

JOSÉ DONIZETI ALVES

RESPOSTAS DE MUDAS DE CAFÉ EM SOLUÇÃO NUTRITIVA À  
LOCALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E ENXOFRE NO  
SISTEMA RADICULAR

Tese Apresentada à Universidade  
Federal de Vicosa, como Parte das  
Exigências do Curso de Solos e  
Nutrição de Plantas, para Obtenção  
do Título de "Doctor Scientiae".

VICOSA

MINAS GERAIS - BRASIL

DEZEMBRO - 1991

*h* minha esposa, Vânia.

Aos meus filhos Alexandre e Aléssio.

Às minhas cunhadas Sônia, Clélia,  
Vera e Mirian.

## AGRADECIMENTOS

h Universidade Federal de Viçosa e à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), pela oportunidade de realização deste curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da Bolsa de Estudos.

Ao Professor Alemar Braga Rena, pelas orientações e discussões científicas, pelos ensinamentos e sobretudo pela amizade.

Aos Professores Victor Hugo Alvarez Venegas e Roberto Ferreira de Novais, pelo aconselhamento, amizade e disposição incansável.

Ao Professor Raimundo Santos Barros pelo sempre proveitoso e estimulante convívio e pelas sugestões.

Ao Professor Moacyr Maestri pelas críticas e sugestões.

Ao amigo Fisiologista, Antônio Teixeira Cordeiro, pelas sugestões e pelas discussões sempre proveitosas, desde

a fase de planejamento, que muito contribuíram, para o êxito deste trabalho.

Ao Professor Antônio Carlos Ribeiro pelo estímulo constante, pela ajuda irrestrita e amizade.

Ao Técnico de Laboratório, Carlos Raimundo Alves de Souza, pela amizade e valiosa participação durante a fase experimental,

Aos colegas e amigos Antônio Alves Pereira, Antônio de Pádua Nacif, Davi José Silva, Flávio Araújo Couto, Ismail Soares, José Augusto Teixeira do Amaral, José Romeu Aith Fávares, Ramon da Costa Alvarenga, Ramon de Paula Braga, Vagner Amado Belo de Oliveira, pelo conforto da amizade e companheirismo durante o curso.

Aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

## BIOGRAFIA

JOSE DONIZETI ALVES, filho de José Francisco Alves e Helena Torquetti, nasceu em Lavras, Estado de Minas Gerais, em **30** de dezembro de **1956**.

Em marco de **1979**, ingressou na Escola Superior de Agricultura de Lavras, em Lavras-MG, diplomando-se Engenheiro Agrônomo em dezembro de **1982**.

Em marco de **1983**, iniciou o Curso de Mestrado em Fisiologia Vegetal, na Universidade Federal de Vicosa, em Viçosa-MG, concluindo-o em outubro de **1985**.

Em agosto de **1985**, foi contratado pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) para atuar como Pesquisador em Fisiologia do Cafeeiro.

Em agosto de **1987**, iniciou o Curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal de Vicosa, em Viçosa-MG.

Em agosto de **1991**, foi contratado pela Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL) como professor de Fisiologia Vegetal.

## CONTEÚDO

	Página
EXTRATO.....	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1. Avaliação do Crescimento Vegetativo.....	13
3.2. Cinética de Absorção do Nitrato e do Fosfato .	16
3.3. Coleta do Material Vegetal.....	17
3.4. Processamento das amostras.....	18
3.5. Metodologia Analítica.....	20
3.6. Análise Estatística.....	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
4.1. Avaliação do Crescimento Vegetativo.....	26
4.2. Absorção do Nitrato e Fracionamento do Nitro- gênio e do Carboidrato.....	38
4.3. Absorção do Fosfato e Fracionamento do Fósforo	59
4.4. Fracionamento do Enxofre.....	74

S. RESUMO E CONCLUSÕES.....	83
BIBLIOGRAFIA .....	86
APÊNDICE.....	96

## EXTRATO

ALVES, José Donizeti, D.S. Universidade Federal de Vicosa, dezembro de 1991. Respostas de Mudas de Café em Solução Nutritiva à Localização e Nitrogênio, Fósforo e Enxofre no Sistema Radicular. Professor Orientador: Alemar Brasa Rena. Professores Conselheiros: Victor Hugo Alvarez V., Roberto Ferreira de Novais, Luiz Antônio Nogueira Fontes.

Objetivou-se estudar os efeitos do suprimento localizado de N, P e S, em diferentes combinações no ambiente radicular, sobre o desenvolvimento de mudas de café crescidas em solução nutritiva, utilizando-se a técnica de raízes divididas. Para tanto, avaliaram-se, nas folhas e nas raízes, o crescimento, a distribuição das frações nitrogenadas, fosfatadas, sulfuradas e os teores de carboidratos. A distribuição simultânea de NPS ou de N a todas as raízes e o fornecimento de PS, P ou S em somente um dos vasos (suprimento localizado) foram as condições que mais favoreceram o crescimento da parte aérea. A localização do N comprometeu severamente o metabolismo do nutriente na planta. Dos três nutrientes em estudo, o N foi o único que



estimulou o crescimento das raízes no vaso em que ele foi suprido localizadamente. Para esses tratamentos a diferença do peso da matéria seca entre as porções radiculares (supridas ou não com N) aumentou. Aquelas raízes que estavam em contato direto com o N localizado apresentaram, de maneira geral, maiores valores de  $I_{\max}(\text{NO}_3^-)$  e semelhantes teores de N-total e de  $\text{N-NO}_3^-$ , relativamente a todo o sistema radicular em contato com o N-exógeno. O maior teor de N-orgânico e o menor teor de carboidrato presente nas raízes que receberam o N localizado sugerem que tais estímulos devem estar relacionados com o incremento na síntese de compostos nitrogenados nas raízes. A semelhança do crescimento entre as porções radiculares supridas ou não com o P, S ou PS parece estar relacionada à eficiente mobilidade desses nutrientes na planta. O isolamento de um nutriente dos demais, ao afetar o crescimento geral da planta, revelou uma interação entre o metabolismo dos três nutrientes no cafeeiro.

## 1. INTRODUÇÃO

A cultura do café na Zona da Mata de Minas Gerais, em sua grande maioria, encontra-se implantada em Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos (LVd) com grandes declividades. Nessa situação, com o intuito de minimizar as perdas dos fertilizantes pelo deflúvio, a adubação tem sido realizada em sulcos, no lado superior da cova. Do ponto de vista da movimentação dos nutrientes no solo, a localização do fósforo é a mais problemática, uma vez que sua mobilidade no solo é muito baixa. Conseqüentemente, o nutriente fica concentrado em menor volume de solo, o que diminui a quantidade de raízes em contato com o mesmo. Por outro lado, o nitrato e o sulfato, que apresentam maior mobilidade no solo, podem, após o suprimento localizado, alcançar um maior número de raízes absorventes. Entretanto, os efeitos da localização de diferentes nutrientes não dependem apenas de suas mobilidades relativas no solo, mas também de suas interações bem como de suas eficiências na retranslocação

entre os diversos pontos de crescimento das plantas. Assim, o modo de aplicação de fertilizantes deve afetar de forma diferente o crescimento e o acúmulo de nutrientes nas partes das plantas.

Objetivou-se, portanto, estudar as conseqüências fisiológicas da combinação de nitrogênio, fósforo e enxofre, aplicados a diferentes partes do sistema radicular, na absorção, na retranslocação e no metabolismo do nitrato, do fosfato e do sulfato e seus reflexos no crescimento do cafeeiro.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Mediante levantamento das características morfológicas do sistema radicular do cafeeiro em terrenos com diferentes declividades, RENA et alii (1990) verificaram, para a declividade de 20%, uma maior concentração de raízes até a profundidade de 30 cm, na região superior do terreno em relação à planta. Essa desuniformidade radial das raízes é, provavelmente, conseqüência do modo de aplicação de fertilizantes, uma vez que a topografia acidentada leva os cafeicultores a praticarem a adubação localizada em "meia lua", naquela região, Nesse aspecto, FRANCO (1983) verificou para o cafeeiro, que o suprimento localizado de N, P ou K no vaso, separadamente, estimulou o crescimento das raízes em contato com os nutrientes. Atribuiu-se o decréscimo da produção de raízes à baixa retranslocação daqueles elementos na planta, que não permitiu um suprimento adequado aos pontos de crescimento das raízes no volume de solo não fertilizado.

Desse modo, a sua utilização nas regiões meristemáticas das raízes dependeria da presença externa desses nutrientes. Por outro lado, DIAS alii (1987, 1988), relataram a existência de uma compartimentação bem definida do P no cafeeiro e mostraram que sua redistribuição para os diversos pontos de crescimento ocorreu com relativa rapidez (DIAS et alii, 1987). Observou-se grande absorção do  $^{32}$  P pelas raízes tratadas e, 24 horas após sua aplicação, o radioisótopo pode ser detectado nas demais raízes não tratadas. Tal mobilidade permitiu àqueles pesquisadores postularem que a localização do P no solo não parece constituir obstáculo ao transporte e à distribuição do elemento absorvido pelo cafeeiro.

Enquanto alguns autores verificaram para diferentes culturas maiores volumes de raízes em regiões supridas com P (DREW, 1975; DREW e SAKER, 1978; JUNGK e BARBER, 1974; JAGER, 1982), outros não observaram estímulo localizado desse elemento ao crescimento radicular em experimentos de longa (FERREIRA, 1986; NOVAIS et alii, 1985) e curta duração (FREDEEN et alii, 1989; RUFTY et alii, 1990).

O estímulo ao crescimento radicular em decorrência de um suprimento localizado de P tem sido atribuído a aumentos das taxas de absorção (COGLIATTI e CLARKSON, 1983, DREW e SAKER, 1978) e a aumentos na translocação de P do segmento de raiz tratado com o elemento até a parte aérea (COGLIATTI e CLARKSON, 1983). Em contrapartida, a inexistência de diferenças entre o crescimento de segmentos de raízes supridos, ou não com P, mostra que as raízes se adaptam à condição de baixa disponibilidade do elemento,

criando diferentes mecanismos de escape. Neste aspecto, tem-se verificado na ausência, ou na presença de baixos níveis de P, um aumento na disponibilidade de  $P_i$  para a fotossíntese e outras funções essenciais dependentes de P. Tal disponibilidade de P advém de desvios metabólicos que levam à síntese de compostos orgânicos que não possuem P em suas estruturas, tais como amido, sacarose e glicose (RAD et alii, 1990). RAD et alii (1990) admitem ainda uma participação mais intensa dos transportadores de  $P_i$  na manutenção das taxas fotossintéticas em níveis adequados ao crescimento mínimo, suprindo continuamente os cloroplastos com  $P_i$ , na relação mínima de 1  $P_i$ :1 triose-P exportada,

Alternativamente, a ocorrência de mecanismo de escape tem-se manifestado pelo maior armazenamento de P total na raiz do que na parte aérea (COGLIATTI e CLARKSON, 1983, FREDEEN et alii, 1989). Assim, COGLIATTI e CLARKSON (1983) mostraram que frações de raízes deficientes em P retêm mais e conseqüentemente transportam menos P que aquelas onde o suprimento do elemento se deu a todo o sistema radicular.

