idade, cultivado ao longo de curvas de nível em uma encosta Oeste de uma Terra Roxa Estruturada com um declive de 10%, em espaçamento de 1,75m entre linhas e 0,75m entre plantas, com o propósito da formação de um renque. O clima de Piracicaba (tipo Cwa de acordo com Köppen) se caracteriza por uma precipitação média de 1.257mm anuais, com inverno (maio-agosto) seco e seguintes temperaturas: média: 25,0°C; média máxima: 30,5°C; média mínima: 18,0°C. O solo do local é um Nitossolo Vermelho Eutrófico, que apresenta as seguintes características para a camada arável (0-30 cm): densidade do solo 1,50g.cm<sup>-3</sup>; % argila, 43,6; % silte, 30,9; % areia, 25,5; pH em CaCl<sub>2</sub> 5,3; MO 31 g.dm<sup>-3</sup>.

As avaliações iniciaram-se em 01/09/2003 (0 DAI) e se estenderam até 31/08/2005 (731 DAI), onde DAI = dias após o início, uma vez tratar-se de cultura perene. Devido à grande relação entre as dinâmicas do nitrogênio (N) e da água, essas avaliações cobriram os componentes de ambos os balanços. No caso da água, constituíram-se de medidas da chuva (P); evapotranspiração atual (ER); escoamento superficial (RO); drenagem abaixo da zona radicular (Q<sub>L</sub>), considerada como a camada de 1m de profundidade e variações de armazenamento de água ("S) nesta mesma camada (SILVA, 2005). No caso do nitrogênio, o interesse se focalizou no fertilizante e, por isso, esse foi marcado isotopicamente com <sup>15</sup>N, possibilitando sua quantificação nas diversas partes do sistema. A adubação nitrogenada foi aplicada de acordo com um delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições, sendo T<sub>0</sub> sem N, T<sub>1</sub> meia dose N e T<sub>2</sub> dose completa: sulfato de amônio, 280 kg.ha<sup>-1</sup> de N no 1º ano (2003/2004, baixa produção inicial) e 350 kg.ha<sup>-1</sup> no 2º ano (2004/2005, alta produção), segundo recomendações de Raij et al. (1996) e Ribeiro et al. (1999). As doses foram divididas em quatro aplicações iguais, a lançar abaixo da saia e sobre a serrapilheira, em 01/09 e 60, 45 e 45 dias depois. Neste estudo são apresentados os dados do tratamento T<sub>2</sub>, onde foram desenvolvidos os balanços hídricos e de N do fertilizante marcado com <sup>15</sup>N. Os detalhes do estudo do <sup>15</sup>N podem ser vistos em Fenilli et al. (2007a). A técnica de marcação com <sup>15</sup>N permite fazer a distinção entre a absorção de N de duas fontes distintas, no caso, o N nativo do solo e o N marcado do fertilizante.

Para isso, o sistema foi subdividido nos seguintes compartimentos (C<sub>i</sub>):

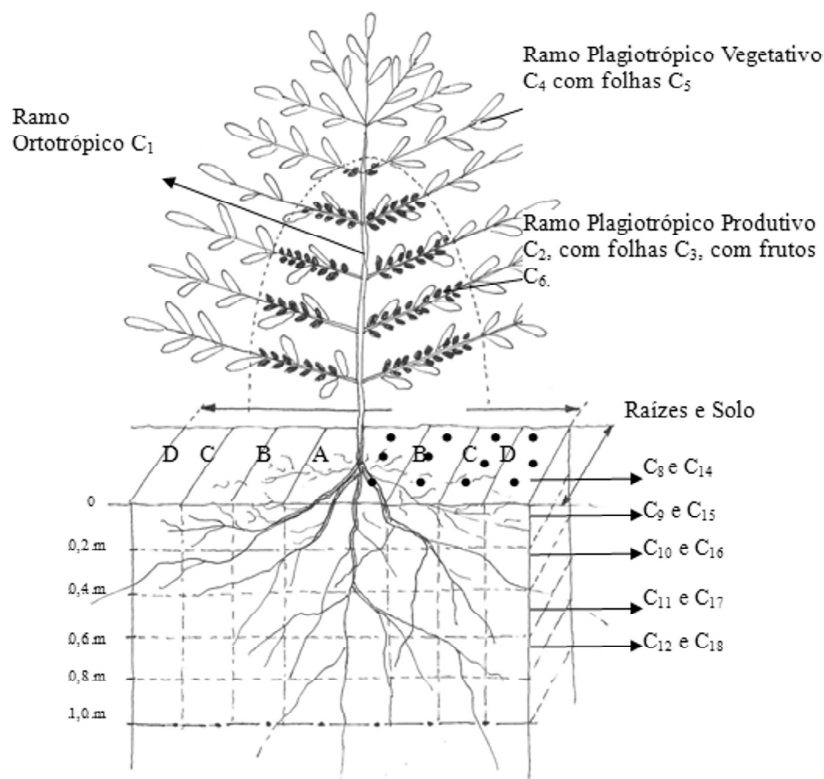
1) Planta: C<sub>1</sub> ramo ortotrópico ou caule (C), C<sub>2</sub> ramos plagiotrópicos produtivos (RP), C<sub>3</sub> folhas de ramos produtivos (FRP), C<sub>4</sub> ramos plagiotrópicos vegetativos (RV), C<sub>5</sub> folhas de ramos vegetativos (FRV), C<sub>6</sub> frutos (FR), C<sub>7</sub> subtotal da parte aérea, C<sub>8</sub> raízes da camada 0-0,2 m incluindo a maior parte da pivotante, C<sub>9</sub> raízes da camada 0,2-0,4 m, C<sub>10</sub> raízes da camada 0,4-0,6 m, C<sub>11</sub> raízes da camada 0,6-0,8 m, C<sub>12</sub> raízes da camada 0,8-1,0 m, C<sub>13</sub> subtotal de raiz (R) 0-1,0 m;

2) Solo: C<sub>14</sub> camada 0-0,2 m, C<sub>15</sub> camada 0,2-0,4 m, C<sub>16</sub> camada 0,4-0,6 m, C<sub>17</sub> camada 0,6-0,8 m, C<sub>18</sub> camada 0,8-1,0 m, C<sub>19</sub> subtotal de solo (0-1,0 m);

3) Perdas: C<sub>20</sub> volatilização e reabsorção, C<sub>21</sub> lixiviação, C<sub>22</sub> serrapilheira, C<sub>23</sub> exportação de grãos e C<sub>24</sub>, que representa "outros compartimentos" não avaliados (Figura 1) (FENILLI, 2006).