A atividade do sistema de transporte do P é governada pela demanda geral da planta pelo elemento (COGLIATTI e CLARKSON, 1983). Plantas bem nutridas acumulam mais de 50% do P total como  $P_i$  nos vacúolos (BIELESKI, 1973). Este  $P_i$  vacuolar teria fundamentalmente a função de abastecer o citosol celular, atendendo à exigência metabólica da célula quando o P se torna limitante para o crescimento (BIELESKI e FERGUSON, 1983). Com o esgotamento do suprimento vacuolar, o órgão cessa o seu crescimento, o

que mantém estável o nível de  $P_i$  no citoplasma, evitando o colapso de diversos sistemas enzimáticos (LEE e RATCLIFF, 1983). Com a retomada do suprimento de fósforo, o nível de  $P_i$  no vacúolo aumenta acentuadamente, embora não ocorram alterações significativas de  $P_i$  no citoplasma (BIELESKI, 1973; LEE e RATCLIFF, 1983). Apesar de bem caracterizados, o conhecimento dos fatores internos que controlam esse tamponamento permanece ainda obscuro (McPHARLIN e BIELESKI, 1989), muito embora as plantas o utilize intensamente como mecanismo de escape em ambientes com baixos níveis de P.

Ao contrário do P, é consenso que o contato direto das raízes com o N exógeno estimula o desenvolvimento das mesmas (ANGHINONI e BARBER, 1988; FERREIRA, 1986; DREW, 1975; HACKETT, 1972; JAGER, 1982; ROBINSON e RORISON, 1983). Tem-se atribuído uma alocação preferencial de carboidratos naquela fração radicular (HACKETT, 1972) como fonte de esqueletos carbonados e/ou substrato respiratório para a assimilação do  $NO_3^-$  (DEANE-DRUMMOND e CLARKSON, 1979; RADIN et alii, 1978). Para o cafeeiro, essa hipótese parece verdadeira uma vez que a eficiência da redutase do nitrato radicular é altamente dependente da importação de fotossimilados (QUEIROZ, 1986).

Alguns pesquisadores têm sugerido ser a redutase do nitrato a proteína transportadora de  $NO_3^-$  na membrana (BUTZ e JACKSON, 1977; JACKSON et alii, 1973). Entretanto, mais recentemente, MORGAN et alii (1985) mostraram que os dois processos são independentes. Alternativamente tem-se sugerido que a elevação do nível de produtos secundários da redução do  $N-NO_3^-$ , poderia fornecer o estímulo necessário ao

aumento da absorção de  $\text{N-NO}_3^-$  (JACKSON et alii, 1973). Tal possibilidade é confirmada pelos resultados de BEN-ZION1 et alii (1971), segundo os quais a redução do  $\text{N-NO}_3^-$  na parte aérea promove a síntese de malato, que é parcialmente translocado para as raízes como K-malato. O malato nas raízes é oxidado, provavelmente a piruvato, rendendo  $\text{KHCO}_3$ , que então é trocado pelo  $\text{KNO}_3$  da solução externa. Entretanto, uma vez que a síntese de malato, induzida pela redução do  $\text{N-NO}_3^-$ , não parece restrita à parte aérea (RAVEN e SMITH, 1976), é possível que esse mecanismo retroalimentador positivo possa atuar na sua totalidade, no sistema radicular de plantas que apresentam atividade da redutase do nitrato nas raízes (CORDEIRO, 1981). Para o cafeeiro, essa hipótese provavelmente se aplica, já que a assimilação do  $\text{N-NO}_3^-$ , naquele órgão, é muito eficiente (QUEIROZ, 1986).

A localização dos nutrientes em relação ao sistema radicular das plantas pode tornar ainda mais forte o efeito das interações entre eles. Uma delas, seria a existência de uma conexão entre a absorção e a translocação de P com o metabolismo do N, como resultado do incremento da síntese de metabólitos nitrogenados, ocasionando um aumento no "giro" de NADH e NADPH, acoplados às reações de absorção de P (COLE et alii, 1973). Posteriormente, verificou-se uma relação de causa-efeito entre o decréscimo de energia disponível e a queda da taxa de absorção de N pelas raízes, sob deficiência de P (GLASS, 1988). Esta relação foi contestada por RUFTY et alii (1990) ao verificarem que o decréscimo na absorção de N coexistia com o elevado nível de carboidratos nas raízes de plantas deficientes em P.



A existência de interações entre o metabolismo do N e do S tem sido comprovada em diversos estudos (BARNEY Jr. e BUSH, 1985; GOH e KEE, 1978; ZINK, 1984). Essas interações parecem ocorrer, primeiramente, ao nível de absorção e translocação, uma vez que a presença do N no substrato elevou o nível de S na parte aérea da planta (BARNEY Jr e BUSH, 1985; FERREIRA, 1986).

Após a absorção pelas raízes, mediada por um transportador com características de enzima, o  $\text{SO}_4^{--}$  é transportado pelo xilema até as folhas na corrente transpiratória (SCHIFF e HODSON, 1973), onde é incorporado a esqueletos carbônicos, predominantemente nos cloroplastos (BRUNOLD, 1990; LUNN et alii, 1990). Nesta organela, o  $\text{SO}_4^{--}$  é, então, ativado pelo ATP gerando adenosina 5'-fosfossulfato (APS) cuja reação é catalizada pela enzima ATP - sulfurilase (BRUNOLD, 1990). Nessa etapa, REUVENY e FILNER (1977) postularam que a atividade da enzima ATP - sulfurilase é regulada tanto pela nutrição com enxofre, quanto com nitrogênio. THOMPSON et alii (1986) esquematizaram, a partir dos resultados de REUVENY et alii (1980), as inter-relações entre o metabolismo dos dois nutrientes. Na presença de níveis adequados, ou deficientes de sulfato, a ATP - sulfurilase torna-se reprimida, ou induzida, respectivamente. Contudo, em plantas de algodão (SHEVYAKOVA e KHOLOBRADE, 1974) e de soja (ADAMS e RINNE, 1969) verificaram-se relações positivas entre atividade da enzima e concentração de sulfato foliar. Essa regulação, entretanto, é influenciada pela disponibilidade de nitrogênio (REUVENY e FILNER, 1977), uma vez que plantas bem

nutridas com nitrogênio apresentaram aumento na atividade da ATP - sulfurilase, quando comparadas com plantas deficientes nesse elemento (SACCOMANI et alii, 1974; ZINK, 1984).

Assim, a assimilação do enxofre estaria, segundo REUVENY et alii (1980), sujeita a dois tipos de controle: um mecanismo de controle negativo, no qual um produto final atuaria no sentido de reprimir a síntese e/ou ativação da enzima e um mecanismo de controle positivo, no qual os produtos de assimilação do nitrogênio atuariam na síntese e/ou ativação da enzima. Esse último controle é resultado da síntese protéica quando os dois nutrientes estão adequadamente supridos. Em relação ao controle negativo, ZINK (1984) mostrou que a repressão da ATP-sulfurilase não se realizaria completamente, sugerindo, então, a existência de duas ramificações na rota assimilatória do enxofre, uma levando a cisteína, com posterior incorporação em proteína, e outra levando à síntese de ester-sulfato, sem reprimir a atividade da enzima. De qualquer modo, a regulação da ATP-sulfurilase parece diferir de planta para planta (ADAMS e RINNE, 1969), bem como entre diferentes tipos de células (PASSERA e GHISI, 1982).

Outros autores, sugerem entretanto, que a deficiência de nitrogênio em Rosa sp, afeta somente a atividade da APS-sulfotransferase, outra enzima chave na rota de assimilação do sulfato (HALLER et alii, 1986). Esses resultados indicam, para essas plantas, que a atividade da APS-sulfotransferase é regulada mais efetivamente que a ATP-sulfurilase, em relação à nutrição nitrogenada.

A redutase do nitrato, uma enzima chave no metabolismo do nitrogênio, que é induzida pelo substrato, o  $\text{NO}_3^-$  (BEEVERS e HAGEMAN, 1969), tem-se mostrado sensível às variações do nível de enxofre nas plantas (FRIEDRICH e SCHRADER, 1978; PAL *et alii*, 1976; REUVENY *et alii*, 1980). Segundo FRIEDRICH e SCHRADER (1978), a atividade da redutase do nitrato, sob deficiência de enxofre, é reduzida sensivelmente, restabelecendo-se com a adição de sulfato. Esses autores sugerem que a ATP-sulfurilase atua em sincronismo com a redutase do nitrato coordenando a assimilação do nitrato e do sulfato.

A maioria dos trabalhos envolvendo o estudo das interações entre P e S, tem revelado um efeito sinérgico entre os dois nutrientes (CRAVO, 1984; FERREIRA, 1986; KUMAR e SINGH, 1980). Nesse aspecto, FERREIRA (1986) verificou que a absorção de sulfato por raízes de eucalipto foi beneficiada pelo fosfato, uma vez que na presença desse ânion, o  $K_m(\text{SO}_4^{--})$  tendeu a ser menor. O nível elevado de P na raiz, levou o autor a sugerir uma maior disponibilidade de ATP nas células, o que possibilitaria um maior influxo de sulfato, já que a absorção desse ânion é mediada por processos metabólicos e ativos (JENSEN e KONIG, 1982). Por outro lado, CLARKSON *et alii* (1983) observaram que a 'resposta à deficiência de S por plantas de Macroptilium atropurpureum cv. Siratro é característica e que não existe interação entre a deficiência de S e a absorção de P ou a deficiência de P e a absorção de S.

No caso do sulfato, a dependência de energia não se prende apenas à absorção, já que os processos de ativação,

redução e incorporação de aminoácidos a proteínas ocorrem exclusivamente com consumo de ATP (LONGHMAN, 1964; MARSCHNER, 1986). Assim, um suprimento adequado de P é condição indispensável para que o sulfato seja incorporado aos principais drenos desse elemento, as proteínas.

Sem contemplar o aspecto de localização, ALVAREZ V. et alii (1987) estudaram, em casa de vegetação, as relações binárias entre N, P e S na adubação do cafeeiro e verificaram que nas relações binárias N-P, P-S, e S-N, a ausência do terceiro nutriente limitou o crescimento das Plantas, especialmente no caso N para a relação P-S. Além de terem observado que as exigências do cafeeiro a S cresceram na medida em que se aumentaram as doses de N e P, verificam, ainda, um efeito desfavorável do uso de altas doses de N e S, na ausência de P. Resultado semelhante foi observado por BRIENZA Jr. (1988) com o sorgo. As pesquisas realizadas não permitiram aos autores elucidar os mecanismos que expliquem tal resposta. O conhecimento sobre o assunto ainda hoje é insuficiente, uma vez que as explicações são baseadas em resultados isolados, ou mesmo em evidências circunstanciais, e carecem de comprovações.

### 3. MATERIAL E METODOS

Sementes de cafeeiro da linhagem Catuai Vermelho LCH-2077-2-5-44 foram colocadas para germinar em caixas plásticas contendo areia lavada, em casa-de-vegetação. Ao atingirem o estágio "orelha-de-onça", selecionaram-se as plantas mais uniformes que foram transferidas para recipientes plásticos contendo 25 litros de solução nutritiva (CLARK, 1975). diluída 1:2, pH  $5,5 \pm 0,2$ , arejada continuamente. Decorridos sete dias, fez-se a poda da raiz principal, um centímetro abaixo do coleto, a fim de promover maior formação e desenvolvimento das raízes laterais. As plantas, mantidas nessas condições, ao atingirem o estágio de três pares de folhas, foram então novamente selecionadas quanto a sua uniformidade e transferidas para um conjunto de vasos plásticos geminados (Vasos A e B), de modo que cada metade dos sistemas radiculares de duas plantas permanecesse em um dos vasos. Em seguida, cada vaso do conjunto recebeu 2,4 litros de diferentes soluções que constituíram os 11

tratamentos representados pelas combinações de localização de N, P e S em relação ao sistema radicular (Quadros 1 e 2). A quantidade total de nutrientes fornecida para o conjunto formado pelos dois vasos geminados foi N = 24 mmol (relação forma nítrica: amoniacal 19:1), P = 2,4 mmol, S = 2,88 mmol, K = 4,8 mmol, Ca = 9,6 mmol, Mg = 2,88 mmol e micronutrientes conforme HOAGLAND e ARNON (1950). Desse modo, o fornecimento do(s) nutriente(s) em apenas um dos vasos (fornecimento localizado) implicou na duplicação da concentração do(s) mesmo(s) no vaso envolvido. As unidades experimentais representadas por cada conjunto de vasos geminados com duas plantas, foram repetidas quatro vezes e distribuídas em blocos ao acaso.

Durante o experimento, as soluções eram retiradas, semanalmente, por meio de um sifão e substituídas com auxílio de um funil. Nesse período, as soluções eram arejadas continuamente e seu pH ajustado, a cada dois dias, para  $5,5 \pm 0,2$ , com NaOH e/ou HCl 0,1N. A fim de se evitar o ataque de fungos do gênero *Pythium* às raízes, procedeu-se um controle preventivo, a cada quinze dias, aplicando-se o fungicida Ridomil [Metalaxil: N-(2,6-dimetil-fenil) - N-(methoxiacetil)-alanina metil ester], granulado, a 5% do princípio ativo, na concentração de 25 mg/l de solução nutritiva.

### 3.1. Avaliação do Crescimento Vegetativo

Determinaram-se, semanalmente, o ganho na área foliar total e a altura das plantas. As áreas foliares foram

QUADRO 1 - Descrição dos Tratamentos Envolvendo o Fornecimento de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

Descrição dos Tratamentos	Vaso	
	A	B
Distribuição de NPS em ambos os vasos (Distribuído = D)	$N_1P_1S_1$	$N_1P_1S_1$
Fornecimento localizado de NPS em apenas um vaso ( $L_{NPS}$ )	$N_2P_2S_2$	$N_0P_0S_0$
Fornecimento localizado de PS em um vaso, N distribuído em ambos ( $L_{PS}$ )	$N_1P_2S_2$	$N_1P_0S_0$
Fornecimento localizado de NS em um vaso, P distribuído em ambos ( $L_{NS}$ )	$N_2P_1S_2$	$N_0P_1S_0$
Fornecimento localizado de NP em um vaso, S distribuído em ambos ( $L_{NP}$ )	$N_2P_2S_1$	$N_0P_0S_1$
Fornecimento localizado de N em um vaso, PS distribuídos em ambos ( $L_N$ )	$N_2P_1S_1$	$N_0P_1S_1$
Fornecimento localizado de P em um vaso, NS distribuídos em ambos ( $L_P$ )	$N_1P_2S_1$	$N_1P_0S_1$
Fornecimento localizado de S em um vaso, NP distribuídos em ambos ( $L_S$ )	$N_1P_1S_2$	$N_1P_1S_0$
Isolamento de N em um vaso e de PS em outro vaso ( $I_N$ )	$N_2P_0S_0$	$N_0P_2S_2$
Isolamento de P em um vaso e de NS em outro vaso ( $I_P$ )	$N_0P_2S_0$	$N_2P_0S_2$
Isolamento de S em um vaso e de NP em outro vaso ( $I_S$ )	$N_0P_0S_2$	$N_2P_2S_0$

0 = ausência; i = x mmol; 2 = 2x mmol.

QUADRO 2 - Composição das Soluções Nutritivas

Solução	Concen- tração	Tratamento																					
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11	
		N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub> -N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub> -N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>		N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub> -N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>		N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub> -N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub> -N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>		N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub> -N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>		N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub> -N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>		N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub> -N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>		N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub> -N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>		N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub> -N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>		N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub> -N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	
		ml/l de solução nutritiva																					
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	0,25	1	1	2	-	1	1	2	-	2	-	2	-	1	1	1	1	2	-	-	2	-	
KNO <sub>3</sub>	0,50	1	1	-	-	-	1	1	-	-	-	1	-	-	1	1	1	2	-	-	2	-	
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2,00	1	1	1	-	1	1	1	-	1	-	1	-	1	1	1	1	1	-	-	1	-	
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,50	1	1	2	-	2	-	1	1	2	-	1	1	2	-	1	1	-	2	2	-	-	
MgSO <sub>4</sub>	0,60	1	1	1	-	1	-	1	-	1	1	1	1	1	1	1	-	1	-	1	1	-	
NaNO <sub>3</sub>	0%	-	-	10	-	1	-	9	-	10	-	9	-	1	-	-	-	5,6	-	-	8	-	
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,60	-	-	1	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	1	0,17	
CaCl <sub>2</sub>	2,00	-	-	-	1	-	-	-	1	-	1	-	1	-	-	-	-	-	1	1	1	-	
MgCl <sub>2</sub>	0,60	-	-	-	1	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-		
KCl	0,50	-	-	-	2	-	1	-	1	-	2	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	
NaCl	1,00	3,1	3,1	-	-	2,25	2,25	0,25	0,25	0,6	0,6	0,85	0,85	2,85	2,85	2,5	2,5	1,1	1,1	0,5	0,5	1,1	
Fe-EDTA		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Micronu- trientes		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

2

2

1

1

1

1

1

1



obtidas multiplicando-se o produto do comprimento e da largura máxima da folha pelo fator **0,667** (BARROS et alii, **1973**). Durante o período de 10 semanas a média das temperaturas máximas e mínimas do ar foi de  $33^{\circ}\text{C}$  e  $19^{\circ}\text{C}$ , respectivamente.

### 3.2. Cinética de Absorção do Nitrato e do Fosfato

Decorridos três meses após o início da aplicação dos tratamentos, **os** vasos foram conduzidos da casa de vegetação para uma sala de crescimento com umidade relativa próxima a 50%, temperatura de  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ , fotoperíodo de 12 h e intensidade luminosa de  $3,5 \text{ mW.cm}^{-2}$ , fornecida por lâmpadas fluorescentes tipo "luz do dia". **As** plantas permaneceram nas soluções nutritivas originais durante um período de 24 horas para aclimação. Após esse período e 12 horas antes do início do estudo de absorção, a solução nutritiva original foi substituída por outra de igual composição, porém diluída 1:40. Em seguida ao término do período de escuro, a solução **foi** rapidamente substituída por outra de igual composição e concentração, quando, então, foram coletadas aliquotas de 10 ml da solução nutritiva de cada vaso, a intervalos de 30 minutos, durante as primeiras duas horas e meia e de duas em duas horas, durante as 12 horas seguintes. Após o término das coletas, mediu-se o volume das soluções remanescentes de cada vaso, para estimar a quantidade de água perdida por evapo-transpiração. **As** aliquotas foram armazenadas a  $5^{\circ}\text{C}$ , para análises posteriores.

Nas alíquotas, determinaram-se o nitrato (CATALDO et alii, 1975) e o fósforo (LINDEMAN, 1958).

Com base nas análises efetuadas, calcularam-se a constante de Michaelis ( $K_m$ ) e os influxos máximos de absorção ( $I_{máx}$ ), a partir do decréscimo da concentração dos elementos na solução em relação ao tempo, conforme procedimento gráfico-matemático proposto por RUIZ (1985).

### 3.3. Coleta do Material Vegetal

Após o término do experimento de absorção, as plantas foram colocadas novamente nas respectivas soluções nutritivas de crescimento, onde permaneceram por 12 horas, aproximadamente. Em seguida, tomaram-se amostras para a determinação dos teores de açúcares solúveis totais, amido, N-orgânico, aminoácidos livres e para o fracionamento de fósforo. Para tanto, coletaram-se duas amostras de discos foliares e de fragmentos de cada parte do sistema radicular, separadamente, com peso aproximado de 300 mg de matéria fresca, cada uma. Essas amostras foram pesadas rapidamente e imersas em etanol a 80%, em ebulição, para interrupção da atividade metabólica, ou em  $HClO_4$  0,2N, seguindo-se o armazenamento das mesmas a  $-20^{\circ}C$  até o seu processamento analítico. O material remanescente, após secagem em estufa, a  $70^{\circ}C$ , durante 72 horas, foi utilizado para as determinações do peso da matéria seca e da composição mineral.

### 3.4. Processamento das amostras

A fração contendo N-solúvel foi extraída seguindo-se, em linhas gerais, a metodologia descrita por WANG e WAYGOOD (1962). Inicialmente, o material imerso em etanol 80%, foi triturado em gral de porcelana, até a obtenção de uma polpa fina, com a adição de areia lavada, finamente moída. Seguiu-se a transferência quantitativa do material homogeneizado para tubos de centrífuga para posterior centrifugação a 1800xg, por 10 minutos. Decantado o sobrenadante, submeteu-se o resíduo a três extrações sucessivas com 20 ml e a duas extrações com 10 ml de etanol fervente a 80°C. Feita a centrifugação, os extratos etanólicos de cada amostra foram combinados, seguindo-se a eliminação dos pigmentos e lipídios, em funil de decantação, mediante três extrações com 5 ml de água destilada e 2 ml de clorofórmio, conforme recomendação de RENA e MASCIOTTI (1976). A fase etanólica obtida após decantação, foi evaporada em um evaporador rotativo a vácuo, a 45°C, até a secura. O resíduo foi dissolvido em 5 ml de água destilada, constituindo o extrato utilizado para a determinação dos açúcares solúveis totais ou extrato aquoso I.

O resíduo insolúvel resultante da extração dos açúcares foi utilizado para a quantificação do amido, segundo metodologia descrita por McCREADY et alii (1950), com as seguintes alterações: os volumes de ácido perclórico e de água destilada utilizados na extração foram de 1,65 ml e 1,25 ml, respectivamente e o tempo de extração com o ácido foi de 20 minutos na primeira vez, e de trinta minutos na

segunda. O resíduo remanescente foi, então, submetido à digestão sulfúrica (LINDNER, 1944), em cujo extrato foi quantificado o N orgânico.