Para as medidas de massa de matéria seca (mMS), de seu teor de N e do marcador <sup>15</sup>N a parte aérea das plantas marcadas e não marcadas foi amostrada aproximadamente a cada 60 dias até as colheitas; solo, raiz e serrapilheira a cada final de ano agrícola. A volatilização e a absorção do N volatilizado do fertilizante foram determinadas em experimento à parte (FENILLI et al., 2007c), conduzido nas mesmas condições deste experimento. Com esses dados foi possível determinar em cada compartimento o total de N acumulado (NA) e a quantidade de N no respectivo compartimento que veio do fertilizante marcado (QNddf), ambos empregados no estabelecimento do balanço de N. Foi também possível estimar a recuperação R% do N do fertilizante, que corresponde à relação entre o Nddf para cada compartimento e o total de N aplicado como fertilizante.

Os tratos culturais do cafezal foram os que normalmente se aplicam à cultura, especificamente, com aplicações de 75 kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 280 kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O; uso de herbicida glifosato (Round up 480) em combinação com capinação da entrelinha para controle das ervas daninhas; e colheita manual. Houve necessidade de quatro irrigações (34,2mm, 37,5mm, 4,9mm e 19,2mm nos períodos de 01 a 15/09/2003, 16 a 30/08/2004, 27/09 a 11/10/2004 e 25/04 a 09/05/2005, respectivamente) devido a estresses hídricos que poderiam prejudicar as florações.



**Figura 1** – Esquema da amostragem nos diferentes compartimentos da planta e do solo, onde  $C_8$  a  $C_{12}$  se referem à raiz e  $C_{14}$  a  $C_{18}$  a solo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

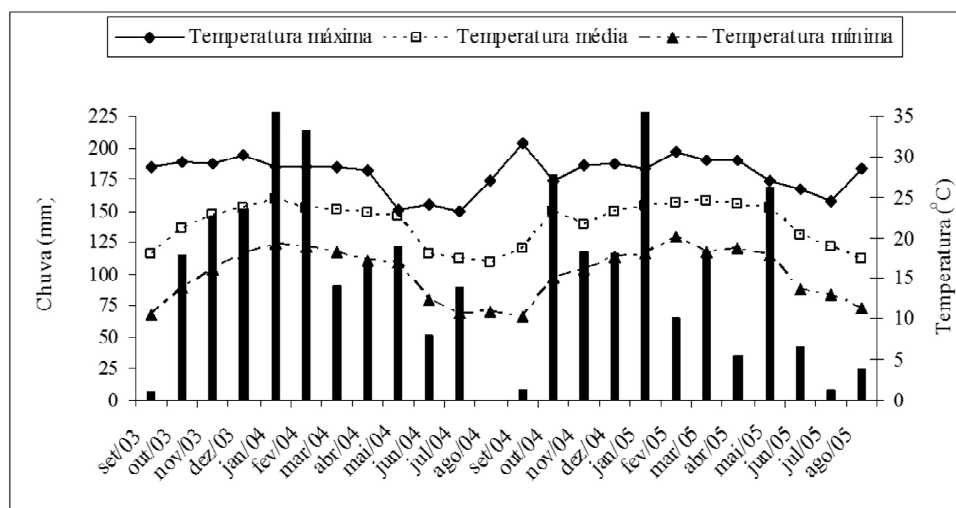
As condições climáticas que prevaleceram durante os dois anos de experimentação (Figura 2) não se afastaram muito das condições normais de Piracicaba indicadas acima.

Através das medidas dos componentes do balanço hídrico pôde-se verificar que o plantio ao longo de sulcos em curva de nível e em terreno com declive de 10% controlou muito bem o escoamento superficial de água, que não ultrapassou 0,3% da chuva (SILVA et al., 2006). O nível de água do solo permaneceu por todo o tempo dentro da faixa de água disponível (125 mm da camada 0-1,0 m), exceto para os dois períodos (09/2003 e 09/2004) onde houve necessidade de irrigação para evitar a perda da primeira florada, tendo sido aplicados 95,8 mm nos dois anos de experimento. A capacidade de água disponível desse solo, de 125 mm, representa uma boa reserva de água, pois considerando-se uma

evapotranspiração média de  $3 \text{ mm.dia}^{-1}$  e uma fração de água disponível (água útil) igual a 0,48 (ALLEN et al., 1998), ela atenderia às necessidades da cultura por 20 dias sem chuva.

Os dados de armazenamento de água (SILVA et al., 2008a) também permitiram a estimativa da distribuição radicular do cafeeiro considerando-se a parte ativa nesse processo. A Figura 3 mostra essa distribuição para os dois anos de avaliações, não tendo sido encontrada diferença significativa em termos de percentagem em relação à profundidade para os dois anos de estudo. Pode-se verificar que quase 60% do sistema radicular foi encontrado na camada superficial de 0-30 cm e que muito pouco passou da profundidade de 1m.

Balancos hídricos de campo envolvem medidas trabalhosas e dispendiosas em comparação com balanços hídricos climatológicos. A Figura 4 mostra resultados da comparação da evapotranspiração atual calculada pelo método climatológico de Penman-



**Figura 2** – Dados climáticos da área experimental durante os anos agrícolas 2003/2004 e 2004/2005.

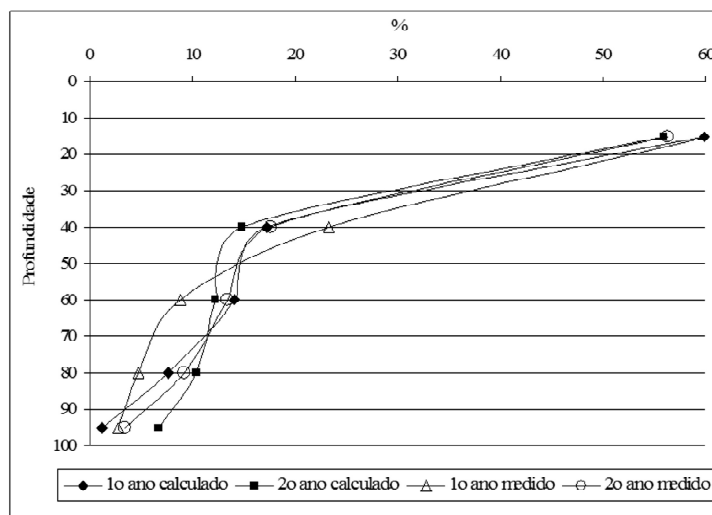
Monteith e pelo balanço hídrico de campo (BRUNO et al., 2007). A concordância entre eles sugere que o balanço hídrico-climatológico, que pode ser estabelecido por programas de computação (SENTELHAS & ANGELOCCI, 2006), é plenamente satisfatório para efeito prático.