Para a determinação dos aminoácidos livres nas raízes, tomou-se uma alíquota de 2 ml do extrato aquoso I de cada repetição, formando uma amostra composta, que foi colocada em tubo de centrífuga, precipitando-se as proteínas com igual volume de ácido tricloroacético (TCA) a 10% (SODEK e WILSON, 1971). Após 12 horas de repouso, a 4°C, os extratos foram centrifugados a 11.000xg, durante 15 minutos, seguindo-se duas lavagens sucessivas do precipitado com 2 ml de TCA a 5%. Os sobrenadantes de cada tratamento foram combinados e transferidos para tubos de 50 ml, com tampa rosqueada, efetuando-se a remoção do TCA com três extrações sucessivas de éter etílico, em volumes iguais, utilizando-se uma trompa de vácuo. A fase aquosa foi, então, evaporada até a secura, a 45°C, retomando-se o resíduo em 5 ml de água destilada, obtendo-se, assim, o extrato aquoso II. A seguir, tomaram-se duas alíquotas de 2 ml desse extrato aquoso, colocando-se uma delas em tubos com tampa rosqueável e submetendo-a à hidrólise em meio de HCl 1N, em estufa a 110°C, durante três horas, a fim de converter as amidas asparagina e glutamina em ácido aspártico e ácido glutâmico, respectivamente, conforme recomendação de SODEK e WILSON (1971). Finalmente, os extratos hidrolizados e não hidrolizados foram, separadamente, evaporados a vácuo, a 45°C, até a secura. Os resíduos foram, então, dissolvidos em 3 ml de tampão de citrato de sódio 0,2N, pH 2,2, contendo 0,5 umol/ml de padrão interno de norleucina, filtrados em

papel de filtro WHATMAN nº 1 e armazenados a  $-20^{\circ}\text{C}$ , até a análise.

O fracionamento do fósforo nas formas: total solúvel em ácido ( $P_{t5}$ ), inorgânico solúvel em ácido ( $P_i$ ) e orgânico solúvel em ácido ( $P_o$ ) seguiu em linhas gerais, o método proposto por Smillie e Krotkov (1960), descrito por HOGUE et alii (1970). Para tanto, o material imerso em  $\text{HClO}_4$  0,2N foi macerado em gral de porcelana, até a obtenção de polpa fina. Em seguida, a suspensão foi centrifugada a  $10.000\times g$ , por 10 minutos. Decantado o sobrenadante, submeteu-se o resíduo a três extrações com 4 ml de  $\text{HClO}_4$  0,2N. Após cada centrifugação, os sobrenantes foram combinados, obtendo-se assim, o extrato para a determinação do  $P_i$ . A seguir, tomaram-se 10 ml do extrato que foram submetidos à digestão nitroperclórica (LOTT et alii, 1956), obtendo-se um novo extrato onde foi quantificado o  $P_{t5}$ .

### 3.5. Metodologia Analítica

A amostra da matéria seca, após triturada em moinho, foi submetida a dois tipos de digestão, a sulfúrica (LINDNER, 1944) e a nitroperclórica (LOTT et alii, 1956). Do extrato obtido da digestão sulfúrica, determinou-se o teor de N-total, utilizando-se o reagente de Nessler (UMBREIT et alii, 1972). Do extrato resultante da digestão nitroperclórica, determinaram-se os teores totais de P (LINDEMAN, 1958), de K por fotometria de emissão de chama (A.O.A.C., 1975), de Ca e Mg por espectrofotometria de

absorção atômica (SILVA, 1981) e de S, por turbidimetria (BLANCHAR et alii, 1965), modificado por ALVAREZ V. (\*).

O  $N-NO_3^-$  e o  $S-SO_4^{--}$  na matéria seca, foram extraídos com água destilada a 45°C, por uma hora. Em seguida à descoloração dos extratos com carvão ativado, dosaram-se o  $N-NO_3^-$ , pela nitração em ácido salicílico (CATALDO et alii, 1975) e o  $S-SO_4^{--}$ ; por turbidimetria. O teor de S-orgânico foi obtido pela diferença entre os teores de S-total e  $S-SO_4^{--}$ . O N-orgânico foi dosado, utilizando-se o reagente de Nessler (UMBREIT et alii, 1972).

As determinações do  $P_{ts}$  e do  $P_i$  foram realizadas segundo BRAGA e DEFELIPD (1974). Pela diferença entre  $P_{ts}$  e  $P_i$ , obteve-se o  $P_o$ . Os dados foram expressos com base na matéria seca.

Os açúcares solúveis totais e amido foram dosados pelo método colorimétrico de antrona. Para isso, adicionaram-se a tubos de tampa rosqueável, aliquotas do extrato aquoso I, completando-se o volume para 1,0 ml com água destilada. A seguir, os tubos foram imersos em gelo e a eles adicionados 5,0 ml do reagente de antrona (0,1% em  $H_2SO_4$  28 N). Após agitação, os tubos foram colocados em banho de água fervente por 12 minutos e, a seguir, resfriados em gelo. As absorvâncias foram determinadas a 620nm, considerando-se glicose como padrão.

-----  
(\* ) Victor Hugo Alvarez V., Dep. de Solos UFV - Comunicação pessoal.

A composição aminoacídica no extrato aquoso II foi determinada por cromatografia de troca iônica em analisador automático de aminoácidos BECKMAN, modelo 121, segundo SPACKMAN et alii (1958). Utilizou-se como solução padrão uma mistura sintética de 17 aminoácidos normalmente presentes em hidrolizados protéicos na concentração de 0,5  $\mu\text{mol/ml}$ , à qual se adicionou norleucina, como padrão interno, na mesma concentração. As amidas asparagina e glutamina foram determinadas por diferença entre os teores de ácido aspártico e ácido glutâmico respectivamente, obtidos nas frações hidrolizadas e não hidrolizadas.

### 3.6. Análise Estatística

Os efeitos dos tratamentos foram testados por desdobramento em graus individuais de liberdade, segundo contrastes ortogonais e não ortogonais (Quadro 3).

QUADRO 3 - Resumo dos Contrastes Utilizados nas Comparações

NE!	Contrastes	Tratamentos Envolvidos
1	D vs L <sub>NPS</sub>	$(N_1P_1S_1 - N_1P_1S_1)$ vs $(N_2P_2S_2 - N_0P_0S_0)$
2	D vs L <sub>PS</sub> +L <sub>NS</sub> +L <sub>NP</sub>	$(N_1P_1S_1 - N_1P_1S_1)$ vs $[(N_1P_2S_2 - N_1P_0S_0) +$ $+ (N_2P_1S_2 - N_0P_1S_0) + (N_2P_2S_1 - N_0P_0S_1)]$
3	L <sub>PS</sub> vs L <sub>NS</sub> +L <sub>NP</sub>	$(N_1P_2S_2 - N_1P_0S_0)$ vs $[(N_2P_1S_2 - N_0P_1S_0) +$ $+ (N_2P_2S_1 - N_0P_0S_1)]$
4	L <sub>NS</sub> vs L <sub>NP</sub>	$(N_2P_1S_2 - N_0P_1S_0)$ vs $(N_2P_2S_1 - N_0P_0S_1)$
5	D vs L <sub>N</sub> +L <sub>P</sub> +L <sub>S</sub>	$(N_1P_1S_1 - N_1P_1S_1)$ vs $[(N_2P_1S_1 - N_0P_1S_1) +$ $+ (N_1P_2S_1 - N_1P_0S_1) + (N_1P_1S_2 - N_1P_1S_0)]$
6	L <sub>N</sub> vs L <sub>P</sub> +L <sub>S</sub>	$(N_2P_1S_1 - N_0P_1S_1)$ vs $[(N_1P_2S_1 - N_1P_0S_1) +$ $+ (N_1P_1S_2 - N_1P_1S_0)]$
7	L <sub>P</sub> vs L <sub>S</sub>	$(N_1P_2S_1 - N_1P_0S_1)$ vs $(N_1P_1S_2 - N_1P_1S_0)$
8	D vs I <sub>N</sub> +I <sub>P</sub> +I <sub>S</sub>	$(N_1P_1S_1 - N_1P_1S_1)$ vs $[(N_2P_0S_0 - N_0P_2S_2) +$ $+ (N_0P_2S_0 - N_2P_0S_2) + (N_0P_0S_2 - N_2P_2S_0)]$
9	I <sub>N</sub> vs I <sub>P</sub> +I <sub>S</sub>	$(N_2P_0S_0 - N_0P_2S_2)$ vs $[(N_0P_2S_0 - N_2P_0S_2) +$ $+ (N_0P_0S_2 - N_2P_2S_0)]$
10	I <sub>P</sub> vs I <sub>S</sub>	$(N_0P_2S_0 - N_2P_0S_2)$ vs $(N_0P_0S_2 - N_2P_2S_0)$

Contraste 1 - Compara o efeito da distribuição de  $N_1P_1S_1$  em ambos os vasos (D), contra o efeito do fornecimento localizado de  $N_2P_2S_2$  em apenas um vaso (L<sub>NPS</sub>).

Contraste 2 - Compara o efeito da distribuição de  $N_1P_1S_1$  em ambos os vasos (D), contra o efeito do fornecimento localizado de  $P_2S_2$ ,  $N_2S_2$ ,  $N_2P_2$  em um vaso (L<sub>PS</sub>, L<sub>NS</sub>, L<sub>NP</sub>) e de  $N_1$ ,  $P_1$  e  $S_1$  em ambos os vasos, respectivamente.



Contraste 3 - Compara o efeito do fornecimento localizado de  $P_2S_2$  em um vaso ( $L_{PS}$ ) e de  $N_1$  em ambos os vasos, contra o efeito do fornecimento localizado de  $N_2S_2$  e  $N_2P_2$  em um vaso ( $L_{NS}$ ,  $L_{NP}$ ) e de  $P_1$  e  $S_1$  em ambos os vasos, respectivamente.

Contraste 4 - Compara o efeito do fornecimento localizado de  $N_2S_2$  em um vaso ( $L_{NS}$ ) e de  $P_1$  em ambos os vasos, contra o efeito do fornecimento localizado de  $N_2P_2$  em um vaso ( $L_{NP}$ ) e de  $S_1$  em ambos os vasos.

Contraste 5 - Compara o efeito da distribuição de  $N_1P_1S_1$  em ambos os vasos (D), contra o efeito do fornecimento localizado de  $N_2$ ,  $P_2$ ,  $S_2$  em um vaso ( $L_N$ ,  $L_P$ ,  $L_S$ ) e de  $P_1S_1$ ,  $N_1S_1$  e  $N_1P_1$  em ambos os vasos, respectivamente.

Contraste 6 - Compara o efeito do fornecimento localizado de  $N_2$  em um vaso ( $L_N$ ) e de  $P_1S_1$  em ambos os vasos, contra o efeito do fornecimento localizado de  $P_2$  e  $S_2$  em um vaso ( $L_P$ ,  $L_S$ ) e de  $N_1S_1$  e  $N_1P_1$  em ambos os vasos, respectivamente.

Contraste 7 - Compara o efeito do fornecimento localizado de  $P_2$  em um vaso ( $L_P$ ) e de  $N_1S_1$  em ambos os vasos, contra o efeito do fornecimento localizado de  $S_2$  em um vaso ( $L_S$ ) e de  $N_1P_1$  em ambos os vasos.

Contraste 8 - Compara o efeito da distribuição de  $N_1P_1S_1$  em ambos os vasos (D), contra o efeito do isolamento de  $N_2$ ,  $P_2$ ,  $S_2$  em um vaso ( $I_N$ ,  $I_P$ ,  $I_S$ ) e de  $P_2S_2$ ,  $N_2S_2$  e  $N_2P_2$  em outro vaso, respectivamente.

Contraste 9 - Compara o efeito do isolamento de  $N_2$  em um vaso ( $I_N$ ) e de  $P_2S_2$  em outro vaso, contra o efeito do

isolamento de  $P_2$  e  $S_2$  em um vaso e de  $N_2S_2$  e  $N_2P_2$  em outro vaso, respectivamente.

Contraste 10 - Compara o efeito do isolamento de  $P_2$  em um vaso ( $I_P$ ) e de  $N_2S_2$  em outro vaso, contra o efeito do isolamento de  $S_2$  em um vaso ( $I_S$ ) e de  $N_2P_2$  em outro vaso.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Avaliação do Crescimento Vegetativo

De maneira geral, a altura final das plantas e a taxa média do crescimento em altura não foram modificadas, pelo modo de distribuição de N, P e S no ambiente radicular (Quadros 4 e 5). Por outro lado, a área foliar e a taxa média de crescimento das folhas foram diminuídas com o isolamento de um nutriente dos demais ( $N_2P_0S_0-N_0P_2S_2$ ,  $N_0P_2S_0-N_2P_0S_2$ ,  $N_0P_0S_2-N_2P_2S_0$ ) em relação aos demais tratamentos. Resultados semelhantes foram observados em relação à produção de matéria seca das folhas (Quadros 6 e 7).

O fornecimento localizado de NPS ( $N_2P_2S_2-N_0P_0S_0$ ), de NS ( $N_2P_1S_2-N_0P_1S_0$ ), de NP ( $N_2P_2S_1-N_0P_0S_1$ ) e de N ( $N_2P_1S_1-N_0P_1S_1$ ) em um dos vasos embora não tenha diminuído a área foliar final das plantas, levou a uma menor produção de matéria seca das folhas do que o tratamento em que os três

QUADRO 4 - Altura Final da Planta, Área Foliar Final e Taxas Médias de Crescimento da Altura da Planta e da Área Foliar de Cafeeiros Submetidos à Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

Tratamento		Altura de Planta		Área Foliar	
Vaso A	Vaso B	Final	Taxa	Final	Taxa
		(cm)	(cm/semana)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> /semana)
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	29,8	1,84	1463	124,62
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	31,1	1,95	1481	127,07
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	29,7	1,79	1342	113,80
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	29,4	1,74	1445	124,05
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	28,2	1,68	1267	107,90
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	30,4	1,90	1484	129,70
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	29,8	1,83	1431	121,52
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	29,3	1,78	1402	119,52
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	30,1	1,86	1128	94,45
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	28,8	1,77	1192	100,40
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	29,6	1,80	1203	101,10

QUADRO 5 - Análise de Variância da Altura Final da Planta, Área Foliar Final e Taxas Médias de Crescimento da Altura da Planta e da Área Foliar de Cafeeiros Submetidos às Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

F.V.	G.L.	Quadrado Médio			
		Altura da Planta		Área Foliar	
		Final	Taxa	Final	Taxa
Bloco	3	36,840**	0,105*	111.902**	618,0**
Contrastes					
D vs L <sub>NPS</sub>	1	3,511	0,023	685	12,0
D vs L <sub>PS+L<sub>NS</sub>+L<sub>NP</sub></sub>	1	1,333	0,033	37.241	263,7
L <sub>PS</sub> vs L <sub>NS+L<sub>NP</sub></sub>	1	2,100	0,018	580	12,6
L <sub>NS</sub> vs L <sub>NP</sub>	1	3,251	0,008	63.366	521,6
D vs L <sub>N+L<sub>P</sub>+L<sub>S</sub></sub>	1	0,008	0,001	1.680	3,3
L <sub>N</sub> vs L <sub>P+L<sub>S</sub></sub>	1	1,815	0,022	12.240	224,5
L <sub>P</sub> vs L <sub>S</sub>	1	0,405	0,005	1.624	8,0
D vs I <sub>N+I<sub>P</sub>+I<sub>S</sub></sub>	1	0,227	0,003	249.841**	2.0241**
I <sub>N</sub> vs I <sub>P+I<sub>S</sub></sub>	1	2,344	0,014	12.927	105,8
I <sub>P</sub> vs I <sub>S</sub>	1	1,201	0,002	253	1,0
Residuo	30	4,281	0,032	22,476	203,3
C.V. (%)		6,98	9,78	11,12	12,41

D = distribuição de NPS em ambos os vasos; L<sub>NPS</sub> = fornecimento localizado de NPS em apenas um vaso; L<sub>PS</sub>, L<sub>NS</sub>, L<sub>NP</sub>, L<sub>N</sub>, L<sub>P</sub> e L<sub>S</sub> = fornecimento localizado de PS, NS, NP, N, P e S em um vaso e de N, P, S, PS, NS e NP em ambos os vasos, respectivamente; I<sub>N</sub>, I<sub>P</sub>, I<sub>S</sub> = Isolamento de N, P e S em um vaso de PS, NS e NP em outro vaso, respectivamente. (■), (\*), (\*\*) - Significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade, pelo Teste de F, respectivamente.

QUADRO 6 - Matéria Seca acumulada por Cafeeiros Submetidos à Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no ambiente Radicular

Tratamento		Matéria Seca (g)					
		Folha	Caule	Raiz			Total
VasoA	VasoB			VasoA	VasoB	Dif.*	
				(g)			
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	20,30	5,16	3,61	3,72	0,11	7,33
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	17,42	5,52	4,58	1,45	3,13	6,03
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	20,05	4,93	4,01	3,66	0,35	7,67
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	17,07	5,29	5,30	3,46	1,84	8,76
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	17,36	4,99	5,13	3,02	2,11	8,15
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	18,57	4,82	5,12	3,13	1,99	8,25
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	21,02	5,38	4,54	4,42	0,12	8,96
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	20,43	5,18	3,51	3,67	0,16	7,18
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	16,43	4,69	5,08	2,40	2,68	7,48
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	16,78	4,22	3,06	5,08	2,02	8,14
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	17,12	4,40	1,96	4,07	2,11	6,03

Dif.\* = Diferença do peso da matéria seca das raízes dos vasos A e B.

**QUADRO 7 - Análise de Variância da Matéria Seca Acumulada por Cafeeiros Submetidos à Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular**

F.V.	G.L.	Quadrado Médio					
		Folha	Caule	Raiz			Total
				Vaso A	Vaso B	Diferença	
Bloco	3	36,694**	2,825*	1,000	1,757*	0,354	5,377*
Contrastes							
D vs L <sub>NPS</sub>	1	16,858*	0,261	1,892*	10,306**	15,09**	3,367
D vs L <sub>PS+LNS+LNP</sub>	1	13,803.	0,022	4,356**	0,357	4,107*	2,219
L <sub>PS</sub> vs L <sub>NS+LNP</sub>	1	21,433*	0,118	3,840**	0,470	4,335*	1,622
L <sub>NS</sub> vs L <sub>NP</sub>	1	0,192	0,180	0,058	0,387	0,146	0,744
D vs L <sub>N+L<sub>P</sub>+L<sub>S</sub></sub>	1	0,270	0,003	1,829.	0,001	2,350*	1,960
L <sub>N</sub> vs L <sub>P+L<sub>S</sub></sub>	1	12,395*	0,558	3,190*	2,214	3,110*	0,089
L <sub>P</sub> vs L <sub>S</sub>	1	0,702	0,080	2,111*	1,148	1,549	6,372*
D vs I <sub>N+I<sub>P</sub>+I<sub>S</sub></sub>	1	37,227.	1,56	0,173	0,048	10,660*	0,039
I <sub>N</sub> vs I <sub>P+I<sub>S</sub></sub>	1	0,735	0,375	17,545**	12,557**	1,009	0,416
I <sub>P</sub> vs I <sub>S</sub>	1	0,231	0,065	2,420*	2,040	0,016	8,904*
Resíduo	30	4,001	0,579	0,466	0,788	0,710	1,446
C.V. (%)		10,70	15,34	16,35	25,63	29,45	25,63

D = distribuição de NPS em ambos os vasos; L<sub>NPS</sub> = fornecimento localizado de NPS em apenas um vaso; L<sub>PS</sub>, L<sub>NS</sub>, L<sub>NP</sub>, L<sub>N</sub>, L<sub>P</sub> e L<sub>S</sub> = fornecimento localizado de PS, NS, NP, N, P e S em um vaso e de N, P, S, PS, NS e NP em ambos os vasos, respectivamente; I<sub>N</sub>, I<sub>P</sub>, I<sub>S</sub> = Isolamento de N, P e S em um vaso de PS, NS e NP em outro vaso, respectivamente.

(\*) , (\*\*) - Significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade, pelo Teste de F, respectivamente

nutrientes estavam à disposição de todas as raízes ( $N_1P_1S_1-N_1P_1S_1$ ) ou aqueles em que o PS ( $N_1P_2S_2-N_1P_0S_0$ ), o P ( $N_1P_2S_1-N_1P_0S_1$ ) ou o S ( $N_1P_1S_2-N_1P_1S_0$ ) estavam supridos localiradamente (Quadros 4, 5, 4 e 7). Esses resultados sugerem que a homogeneidade na distribuição do N no ambiente radicular favorece o crescimento da parte aérea. Plantas de cevada que se desenvolveram com apenas parte do sistema radicular suprido com  $NO_3^-$  (DREW e SAKER, 1975) ou  $H_2PO_4^-$  (DREW e SAKER, 1978) apresentaram, após certo periodo de adaptação, taxas de crescimento relativo semelhantes àsquelas cujas raízes foram supridas por inteiro com o nutriente. Essas adaptações às alterações no ambiente do solo refletem uma coordenação entre o crescimento da parte aérea e o sistema radicular das plantas (CHAPIN, 1988; RENDIG e TAYLOR, 1989).

O isolamento de um nutriente dos outros dois ( $N_2P_0S_0-N_0P_2S_2$ ,  $N_0P_2S_0-N_2P_0S_2$ ,  $N_0P_0S_2-N_2P_2S_0$ ) foi o que mais reduziu o crescimento da parte aérea dos cafeeiros (Quadros 4, S. 4 e 7). Resultados semelhantes foram verificados em mudas de eucalipto por FERREIRA (1986). Esse autor sugeriu, então, que um possível acoplamento entre as assimilações do  $NO_3^-$  e do  $SO_4^{--}$  teria sido bloqueado suando esses ânions foram fornecidos, separadamente, ao sistema radicular. No caso da separação espacial do P, atribui-se o decréscimo no crescimento da parte aérea a distúrbios nos processos de transferência de energia, para a assimilação do  $SO_4^{--}$ .