As medidas de evapotranspiração, tanto a máxima da cultura quanto a potencial, permitiram também a estimativa do coeficiente de cultura do café, que foi em média 1,1, porém com uma grande variabilidade que levou a um coeficiente de variação de 18,4% (SILVA et al., 2008a). As correlações entre o coeficiente de cultura e as variáveis ligadas ao crescimento e desenvolvimento da cultura não foram significativas nem mesmo com a área foliar.

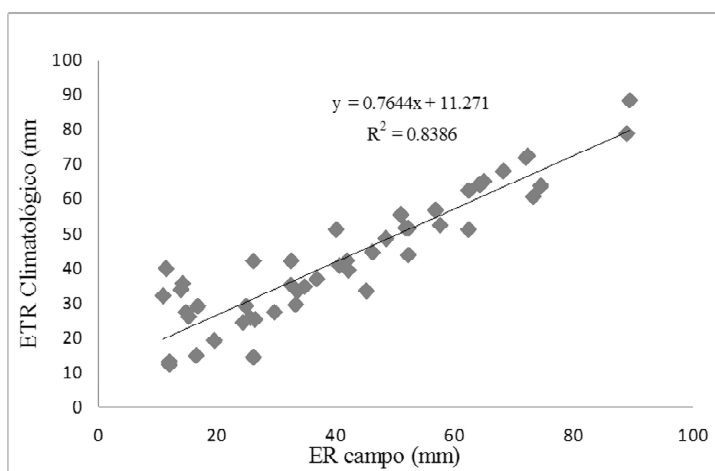
A drenagem abaixo da zona radicular (1,0m) foi estimada por dois métodos (SILVA, 2005) devido às dificuldades inerentes a essa medida. O primeiro, baseado na equação de Darcy e comumente utilizado em estudos de física de solos (SILVA et al., 2007), foi considerado impróprio para essa estimativa em condições de campo. O segundo, mais prático e denominado método da diferença, considera como drenagem profunda o excesso de água descontando o escoamento superficial, em situações de perfil de solo acima da capacidade de campo. Por esse método resultou uma drenagem de 364,6mm para os dois anos, correspondente a 15,2% da chuva (SILVA et al., 2006). Tal drenagem está diretamente ligada à lixiviação do N, que será abordada a seguir.

Uma análise mais detalhada dos dados de armazenamento de água no solo (SILVA et al., 2008b.) demonstrou a necessidade da preocupação com sua variabilidade espacial, que dificulta a obtenção de valores médios representativos, que são importantes na caracterização da condição hídrica do solo do cafezal. Um fato interessante que essa análise demonstrou foi a estabilidade temporal dos dados de armazenamento de água, isto é, os pontos amostrados que se apresentam mais úmidos (maior armazenamento) em relação à média do campo assim permaneceram pelos dois anos de avaliações; o mesmo aconteceu com os mais secos, de tal forma que também foi possível determinar os pontos que se comportavam como a média. Assim, entre as 15 posições de medida de umidade com sonda de neutrons, foi possível escolher aquela que representava a média, abrindo a possibilidade de diminuir o número de pontos amostrados em períodos posteriores ao experimental, para continuar avaliando a condição hídrica do solo.

Com relação à produtividade do café verificou-se que no 1º ano agrícola não houve diferença entre os tratamentos, por tratar-se de cafezal ainda em formação (Tabela 1). No segundo ano agrícola, observou-se uma grande diferença na produtividade, tanto no T<sub>1</sub> quanto no T<sub>2</sub>, devido ao fato de a adubação do 1º ano estar se refletindo nesse 2º ano. O tratamento T<sub>2</sub> teve maior produtividade que T<sub>1</sub>, e isso se deve à quantidade de N usada na adubação, uma vez que os



**Figura 3** – Valores médios de extração radicular de água do solo (%) calculados pela variação de armazenamento nos balanços hídricos, em função da profundidade. As % para cada camada em relação ao total são comparadas com valores de massa seca de raiz medidos no campo, ao final de cada ano experimental.



**Figura 4** – Regressão linear entre a evapotranspiração atual calculada pelo balanço climatológico (y) e a evapotranspiração atual medida pelo balanço de campo (x).

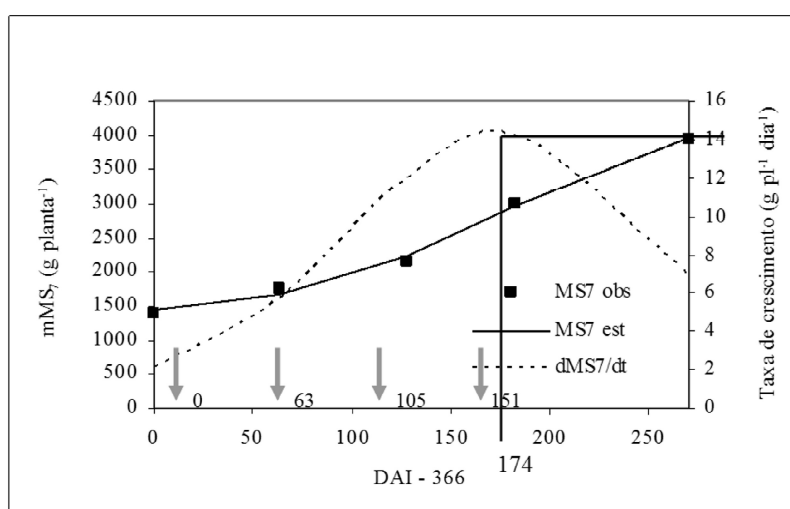
demais fatores permaneceram constantes. Essas plantas tiveram maior crescimento, principalmente de folhas, o que se reflete em maior número de flores e conseqüentemente em maior produção de grãos. Apesar de  $T_2$  ter tido uma produção maior que  $T_1$ , a produção ainda pode ser considerada baixa.

O total de massa de matéria seca acumulada (mMS) pela parte aérea ( $C_1$  a  $C_6$ ) teve um comportamento sigmoidal (FENILLI et al., 2007b),

como mostra a Figura 5, para o segundo ano, com valores crescentes a partir de 1º setembro (0 DAI) até fevereiro (174 DAI), mostrando que os momentos de aplicação do parcelamento escolhido para a dose de N se distribuem dentro desse período de taxa de crescimento positiva. Como será visto a seguir, esse parcelamento feito dentro do período de valores crescentes de taxa de acúmulo de MS também contribuiu para o bom aproveitamento do fertilizante.

**Tabela 1** – Produtividade do cafeeiro nos dois anos agrícolas estudados (2003/2004 e 2004/2005).

Tratamentos	Café Beneficiado			
	2003/2004		2004/2005	
	g planta <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	g planta <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>
T <sub>0</sub>	30,5	234	38,7	294
T <sub>1</sub>	38,8	294	112,8	858
T <sub>2</sub>	38,1	288	625,3	4.764

**Figura 5** – Acúmulo de matéria seca  $mMS_7$  (linha cheia e pontos experimentais) da parte aérea ( $C_1$  a  $C_6$ ), no segundo ano, em função do tempo (DAI, dias após o início), onde 0 DAI equivale a 1ª set. 2004 e 268 DAI equivale ao fim da colheita, em maio/junho 2005. A linha pontilhada representa a taxa de crescimento e a indicação por meio de setas as épocas de aplicação do adubo nitrogenado e da taxa máxima de crescimento (174 DAI).

Em relação à quantidade de N proveniente do fertilizante (QNddf) presente na planta no 1º ano (Tabela 2) vê-se que aos 63 DAI a parte aérea continha 4,06 g dos 9,19 aplicados aos 0 DAI (1ª adubação), o que corresponde a 44,1%. É importante lembrar que aos 63 DAI a coleta de material para medida de N total e <sup>15</sup>N se deu instantes antes da 2ª adubação. Aos 126 DAI a cultura já havia recebido três adubações, isto é, 27,57 g planta<sup>-1</sup> e absorvido 13,00 g planta<sup>-1</sup>, ou 47,2%. Aos 182 DAI, data em que QNddf passou por um máximo, as quatro aplicações de fertilizante já haviam sido feitas e a parte aérea continha 26,2 g planta<sup>-1</sup>, isto é, 71,3%, o que é uma quantidade expressiva, mostrando a eficiência da adubação. Lima Filho & Malavolta (2003) verificaram, em cafeeiro de 14 meses de idade,

em casa de vegetação, que a exportação do N pelos órgãos de reserva foi de 47% a 58% nas folhas, de 20% a 21% nos ramos e gemas florais e de 21%-32% nas raízes. No presente o QNddf na parte aérea na data da colheita (243 DAI) se reduziu para 15,77 g planta<sup>-1</sup>. Essa redução pode ser explicada por algumas razões: a translocação de N para fora da parte aérea, para o compartimento 13 (sub-total de raízes que não foi avaliado nessas datas intermediárias); as perdas de partes de compartimentos, como queda de folhas e de frutos; as perdas de N pela parte aérea na forma de amônia, como comprovado por Asman et al. (1998), Farquhar et al. (1980), Herrmann et al. (2002), Mattsson et al. (1998) e Wetselaar & Schjoerring et al. (1993). Aos 182 aos 243 DAI, todos os compartimentos perderam

N e as perdas relativas de QNddf foram: caule = 39%; ramos produtivos = 49%; folhas de ramos produtivos = 67%; ramos vegetativos = 11%; folhas de ramos vegetativos = 23% e frutos = 49%. Perdas gasosas de N pela parte aérea, translocação para raízes e solo e posterior lixiviação, gutação e perda de material vegetal são perdas comuns e difíceis de serem mensuradas. Há inúmeros compostos nitrogenados que podem volatilizar através das folhas, incluindo amônia e algumas aminas, dinitrogênio e óxidos de N (WETSELAAR & FARQUHAR, 1980). A superfície de troca de amônia é essencialmente bidirecional, dependendo do ponto de compensação da amônia na vegetação e da atmosfera do entorno. A troca de  $\text{NH}_3$  pode ocorrer não apenas via estômato, mas também ser depositada na superfície foliar, volatilizando para a atmosfera (ASMAN et al., 1998).

Descontando as perdas por folhas (serrapilheira) e frutos (exportação), o restante do N seria translocado para o sistema radicular, que também cresceu e se preparou para um novo ciclo produtivo. Como a maioria dos compartimentos ganhou em N total (FENILLI et al., 2007b) essas perdas de QNddf sugerem que “o nitrogênio mais novo”, aquele do fertilizante aplicado no ano, é mais móvel do que aquele que já faz parte da constituição da planta. Lima Filho & Malavolta (2003), estudando remobilização e reutilização de N em cafeeiros, observaram que em tecidos lançados após a iniciação

da gema floral, a demanda por N é coberta pelas reservas do cafeeiro com o seguinte percentual: frutos - 20,6% a 24,8%, folhas - 15,6% a 19,4% e ramos - 19,0% a 20,5%.

Considerando que o nitrogênio total na parte aérea (NA) é proveniente de duas fontes - do fertilizante (QNddf) e do solo (QNdds = NA - QNddf) - é apresentada a Figura 6, que mostra a proporção do N dessas duas fontes de N para as quatro épocas amostradas no 1º ano. A proporção Nfert/Nsolo aumentou até 182 DAI quando passou por um máximo de 1,12, isto é, quando 71,3% do N da parte aérea da planta foi constituído do N do fertilizante.

A posterior redução dessa proporção deve-se ao fato das aplicações de fertilizante terem terminado aos 151 DAI. Esses aspectos são de grande importância para o manejo correto dos fertilizantes nessa cultura.

Ao final do 1º ano (366 DAI) foi fechado o balanço do N do fertilizante para todos os compartimentos do sistema, apresentado na Tabela 3.