Ao contrário da parte aérea, a produção de matéria seca total das raízes não foi alterada pelo suprimento do N em um dos vasos ( $N_2P_1S_2-N_0P_1S_0$ ,  $N_2P_2S_1-N_0P_0S_1$ ,  $N_2P_1S_1-$



$N_0P_1S_1$ ), ( $N_2P_2S_2-N_0P_0S_0$ ), relativamente aos tratamentos onde se forneceu este nutriente a todas as raízes ( $N_1P_2S_2-N_1P_0S_0$ ,  $N_1P_2S_1-N_1P_0S_1$ ), ( $N_1P_1S_1-N_1P_1S_1$ ), respectivamente (Quadros 6 e 7). Esses resultados, na maioria das vezes, ocorreram em consequência de um crescimento desigual entre as raízes dos vasos A e B, frente ao modo de fornecimento do nutriente. Nesse aspecto, quando os três nutrientes estavam presentes apenas na metade do sistema radicular ( $N_2P_2S_2-N_0P_0S_0$ ), o crescimento das raízes no vaso dois, que não recebeu N, P e S, foi substancialmente menor que aquele observado no vaso correspondente do tratamento padrão ( $N_1P_1S_1-N_1P_1S_1$ ). Entretanto, essa redução na massa radicular, na ordem de 61%, foi parcialmente compensada por um acréscimo de 27% no crescimento das raízes no vaso um, onde estavam concentrados os três elementos em relação ao padrão (Quadros 6 e 7). Tal crescimento "compensatório", que chegou a ultrapassar em 216% aquele ocorrido no vaso B do mesmo tratamento ( $N_2P_2S_2-N_0P_0S_0$ ), equiparou a influência dos tratamentos ( $N_1P_1S_1-N_1P_1S_1$ ) e ( $N_2P_2S_2-N_0P_0S_0$ ) na produção total de raízes (Quadros 6 e 7). Um crescimento compensatório do sistema radicular em zonas fertilizadas com N, que também foi observado em cevada (DREW, 1975), e em milho (JAGER, 1982). não foi observado em eucalipto (FERREIRA, 1986).

Dentro de cada grupo de tratamento em que se forneceram o(s) nutriente(s) em somente um dos vasos, uma maior produção de raízes sempre foi observada no vaso que recebeu o N (Quadros 6 e 7). A melhoria no crescimento das raízes, que em média ultrapassou em 43% o crescimento das mesmas nos vasos correspondentes ao tratamento padrão

( $N_1P_1S_1-N_1P_1S_1$ ), ocorreu tanto na presença, quanto na ausência dos outros dois nutrientes ( $N_2P_1S_1-N_0P_1S_1$ ,  $N_2P_2S_1-N_0P_0S_1$ ,  $N_2P_1S_1-N_0P_1S_1$ ). Nesse aspecto, um grande número de trabalhos relatam que o contato direto das raízes com o N exógeno, estimula o desenvolvimento das mesmas (ANGHINONI e BARBER, 1988; FERREIRA, 1986; DREW, 1975; HACKETT, 1972; JAGER, 1982; ROBINSON e RORISON, 1983). Tal estímulo tem sido considerado pela maioria dos autores ser independente da concentração do N exógeno. O suprimento de determinado nutriente em parte do sistema radicular implica na necessidade de retranslocação do mesmo até às regiões de crescimento das raízes que não estão em contato direto com ele. Nesse caso, verifica-se que dos três nutrientes em estudo, o N, acompanhado ou não do P, S ou PS, foi o único nutriente que não atendeu plenamente ao crescimento das raízes no vaso em que ele esteve ausente (Quadros 6 e 7). Assim a diferença de peso da matéria seca entre as duas porções radiculares, de maneira geral, aumentou entre os tratamentos que exigiram a retranslocação do N, ou seja, quando esse nutriente esteve presente em apenas um dos vasos ( $N_2P_2S_2-N_0P_0S_0$ ,  $N_2P_1S_2-N_0P_1S_0$ ,  $N_2P_2S_1-N_0P_0S_1$ ,  $N_2P_1S_1-N_0P_1S_1$ ,  $N_2P_0S_0-N_0P_2S_2$ ,  $N_0P_2S_0-N_2P_0S_2$ ,  $N_0P_0S_2-N_2P_2S_0$ ) (Quadro 8).

O fornecimento localizado do PS ( $N_1P_2S_2-N_1P_0S_0$ ), do P ( $N_1P_2S_1-N_1P_0S_1$ ) e do S ( $N_1P_1S_2-N_1P_1S_0$ ) não estimulou o crescimento das raízes nos vasos onde ocorreram (Quadros 6 e 7), verificando-se para o tratamento ( $N_1P_1S_2-N_1P_1S_0$ ), uma menor produção de matéria seca total no sistema radicular. Esse crescimento indiferenciado entre as raízes supridas e

QUADRO 8 - Análise de Variância da Diferença Entre o Peso Seco das Duas Frações Radiculares, Levando-se em Consideração a Exigência ou Não de Retranslocação dos Nutrientes Estudados Entre Elas

Nutriente	Quadrado Médio
Bloco	0,3539
Contrates (Exige retranslocação vs não exige retranslocação)	
N	13,7816**
P	0,1160
S	1,2805
NP	6,2001**
NS	9,0601**
PS	1,0201
NPS	15,0975**
Resíduo	0,7101
C.V. (%)	25,63

\*\* - Significativo a 1% de probabilidade, pelo Teste de F.

aquelas não supridas com esses nutrientes sugere, para o cafeeiro, que o P e o S não precisariam estar em contato direto com todas as raízes. Esses resultados contrariam os resultados de FRANCO (1983), que verificou um maior crescimento de raízes do cafeeiro na região suprida com o P, que naquele onde o elemento se encontrava ausente.

A separação do S do N ( $N_2P_0S_0 - N_0P_2S_2$ ,  $N_0P_0S_2 - N_2P_2S_0$ ), dentro do grupo de isolamento de um nutriente dos demais, reduziu o crescimento do sistema radicular. Esse decréscimo ocorreu em razão de uma diminuição na massa de

raízes nos vasos em que o nitrogênio estava ausente. Esses resultados concordam com aqueles verificados por FERREIRA (1986) em plantas de eucalipto e sugerem que as interações entre o nitrogênio e enxofre nas folhas também devem ocorrer com grande intensidade nas raízes.

As modificações no crescimento das raízes alteraram a distribuição de matéria seca entre a parte aérea e o sistema radicular de tal maneira que, à exceção do tratamento ( $N_2P_2S_2-N_0P_0S_0$ ), o fornecimento de N em apenas um dos vasos ( $N_2P_1S_2-N_0P_1S_0$ ,  $N_2P_2S_1-N_0P_0S_1$ ,  $N_2P_1S_1-N_0P_1S_1$ ), favoreceu mais o crescimento radicular que o da parte aérea (Quadros 9 e 10). Embora este fenômeno seja amplamente documentado, o mecanismo pelo qual pequenas doses ou suprimento localizado do N aumentam o crescimento radicular, em detrimento do crescimento da parte aérea, até o momento é controverso. O efeito mais conhecido é o aumento na partição de carboidratos para as raízes, decrescendo a razão entre parte aérea/raiz (HACKETT, 1972; RUFTY et alii, 1990; WILSON, 1988). Por outro lado, CHAPIN et alii (1988a) sugerem que qualquer tipo de limitação de nitrogênio reduz o crescimento da parte aérea através de vários mecanismos que operam em diferentes graus. O maior aumento no nível de ácido abscísico, que consistentemente ocorre na parte aérea, em resposta a decréscimos na disponibilidade de nitrogênio, não é observado nas raízes (CHAPIN et alii, 1988b). A ausência de um "sinal das raízes" induziria a síntese de ácido abscísico nas folhas (CHAPIN et alii, 1988a), sinal esse que poderia ser as citocininas que normalmente são

QUADRO 9 - Relação Entre os Pesos da Materia Seca da Parte Aérea e do Sistema Radicular de Cafeeiros Submetidos à Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

Tratamento		M.S. Parte Aérea
Vaso A	Vaso B	M.S. Raiz
$N_1P_1S_1$	$N_1P_1S_1$	3,49
$N_2P_2S_2$	$N_0P_0S_0$	3,85
$N_1P_2S_2$	$N_1P_0S_0$	3,26
$N_2P_1S_2$	$N_0P_1S_0$	2,55
$N_2P_2S_1$	$N_0P_0S_1$	2,74
$N_2P_1S_1$	$N_0P_1S_1$	2,92
$N_1P_2S_1$	$N_1P_0S_1$	2,94
$N_1P_1S_2$	$N_1P_1S_0$	3,60
$N_2P_0S_0$	$N_0P_2S_2$	3,02
$N_0P_2S_0$	$N_2P_0S_2$	2,60
$N_0P_0S_2$	$N_2P_2S_0$	3,68

QUADRO 10 - Análise de Variância da Relação Entre os Pesos da Matéria Seca da Parte Aérea e do Sistema Radicular de Cafeeiros Submetidos à Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

F.V.	G.L.	Quadrado Médio
Bloco	3	0,1618
Contrastes		
D vs L <sub>NPS</sub>	1	0,2592
D vs L <sub>PS</sub> +L <sub>NS</sub> +L <sub>NP</sub>	1	1,2288*
L <sub>PS</sub> vs L <sub>NS</sub> + L <sub>NP</sub>	1	1,0086
L <sub>NS</sub> vs L <sub>NP</sub>	1	0,0722
D vs L <sub>N</sub> +L <sub>P</sub> +L <sub>S</sub>	1	0,3468
L <sub>N</sub> vs L <sub>P</sub> +L <sub>S</sub>	1	0,3314
L <sub>P</sub> vs L <sub>S</sub>	1	0,8845*
D vs I <sub>N</sub> +I <sub>P</sub> +I <sub>S</sub>	1	0,4583
I <sub>N</sub> vs I <sub>P</sub> +I <sub>S</sub>	1	0,0376
I <sub>P</sub> vs I <sub>S</sub>	1	2,3220**
Resíduo	30	0,2007
C.V. (%)		14,06

D = distribuição de NPS em ambos os vasos; L<sub>NPS</sub> = fornecimento localizado de NPS em apenas um vaso; L<sub>PS</sub>, L<sub>NS</sub>, L<sub>NP</sub>, L<sub>N</sub>, L<sub>P</sub> e L<sub>S</sub> = fornecimento localizado de PS, NS, NP, N, P e S em um vaso e de N, P, S, PS, NS e NP em ambos os vasos, respectivamente; I<sub>N</sub>, I<sub>P</sub>, I<sub>S</sub> = Isolamento de N, P e S em um vaso de PS, NS e NP em outro vaso, respectivamente.

(\*), (\*\*) - Significativo a 5 e 1% de probabilidade, pelo Teste de F, respectivamente.

produzidas nas raízes, mas declinam com a queda do N exógeno (SATTELMACHER e MARSCHNER, 1978). Recentemente foi verificado por KUIPER et alii (1989) que baixa concentração de citocinina está intimamente associada à restrição no suprimento de minerais

A elevação do valor da razão parte aérea/raiz nos tratamentos onde o S se encontra localizado ( $N_1P_1S_2-N_1P_1S_0$ ), ou isolado do NP ( $N_0P_0S_2-N_2P_2S_0$ ) em relação aos tratamentos ( $N_2P_1S_1-N_0P_1N_1$ ,  $N_1P_2S_1-N_1P_0S_1$  e  $N_0P_2S_0-N_2P_0S_2$ ) (Quadros 9 e 10), se deve aos efeitos negativos no crescimento radicular, uma vez que a parte aérea desses tratamentos, dentro de seus respectivos grupos, não sofreu queda na produção de matéria seca (Quadros 6 e 7).