O compartimento 24 “outros” representa valores como a absorção de N pelas plantas vizinhas (da outra linha), por raízes abaixo de  $z = 1,0$  m, perdas de N pela água do escoamento superficial, perdas de N pela parte aérea, desnitrificação e erros nas medidas cuja soma representou apenas 10% do balanço.

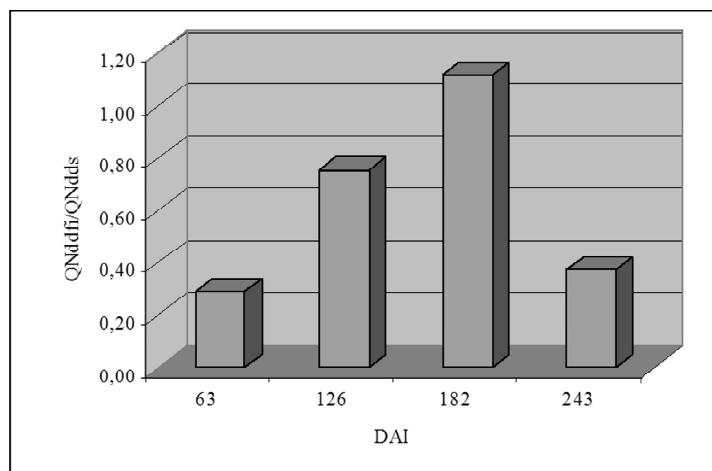
**Tabela 2** – Quantidade de N do fertilizante (QNddf) nas diferentes partes da planta nos períodos 0, 63, 126, 182, 243 DAI.

Compartimento	QNddf <sub>i</sub> (g planta <sup>-1</sup> )				
	0	63	126	182	243
C <sub>1</sub> C	0	0,49	1,67	2,68	1,64
C <sub>2</sub> RP	0	0,15	0,64	1,90	0,97
C <sub>3</sub> FRP	0	0,51	2,05	6,88	2,29
C <sub>4</sub> RV	0	0,33	0,71	1,28	1,14
C <sub>5</sub> FRV	0	2,55	7,41	10,96	8,46
C <sub>6</sub> FR	0	0,03	0,52	2,50	1,27
C <sub>7</sub> PA	0	4,06	13,00	26,20	15,77

Média de 5 repetições

C-Caule; RP-Ramos Produtivos; FRP-Folhas de ramos produtivos; RV-Ramos vegetativos; FRV-Folhas de ramos vegetativos; FR-Frutos; PA-Total da parte aérea.





**Figura 6** – Relação QNddf/QNdds em todas as épocas estudadas do 1º ano agrícola.

**Tabela 3** – Destino do N do fertilizante (QNddf) nos diferentes compartimentos e sua recuperação (R%) em termos do total aplicado depois de um ano de cultivo (DAI 366).

C	Compartimento	QNddf <sub>i</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	R(%)
1	Caule	17,9	6,4
2	Ramos Produtivos	9,1	3,2
3	Folhas de Ramos Produtivos	3,4	1,2
4	Ramos Vegetativos	5,6	2,0
5	Folhas de Ramos Vegetativos	18,8	6,7
7	Sub-total da parte aérea	54,6	19,5
8	Raiz da camada 0-0,2 m	26,2	9,4
9	Raiz da camada 0,2-0,4 m	7,2	2,6
10	Raiz da camada 0,4-0,6 m	4,0	1,4
11	Raiz da camada 0,6-0,8 m	1,2	0,4
12	Raiz da camada 0,8-1,0 m	1,2	0,4
13	Sub-total de raízes	39,8	14,2
14	Solo da camada 0-0,2 m	30,4	10,7
15	Solo da camada 0,2-0,4 m	8,8	3,2
16	Solo da camada 0,4-0,6 m	4,1	1,5
17	Solo da camada 0,6-0,8 m	2,9	1,1
18	Solo da camada 0,8-1,0 m	3,8	1,4
19	Sub-total de solo	50,1	17,9
20	Volatilização	4,6 2,0 <sup>1</sup>	1,6 0,7 <sup>1</sup>
21	Lixiviação	6,5	2,3
22	Serrapilheira	79,4	28,4
23	Exportação pelos grãos	19,1	6,8
24	Outros <sup>2</sup>	28,0	10,0
	Total Geral	280,0	100,00

<sup>1</sup> Valor referente à absorção pela parte aérea da planta do N volatilizado

<sup>2</sup> Outros = valores de Nddf não estimados

Na parte aérea foi observada uma recuperação do N do adubo aplicado de 54,6 kg ha<sup>-1</sup>, que corresponde a 19,5% do N aplicado. Como foi discutido no item anterior, aos 182 DAI a parte aérea já tinha recuperado 71,3%, tendo havido, portanto, uma redução de QNddf até 366 DAI por conta de perdas de mMS e de redistribuição de N, já discutida. A serrapilheira formada acumulou 28,4% do N aplicado e, portanto, não pode ser considerada uma perda, pois quando permanece abaixo da projeção da copa pode ser uma excelente fonte de fertilização orgânica.

A raiz foi responsável pela absorção de 39,77 kg ha<sup>-1</sup>, ou seja, 14,2% do N do fertilizante, sendo que 9,4% do adubo estavam em raízes da camada 0-0,2 m. Esse acúmulo de N no sistema radicular é de grande importância para o desenvolvimento da planta no próximo ciclo reprodutivo. Wetselaar & Farquhar (1980) afirmam que para espécies perenes a translocação de N para órgãos subterrâneos serve de armazenamento para as estações de crescimento seguintes. Em pessegueiros, Nario et al. (2003) observaram que em média 27% do fertilizante aplicado estavam nas raízes, o que correspondia a 1 g/árvore, considerado como de baixa eficiência na absorção do fertilizante.

No solo encontraram-se 50,1 kg de N ha<sup>-1</sup> que correspondem a 17,9% do N do sulfato de amônio aplicado, sendo que na camada 0-20 cm verificou-se a maior concentração do N do fertilizante. Este N também continua à disposição da planta para o próximo ciclo. O total de perdas efetivas, como volatilização e lixiviação, foi de apenas 3,2%. É importante mencionar que a volatilização, apesar de pequena, pode ser bem mais pronunciada em casos de uso da uréia como fertilizante. A perda de 4,6 kg.ha<sup>-1</sup> indicada na Tabela 3 é subtraída de 2,0 kg.ha<sup>-1</sup>, referentes à absorção do fertilizante volatilizado. Fenilli et al. (2007c) mostram que cerca de 43 % do NH<sub>3</sub> volatilizado do fertilizante aplicado podem ser absorvidos pela copa das plantas. Esse valor é expressivo e mostra que, no caso de uso da uréia, as perdas totais por volatilização podem ser bem minimizadas por esse processo. A exportação pelos grãos foi pequena nesse ano: 6,8%, mas trata-se de uma perda “útil”, uma vez que ela representa a produção da cultura.

Em termos gerais, no balanço da Tabela 3, verifica-se que 19,5% do Nddf estavam na parte

aérea da planta, 14,2% nas raízes e 28,4% nas folhas caídas ao chão (serrapilheira), o que mostra uma eficiência de absorção do adubo pela planta, de 62,1%. Essa alta eficiência deve-se a vários fatores: aplicação do fertilizante antes da redução da taxa de crescimento da cultura; a fonte de N utilizada (sulfato de amônio) que apresenta menores perdas por volatilização; a forma de aplicação do fertilizante, parcelado em 4 épocas e aplicado próximo às raízes superficiais da camada de solo coberta pela serrapilheira; e ao regime hídrico favorável nas épocas das adubações.

No segundo ano agrícola, que se inicia em 01 Set. 04 (366 DAI), observa-se, com exceção de folhas de ramos produtivos, que houve aumento em todas as partes da planta estudadas no que se refere à quantidade de N do fertilizante absorvido, sendo que folhas de ramos vegetativos (FRV) continham maior quantidade de Nddf aos 366 DAI, cerca de 32% do total absorvido pela planta (Tabela 4). Observa-se que em 366 DAI a planta continha 7,60 g planta<sup>-1</sup> de N dos 36,76 g de N aplicados no ano anterior. Em 430 DAI a planta tinha absorvido 14,82 g planta<sup>-1</sup> do N aplicado, o que corresponde a 31,7% do N do fertilizante aplicado (36,76 g planta<sup>-1</sup>, 1º ano + 11,48 g planta<sup>-1</sup>, 2º ano). Em 491 DAI já haviam sido aplicadas 3 doses de N (36,76 + 34,44 g planta<sup>-1</sup>) e a planta já continha 20,27 g planta<sup>-1</sup>, que correspondem a 28,5%. Em 548 DAI as 4 aplicações do fertilizante já haviam sido feitas (36,76 + 45,92 g planta<sup>-1</sup>) e a parte aérea continha 29,82 g planta<sup>-1</sup>. Na colheita, em 636 DAI, a planta continha 38,48 g planta<sup>-1</sup>, ou 46,5% do N aplicado.

Com os resultados da relação QNddf/QNdds do 2º ano (Figura 7), pode-se observar que essa proporção aumentou até 548 DAI com um máximo de 1,15, onde 36,0% do fertilizante já tinham sido absorvidos pela parte aérea da planta e as aplicações do fertilizante já tinham terminado.

Ao final do segundo ano do experimento (731 DAI) também foi fechado o balanço do N derivado do fertilizante aplicado nos 2 anos (Tabela 5).

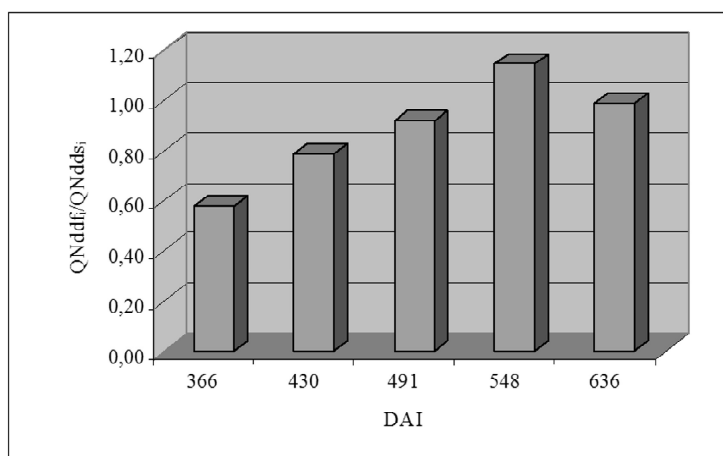
Na parte aérea foi observada uma recuperação do N do adubo aplicado em dois anos de 120,30 kg ha<sup>-1</sup>, que correspondem a 19,1%, sendo que no final do segundo ano do experimento não havia os compartimentos C<sub>3</sub> e C<sub>6</sub>, correspondentes a folhas de ramos produtivos e frutos, que foram eliminados

**Tabela 4** – Quantidade de N do fertilizante (QNddf) nas diferentes partes da planta aos 366, 430, 491, 548 e 636 DAI.

Compartimento	QNddf <sub>i</sub> (g planta <sup>-1</sup> )				
	366	430	491	548	636
C <sub>1</sub> C	2,34	3,43	3,55	4,16	4,99
C <sub>2</sub> RP	1,19	2,79	1,89	1,94	2,37
C <sub>3</sub> FRP	0,45	1,16	0,46	0,38	0,25
C <sub>4</sub> RV	0,73	0,71	0,51	1,19	1,21
C <sub>5</sub> FRV	2,46	5,32	6,29	12,35	10,44
C <sub>6</sub> FR	0,43	1,41	7,56	9,81	19,22
C <sub>7</sub> PA	7,60	14,82	20,27	29,82	38,48

Média de 5 repetições

C-Caule; RP-Ramos Produtivos; FRP-Folhas de ramos produtivos; RV-Ramos vegetativos; FRV-Folhas de ramos vegetativos; FR-Frutos; PA-Total da parte aérea.

**Figura 7** – Relação QNddf/QNdds<sub>i</sub> em todas as épocas estudadas do 2º ano agrícola.

na colheita. A serrapilheira, que representa uma porção da parte aérea da planta, acumulou 11,2% do N aplicado e, portanto, servirá como fonte orgânica de N. A raiz absorveu 59,4 kg ha<sup>-1</sup>, ou seja, 9,7% do N do fertilizante aplicado no período de 2 anos. No solo encontraram-se 79,3 kg de N ha<sup>-1</sup> que correspondem a 12,6% do N do sulfato de amônio aplicado, sendo a camada 0-0,2 m onde se verificou a maior concentração do N do fertilizante.