#### 4.2. Absorção do Nitrato e Fracionamento do Nitrogênio e do Carboidrato

As condições em que foi realizada a absorção do  $NO_3^-$  não permitiram a aplicação da cinética de Michaelis-Menten, uma vez que as concentrações de  $NO_3^-$  na solução estavam acima do limite superior da faixa de operação do "mecanismo I" em que a afinidade entre o carregador e o íon é alta (EPSTEIN et alii, 1963). Comportamento semelhante foi verificado por ALVES (1986) nos estudos de absorção de  $NO_3^-$  por diversos genótipos de café em diferentes combinações de enxerto e porta-enxerto, durante um período de 26 horas de estudo. Contudo, os influxos máximos para cada tratamento foram determinados, dividindo-se as declividades das retas que representam a absorção de  $NO_3^-$  em função do tempo, pelo

peso da matéria seca da fração do sistema radicular em contato direto com a solução contendo  $\text{NO}_3^-$ .

De maneira geral, e independentemente da localização de P e/ou S, os maiores valores de  $I_{\text{max}}(\text{NO}_3^-)$  foram observados quando este ion foi suprido apenas à metade do sistema radicular ( $\text{N}_2\text{P}_2\text{S}_2-\text{N}_0\text{P}_0\text{S}_0$ ,  $\text{N}_2\text{P}_1\text{S}_2-\text{N}_0\text{P}_1\text{S}_0$ ,  $\text{N}_2\text{P}_2\text{S}_1-\text{N}_0\text{P}_0\text{S}_1$ ,  $\text{N}_2\text{P}_1\text{S}_1-\text{N}_0\text{P}_1\text{S}_1$ ,  $\text{N}_2\text{P}_0\text{S}_0-\text{N}_0\text{P}_2\text{S}_2$ ,  $\text{N}_0\text{P}_2\text{S}_0-\text{N}_2\text{P}_0\text{S}_2$ ,  $\text{N}_0\text{P}_0\text{S}_2-\text{N}_2\text{P}_2\text{S}_0$ ) (Quadros 11 e 12). Essas raízes que estavam em contato direto com o N, por sinal, foram as que apresentaram maiores peso de matéria seca (Quadros 6 e 7) e visualmente, mais ramificadas, sugerindo uma intensa atividade metabólica.

Apesar da multiplicidade das causas (CHAPIN, 1980), tem-se verificado que a indução da atividade da redutase do nitrato, é condição necessária para aumentar a taxa de absorção de  $\text{NO}_3^-$  (JACKSON et alii, 1973). Embora MORGAN et alii (1985) mostrassem que a absorção e redução do  $\text{NO}_3^-$  são processos independentes, vários autores (BUTZ e JACKSON, 1977; JACKSON et alii, 1973; NEYRA e HAGEMAN, 1975) consideram a redutase do nitrato como proteína transportadora de  $\text{NO}_3^-$  na membrana plasmática. Alternativamente, a síntese de malato como produto secundário da assimilação do  $\text{NO}_3^-$  naquelas raízes, poderia fornecer o estímulo necessário ao aumento da absorção do  $\text{NO}_3^-$  (JACKSON et alii, 1973) em quantidades aproximadamente equivalentes ao  $\text{HCO}_3^-$  liberado ao meio externo. Por outro lado, a elevação dos valores de  $I_{\text{max}}(\text{NO}_3^-)$  naquelas raízes, pode estar relacionada à própria demanda do crescimento das raízes que se desenvolveram na ausência do N-exógeno, o que



QUADRO 11 - Valores de  $I_{max}$  da Cinética de Absorção do Nitrato, em Cafeeiros Submetido; à Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

Tratamento		$I_{max}$	
VasoA	VasoB	Vaso A	Vaso B
		(umoles. $h^{-1}.g^{-1}MS$ Raiz)	
$N_1P_1S_1$	$N_1P_1S_1$	5,81	5.20
$N_2P_2S_2$	$N_0P_0S_0$	9,10	--
$N_1P_2S_2$	$N_1P_0S_0$	4,84	4,35
$N_2P_1S_2$	$N_0P_1S_0$	7,92	--
$N_2P_2S_1$	$N_0P_0S_1$	7,14	--
$N_2P_1S_1$	$N_0P_1S_1$	7,23	--
$N_1P_2S_1$	$N_1P_0S_1$	4,04	4,64
$N_1P_1S_2$	$N_1P_1S_0$	4,91	5,48
$N_2P_0S_0$	$N_0P_2S_2$	7,48	--
$N_0P_2S_0$	$N_2P_0S_2$	--	7,24
$N_0P_0S_2$	$N_2P_2S_0$	--	7.83

(-- ) Não foi determinado em função da ausência do nitrato na solução.

QUADRO 12 - Análise de Variância dos Valores de  $I_{max}$  da Cinética de Absorção do Nitrato, em Cafeeiros Submetidos à Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

F.V.	G.L.	Quadrado Médio	
		$I_{max}$	
		Vaso A	Vaso B
Bloco	3	0,8664	0,3938
Contrastes			
D vs $L_{NPS}$	1	21,6482**	54,0804**
D vs $L_{PS}+L_{NS}+L_{NP}$	1	2,03361	42,1875**
$L_{PS}$ vs $L_{NS}+L_{NP}$	1	19,2963**	50,4599**
$L_{NS}$ vs $L_{NP}$	1	1,2168	0,0000
D vs $L_N+L_P+L_S$	1	0,5208	10,0101**
$L_N$ vs $L_P+L_S$	1	20,2401**	68,2763**
$L_P$ vs $L_S$	1	1,5138■	1,4112*
D vs $I_N+I_P+I_S$	1	33,0001**	0,0936
$I_N$ vs $I_P+I_S$	1	149,2011*	151,3530**
$I_P$ vs $I_S$	1	0,0000	0,6962
Residuo	30	0,5222	0,3086
C.V. (%)		13,60	17,59

D = distribuição de NPS em ambos os vasos;  $L_{NPS}$  = fornecimento localizado de NPS em apenas um vaso;  $L_{PS}$ ,  $L_{NS}$ ,  $L_{NP}$ ,  $L_N$ ,  $L_P$  e  $L_S$  = fornecimento localizado de PS, NS, NP, N, P e S em um vaso e de N, P, S, PS, NS e NP em ambos os vasos, respectivamente;  $I_N$ ,  $I_P$ ,  $I_S$  = Isolamento de N, P e S em um vaso de PS, NS e NP em outro vaso, respectivamente.

(■), (\*), (\*\*) - Significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade, pelo Teste de F, respectivamente.

certamente levaria a um maior número de giros do carregador na membrana plasmática ou de sítioç de absorção por unidade de raiz, como sugere LEE (1982). Assim, a maior absorção de  $\text{NO}_3^-$  na zona radicular do cafeeiro rica nesse nutriente, a exemplo da cevada (DREW, 1975; DREW e SAKER, 1975) e do milho (JAGER, 1984), parece compensar, pelo menos em parte, a deficiência do elemento na outra zona, onde o elemento se encontra ausente ou em menor nível.

Os teores de  $\text{N-NO}_3^-$  e de  $\text{N-orgânico}$  foliar não variaram entre os tratamentos (Quadros 13 e 14). As únicas alterações verificadas nas folhas foram um decréscimo no teor de  $\text{N-total}$ , quando se forneceu  $\text{N}$ ,  $\text{P}$  e  $\text{S}$  apenas à metade do sistema radicular ( $\text{N}_2\text{P}_2\text{S}_2-\text{N}_0\text{P}_0\text{S}_0$ ), em relação às plantas do controle ( $\text{N}_1\text{P}_1\text{S}_1-\text{N}_1\text{P}_1\text{S}_1$ ) e um decréscimo no teor de  $\text{N-orgânico}$  para as plantas submetidas ao suprimento localizado de  $\text{N}$  nas raízes ( $\text{N}_2\text{P}_1\text{S}_2-\text{N}_0\text{P}_1\text{S}_0$ ,  $\text{N}_2\text{P}_2\text{S}_1-\text{N}_0\text{P}_0\text{S}_1$ ,  $\text{N}_2\text{P}_1\text{S}_1-\text{N}_0\text{P}_1\text{S}_1$ ), ou com o isolamento de um nutriente dos demais ( $\text{N}_2\text{P}_0\text{S}_0-\text{N}_0\text{P}_2\text{S}_2$ ,  $\text{N}_0\text{P}_2\text{S}_0-\text{N}_2\text{P}_0\text{S}_2$ ,  $\text{N}_0\text{P}_0\text{S}_2-\text{N}_2\text{P}_2\text{S}_0$ ) em relação àquelas em que o nutriente estava à disposição de todo o sistema radicular ( $\text{N}_1\text{P}_1\text{S}_1-\text{N}_1\text{P}_1\text{S}_1$ ,  $\text{N}_1\text{P}_2\text{S}_2-\text{N}_1\text{P}_0\text{S}_0$ ,  $\text{N}_1\text{P}_2\text{S}_1-\text{N}_1\text{P}_0\text{S}_1$ ,  $\text{N}_1\text{P}_1\text{S}_2-\text{N}_1\text{P}_1\text{S}_0$ ). Esses resultados revelam uma menor atividade do sistema de redução do nitrato foliar nas plantas com suprimento localizado de  $\text{N}$ . O decréscimo no metabolismo do  $\text{N}$ , pode ser o responsável pela menor produção de matéria seca das folhas naquelas plantas (Quadros 6 e 7).

Nas raízes, os teores de  $\text{N-total}$  e  $\text{N-NO}_3^-$  (Quadros 15 e 16) não variaram em relação àquelas que receberam o  $\text{N}$  em um só vaso ( $\text{N}_2\text{P}_2\text{S}_2-\text{N}_0\text{P}_0\text{S}_0$ ,  $\text{N}_2\text{P}_1\text{S}_2-\text{N}_0\text{P}_1\text{S}_0$ ,  $\text{N}_2\text{P}_2\text{S}_1-\text{N}_0\text{P}_0\text{S}_1$ ,  $\text{N}_0\text{P}_1\text{S}_1-\text{N}_2\text{P}_1\text{S}_1$ ) ou em ambos ( $\text{N}_1\text{P}_1\text{S}_1-\text{N}_1\text{P}_1\text{S}_1$ ,  $\text{N}_1\text{P}_2\text{S}_2-\text{N}_1\text{P}_0\text{S}_0$ ,

QUADRO 13 - Distribuição das Frações Nitrogenadas nas Folhas de Cafeeiros Submetidos às Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

Tratamento		Nitrogênio		
Vaso A	Vaso B	N-total	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-orgânico
			(%)	
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	3,59	0,16	1,90
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	3,18	0,12	1,61
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	3,57	0,17	2,01
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	3,56	0,16	1,75
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	3,50	0,13	1,68
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	3,35	0,13	1,50
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	3,50	0,18	1,78
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	3,44	0,16	1,78
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	3,49	0,12	1,41
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	3,35	0,13	1,48
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	3,56	0,15	1,30

QUADRO 14 - Análise de Variância da Distribuição das Frações Nitrogenadas nas Folhas de Cafeeiros Submetidos a Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

F.V.	G.L.	Quadrado Médio		
		N-total	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-orgânico
Bloco	3	0,1290	0,0070■	0,1307*
Contrastes				
D vs L <sub>NPS</sub>	1	0,3281**	0,0036	0,1682*
D vs L <sub>PS</sub> +L <sub>NS</sub> +L <sub>NP</sub>	1	0,0063	0,0003	0,0023
L <sub>PS</sub> vs L <sub>NS</sub> +L <sub>NP</sub>	1	0,0033	0,0014	0,2321**
L <sub>NS</sub> vs L <sub>NP</sub>	1	0,0061	0,0008	0,0098
D vs L <sub>N</sub> +L <sub>P</sub> +L <sub>S</sub>	1	0,0740	0,0001	0,1366*
L <sub>N</sub> vs L <sub>P</sub> +L <sub>S</sub>	1	0,0392	0,0042	0,2090**
L <sub>P</sub> vs L <sub>S</sub>	1	0,0091	0,0013	0,0001
D vs I <sub>N</sub> +I <sub>P</sub> +I <sub>S</sub>	1	0,0533	0,0015	0,7600**
I <sub>N</sub> vs I <sub>P</sub> +I <sub>S</sub>	1	0,0067	0,0009	0,0011
I <sub>P</sub> vs I <sub>S</sub>	1	0,0088	0,0006	0,0648
Resíduo	30	0,0321	0,0019	0,0234
C.V. (%)		5,17	28,63	8,28

D = distribuição de NPS em ambos os vasos; L<sub>NPS</sub> = fornecimento localizado de NPS em apenas um vaso; L<sub>PS</sub>, L<sub>NS</sub>, L<sub>NP</sub>, L<sub>N</sub>, L<sub>P</sub> e L<sub>S</sub> = fornecimento localizado de PS, NS, NP, N, P e S em um vaso e de N, P, S, PS, NS e NP em ambos os vasos, respectivamente; I<sub>N</sub>, I<sub>P</sub>, I<sub>S</sub> = Isolamento de N, P e S em um vaso de PS, NS e NP em outro vaso, respectivamente.