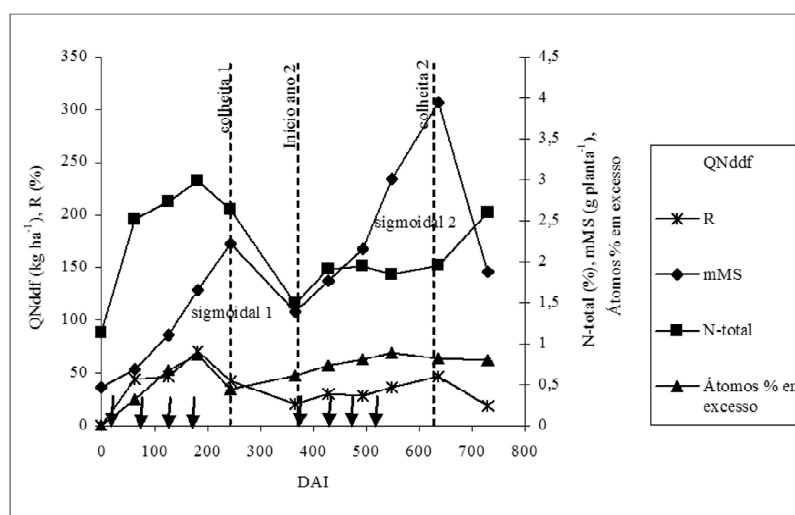
Para uma visão geral do comportamento da cultura do café no período total, no que se refere aos aspectos de nutrição nitrogenada com ênfase no fertilizante marcado, construiu-se a Figura 8.

Quanto a mMS, observam-se claramente as duas curvas sigmoidais que descrevem as fases que vão da floração à maturação (colheita) e os períodos pós-colheita caracterizados por grandes perdas de folhas e frutos (exportação). A quantidade de N do fertilizante na parte aérea acompanha razoavelmente a matéria seca, principalmente no 2º ano. Os teores de N total oscilam em torno de 2,5%, com uma tendência de diminuição, provavelmente por diluição com a mMS, que cresceu bastante do 1º para 2º ano. O teor baixo de N em 0 DAI deve-se ao estado nutricional pobre em que a cultura se apresentava no início. A composição isotópica do <sup>15</sup>N acompanhou

**Tabela 5** – Destino do N do fertilizante (QNddf) nos diferentes compartimentos, depois de dois anos de cultivo (DAI 731).

C	Compartimento	QNddf <sub>i</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	R(%)
1	Caule	48,4	7,7
2	Ramos Produtivos	22,3	3,5
4	Ramos Vegetativos	19,9	3,2
5	Folhas de Ramos Vegetativos	29,7	4,7
7	Subtotal da parte aérea	120,3	19,1
8	Raiz da camada 0-0,2 m	36,3	5,8
9	Raiz da camada 0,2-0,4 m	8,6	1,4
10	Raiz da camada 0,4-0,6 m	7,4	1,3
11	Raiz da camada 0,6-0,8 m	4,8	0,8
12	Raiz da camada 0,8-1,0 m	2,3	0,4
13	Subtotal de raízes	59,4	9,7
14	Solo da camada 0-0,2 m	47,8	7,6
15	Solo da camada 0,2-0,4 m	14,6	2,3
16	Solo da camada 0,4-0,6 m	8,7	1,4
17	Solo da camada 0,6-0,8 m	2,5	0,4
18	Solo da camada 0,8-1,0 m	5,7	0,9
19	Subtotal de solo	79,3	12,6
20	Volatilização	10,3	1,6
21	Lixiviação	4,5 <sup>1</sup>	0,7 <sup>1</sup>
22	Serrapilheira	14,5	2,3
23	Exportação pelos grãos	70,4	11,2
24	Outros <sup>2</sup>	165,6	26,3
25	Total Geral	630,0	100,0

<sup>1</sup> Valor referente à reabsorção do N volatilizado pela parte aérea    <sup>2</sup> Outros= valores de Ndff não estimados



**Figura 8** – Evolução da massa de matéria seca (mMS), teor de nitrogênio na parte aérea (N%), enriquecimento isotópico (átomos % em excesso de <sup>15</sup>N), quantidade do nitrogênio da parte aérea derivada do fertilizante (QNddf kg ha<sup>-1</sup>) e recuperação do fertilizante (R%) em função do tempo (DAI). As setas indicam as adubações dos 2 anos agrícolas.

as adubações com fertilizante marcado, de forma mais pronunciada no 1º ano, em comparação ao 2º devido às altas taxas de crescimento das plantas nesse período.

#### 4 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração dos pesquisadores D. Dourado-Neto, O. O. S. Bacchi, P. O. Trivelin, J. L. Favarin, F.M. Pereira da Costa e J. A. Bendassoli na condução do experimento.

#### 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p.
- AMARAL, J. A. T. **Crescimento vegetativo estacional do cafeeiro e suas inter-relações com fontes de nitrogênio, fotoperíodo, fotossíntese e assimilação do nitrogênio**. 1991. 139 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.
- AMARAL, J. A. T.; RENA, A. B.; BARROS, R. S.; ALVES, J. D. Periodicidade de crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e suas relações com fontes de nitrogênio, fotossíntese e redução do nitrato. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 14.; CONGRESSO LATINO AMERICANO DE TECNOLOGIA CAFEEIRA, 1., 1987, Campinas, SP. **Resumos...** Rio de Janeiro, RJ: Ministério da Indústria e Comércio/IBC, 1987. p. 118-120.
- ASMAN, W. A. H.; SUTTON, M. A.; SCHJØRRING, J. K. Ammonia: emission, atmospheric transport and deposition. **New Phytologist**, v. 139, n. 1, p. 27-48, May 1998.
- BOARETTO, A. E.; SHIAVINATTO-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, 1999a.
- BOARETTO, A. E.; SCHIAVINATTO NETO, P.; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P. C. O.; BISSANI, C. A. Eficiência da aplicação de <sup>15</sup>N-uréia no solo e nas folhas de laranjeiras jovens. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 20, n. 2, p. 477-498, 1999b.
- BRUNO, I. P.; SILVA, A. L.; REICHARDT, K.; DOURADO-NETO, D.; BACCHI, O. O. S.; VOLPE, C. A. Comparison between climatological and field water balances for a coffee crop. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 3, p. 215-220, 2007.
- BUSTAMANTE, C.; OCHOA, M.; RODRIGUEZ, M. I. Balance of three nitrogen <sup>15</sup>N fertilizers in a Cuban Oxisol cultivated with *Coffea arabica* L. **Tropicultura**, Brussel, v. 15, n. 4, p. 169-172, 1997.
- CATANI, R. A.; MORAES, F. R. P. A composição química do cafeeiro. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 1, p. 45-57, 1958.
- 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**, v. 66, p. 710-714, May 1980.
- FENILLI, T. A. B. **Destino do nitrogênio (<sup>15</sup>N) do fertilizante em uma cultura de café**. 2006. 100 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- 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.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; TRIVELIN, P. C. O.; DOURADO-NETO, D. The <sup>15</sup>N isotope to evaluate fertilizer nitrogen absorption efficiency by the coffee plant. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 79, 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 N-<sup>15</sup> recovery by the coffee plant. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, p. 541-547, 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.

- FRANCO, C. M. Fisiologia do cafeeiro. In: \_\_\_\_\_. **Cultura e adubação do cafeeiro**. 2. ed. São Paulo: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1965.
- HARDARSON, G. Use of nuclear techniques in studies of soil-plant relationships. In: \_\_\_\_\_. **Training course series**. 2. ed. Vienna: IAEA, 1990. 223 p.
- HERRMANN, B.; MATTSSON, M.; FUHRER, J.; SCHJÖRRING, J. K. Leaf-atmosphere NH<sub>3</sub> exchange of white clover (*Trifolium repens* L.) in relation to mineral N nutrition and symbiotic N<sub>2</sub> fixation. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 366, p. 139-146, Jan. 2002.
- KÜPPER, A. Consumo mensal de nitrogênio pelo cafeeiro: quantidade, época e modo de adubação nitrogenada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 4., 1976, Caxambu, MG. **Resumos...** Caxambu: IBC/GERCA, 1976. p. 215-217.
- LIMA FILHO, O. F.; MALAVOLTA, E. Studies on mineral nutrition of the coffee plant (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí Vermelho). Remobilization and re-utilization of nitrogen and potassium by normal and deficient plants. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 63, n. 3, p. 418-490, 2003.
- MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, E. (Eds.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1986. p. 165-274.
- MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro: colheitas econômicas e máximas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. 210 p.
- MARTINS, M. Doses e parcelamento de adubação nitrogenada e potássica na formação do cafeeiro em solos de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 9., 1981, São Lourenço, MG. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC; GERCA, 1981. p. 378-381.
- MATTSSON, M.; HUSTED, S.; SCHJÖRRING, J. K. Influence of nitrogen nutrition and metabolism on ammonia volatilization in plants. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 51, p. 35-40, 1998.
- MOHR, H.; SCHOPFER, P. **Plant physiology**. Berlin: Springer, 1995. 629 p.
- NARIO, A.; PINO, I.; ZAPATA, F.; ALBORNOZ, M. P.; BACHERLE, P. Nitrogen (<sup>15</sup>N) fertiliser use efficiency in peach (*Prunus persica* L.) cv. Goldencrest trees in Chile. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 97, p. 279-287, 2003.
- 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.
- RENA, A.; MAESTRI, M. Relações hídricas no cafeeiro. **ITEM**, Brasília, n. 48, p. 34-41, 2000.
- RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Eds.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade do cafeeiro**. Piracicaba: Potafos, 1986. p. 13-85.
- RENA, A. B.; MAESTRI, M. Ecofisiologia do cafeeiro. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Eds.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 119-147.
- RENA, A. B.; NACIF, A. P.; GONTIJO, P. T. G.; PEREIRA, A. A. Fisiologia do cafeeiro em plantios adensados. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1996, Londrina, PR. **Anais...** Londrina: IAPAR, 1996. p. 72-85.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (Eds.). **Recomendações 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.
- SCHJÖRRING, 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 & Environment**, v. 16, n. 2, p. 161-167, Mar. 1993.
- SENTELHAS, P. C.; ANGELOCCI, L. R. **Balanço hídrico: BH climatológico, normal e sequencial de cultura para controle da irrigação**. Disponível em: <<http://www.lce.esalq.usp.br/aulas/lce306/aula9.pps>>. Acesso em: 5 fev. 2006.

SILVA, A. L. **Variabilidade dos componentes do balanço hídrico**: um estudo de caso em uma cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no Brasil. 2005. 72 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2005.

SILVA, A. L.; BRUNO, I. P.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; DOURADO-NETO, D.; FAVARIN, J. L.; COSTA, F. M. P. da; TIMM, L. C. Soil water extraction by roots and evapotranspiration crop coefficients for coffee. **Agriambi**, 2008a. In press.

SILVA, A. L.; BRUNO, I. P.; TIMM, L. C.; DOURADO-NETO, D.; BACCHI, O. O. S.; HU, W.; REICHARDT, K. Temporal stability and spatial variability of soil water storage evaluated in a coffee crop field. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, 2008b. In press.

SILVA, A. L.; REICHARDT, K.; ROVERATTI, R.; BACCHI, O. O. S.; TIMM, L. C.; OLIVEIRA, J. C. M.; DOURADO-

NETO, D. On the use of soil hydraulic conductivity functions in the field. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 93, p. 162-170, 2007.

SILVA, A. L.; ROVERATTI, R.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; TIMM, L. C.; BRUNO, I. P.; OLIVEIRA, J. C. M.; DOURADO NETO, D. Variability of water balance components in a coffee crop in Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 2, p. 105-114, 2006.

TAIZ, L.; ZIEGER, E. **Plant physiology**. California: The Benjamin/Cummings, 1991. 559 p.

TRIVELIN, P. C. O.; SALATI, E.; MATSUI, E. **Preparo de amostras para análise de <sup>15</sup>N por espectrometria de massas**. Piracicaba: CENA, 1973. 41 p. (Boletim técnico, 2).

WETSELAAR, R.; FARQUHAR, G. D. Nitrogen losses from tops of plants. **Advances in Agronomy**, Madison, v. 33, p. 263-302, 1980.