(■), (\*), (\*\*) - Significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade, pelo Teste de F, respectivamente.

$N_1P_2S_1-N_1P_0S_1$ ,  $N_1P_1S_2-N_1P_1S_0$ ). Esses resultados sugerem que o estímulo ao crescimento (Quadros 6 e 7) e à absorção de  $NO_3^-$  (Quadros 11 e 14) ocorreram, independentemente dos níveis externos e celulares de N-total e  $N-NO_3^-$ . Por outro lado, ao contrário das folhas, o teor de N-orgânico nas raízes que receberam o N localizado, foi maior do que aquele presente nas demais raízes. Resultado semelhante foi verificado em termos da contribuição do N-orgânico para o N-total (Quadros 17 e 18), sugerindo uma elevada atividade do sistema redutase do nitrato na fração radicular que recebeu o N localizado. Esta observação encontra fundamento nos teores de carboidratos, uma vez que a eficiência da redutase do nitrato radicular no cafeeiro é altamente dependente da importação de fotoassimilados (QUEIROZ, 1986). Assim, é possível que tenha havido uma alocação preferencial de fotoassimilados naquela zona radicular em contato direto com o N (HACKETT, 1972).

Ainda que os teores foliares de carboidratos não tenham sofrido variações (Quadros 19 e 20), observou-se, de maneira geral, os menores teores de açúcares solúveis totais e de amido nas frações radiculares onde ocorreu o estímulo no crescimento radicular em contato com o N localizado ( $N_2P_2S_1-N_0P_0S_1$ ,  $N_2P_1S_2-N_0P_1S_0$ ,  $N_2P_2S_1-N_0P_0S_1$ ,  $N_2P_1S_1-N_0P_1S_1$ ) (Quadros 21 e 22). Sabe-se que os carboidratos são indispensáveis como fonte de esqueletos carbonados e, em alguns casos, como substrato respiratório para o suprimento da energia necessária à assimilação do  $NO_3^-$  (DEANE-DRUMMOND e CLARKSON, 1979; RADIN *et alii*, 1978). Desse modo, os decréscimos nos teores de açúcares solúveis totais devem

QUADRO 15 - Distribuição das Frações Nitrogenadas nas Raízes de Cafeeiros Submetidos à Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

Tratamento		N-total		N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		N-orgânico	
VasoA(VA)	VasoA(VB)	VA	VB	VA	VB	VA	VB
----- (%) -----							
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	3,95	3,99	0,51	0,45	1,20	1,20
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	4,12	1,70	0,54	0,02	1,58	0,85
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	3,68	3,54	0,57	0,60	1,16	1,06
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	3,73	1,76	0,52	0,03	1,61	0,94
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	3,94	1,71	0,52	0,04	1,57	0,85
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	3,92	1,65	0,48	0,03	1,45	0,89
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	3,86	3,82	0,51	0,50	1,18	1,05
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	3,92	3,83	0,42	0,44	1,15	1,04
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	3,75	1,79	0,63	0,07	1,11	0,87
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	1,60	3,16	0,03	0,43	0,96	1,11
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	1,99	3,90	0,03	0,51	0,95	1,12

**QUADRO 16 - Análise de Variância da Distribuição das Frações Nitrogenadas nas Raízes de Cafeeiros Submetidos à Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no ambiente Radicular**

F.V.	G.L.	Quadrado Médio					
		N-total		N%		N-orgânico	
		VA	VB	VA	VB	VA	VB
Bloco	3	0,044	0,086	0,144**	0,071**	0,064	0,038
Contrastes							
D vs L <sub>NPS</sub>	1	0,058	10,488**	0,002	0,36111	0,289**	0,252**
D vs L <sub>PS</sub> +L <sub>NS</sub> +L <sub>NP</sub>	1	0,085	8,192**	0,001	0,156**	0,185**	0,194**
L <sub>PS</sub> vs L <sub>NS</sub> +L <sub>NP</sub>	1	0,065	8,748**	0,007	0,859**	0,499**	0,070
L <sub>NS</sub> vs L <sub>NP</sub>	1	0,090	0,005	0,000	0,001	0,003	0,014
D vs L <sub>N</sub> +L <sub>P</sub> +L <sub>S</sub>	1	0,009	2,372**	0,006	0,049	0,012	0,129*
L <sub>N</sub> vs L <sub>P</sub> +L <sub>S</sub>	1	0,003	12,543**	0,001	0,538**	0,217**	0,065
L <sub>P</sub> vs L <sub>S</sub>	1	0,007	0,001	0,018	0,007	0,002	0,001
D vs I <sub>N</sub> +I <sub>P</sub> +I <sub>S</sub>	1	6,825	3,245**	0,241**	0,036	0,109	0,086*
I <sub>N</sub> vs I <sub>P</sub> +I <sub>S</sub>	1	10,153	8,108**	0,976**	0,437**	0,068	0,160**
I <sub>P</sub> vs I <sub>S</sub>	1	0,316*	1,103**	0,000	0,013	0,001	0,000
Residuo	30	0,044	0,053	0,012	0,012	0,023	0,018
C.V. (%)		6,01	8,21	25,15	38,45	12,24	13,57

D = distribuição de NPS em ambos os vasos; L<sub>NPS</sub> = fornecimento localizado de NPS em apenas um vaso; L<sub>PS</sub>, L<sub>NS</sub>, L<sub>NP</sub>, L<sub>N</sub>, L<sub>P</sub> e L<sub>S</sub> = fornecimento localizado de PS, NS, N, P e S em um vaso e de N, P, S, PS, NS e NP em ambos os vasos, respectivamente; I<sub>N</sub>, I<sub>P</sub>, I<sub>S</sub> = Isolamento de N, P e S em um vaso de PS, NS e NP em outro vaso, respectivamente.

(■), (\*), (\*\*) - Significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade, pelo Teste de F, respectivamente.



QUADRO 17 - Relação Entre N-orgânico:N-total em Folhas e Raízes de Cafeeiros Submetidos à Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

Tratamento		Folha	Raiz	
		N-org.	N-org. VA	N-org. VE
Vaso1	Vaso2	N-total	N-total VA	N-total VE
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	0,53	0,30	0,30
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	0,36	0,45	0,51
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	0,56	0,32	0,30
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	0,49	0,43	0,53
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	0,48	0,40	0,50
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	0,48	0,37	0,54
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	0,51	0,31	0,28
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	0,52	0,29	0,27
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	0,40	0,30	0,49
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	0,44	0,61	0,35
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	0,36	0,47	0,29

QUADRO 18 - Análise de Variância da Relação Entre N-orgânico:N-total em Folhas e Raízes de Cafeeiros Submetidos à Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

F.V.	G.L.	Quadrado Médio		
		Folha	Raiz (VA)	Raiz (VB)
		N-org/N-total	N-org/N-total	N-org/N-total
Bloco	3	0,0093*	0,0084	0,0066
Contrastes				
D vs L <sub>NPS</sub>	1	0,0578**	0,0450**	0,0820**
D vs L <sub>PS</sub> +L <sub>NS</sub> +L <sub>NP</sub>	1	0,0012	0,0188*	0,0602**
L <sub>PS</sub> vs L <sub>NS</sub> +L <sub>NP</sub>	1	0,0015	0,0267**	0,1247**
L <sub>NS</sub> vs L <sub>NP</sub>	1	0,0002	0,0018	0,0028
D vs L <sub>N</sub> +L <sub>P</sub> +L <sub>S</sub>	1	0,0002	0,0013	0,0111■
L <sub>N</sub> vs L <sub>P</sub> +L <sub>S</sub>	1	0,0033	0,0130■	0,1926**
L <sub>P</sub> vs L <sub>S</sub>	1	0,0001	0,0002	0,0001
D vs I <sub>N</sub> +I <sub>P</sub> +I <sub>S</sub>	1	0,0507**	0,0776**	0,0165*
I <sub>N</sub> vs I <sub>P</sub> +I <sub>S</sub>	1	0,0001	0,1601**	0,0805**
I <sub>P</sub> vs I <sub>S</sub>	1	0,0015	0,0365**	0,0066
Resíduo	30	0,0023	0,0035	0,0037
C.V. (%)		8,43	15,86	15,41

D = distribuição de NPS em ambos os vasos; L<sub>NPS</sub> = fornecimento localizado de NPS em apenas um vaso; L<sub>PS</sub>, L<sub>NS</sub>, L<sub>NP</sub>, L<sub>N</sub>, L<sub>P</sub> e L<sub>S</sub> = fornecimento localizado de PS, NS, NP, N, P e S em um vaso e de N, P, S, PS, NS e NP em ambos os vasos, respectivamente; I<sub>N</sub>, I<sub>P</sub>, I<sub>S</sub> = Isolamento de N, P e S em um vaso de PS, NS e NP em outro vaso, respectivamente.  
 (■), (\*), (\*\*) - Significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade, pelo Teste de F, respectivamente.

QUADRO 19 - Teores de Açúcares Solúveis Totais e de Amido em Folhas de Cafeeiros Submetidos à Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

Tratamento		Açúcares Solúveis Totais	Amido
VasoA	VasoB		
		(%)	
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	12,13	14,13
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	11,73	13,21
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	13,45	14,30
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	12,61	15,62
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	14,62	16,04
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	13,92	15,13
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	12,28	14,23
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	12,83	14,42
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	12,31	15,01
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	12,66	13,89
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	13,27	11,18

QUADRO 20 - Análise de Variâncias dos Teores de Açúcares Solúveis Totais e de Amido em Folhas de Cafeeiros Submetidos à Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

F.V.	G.L.	Quadrado Médio	
		Açúcares Solúveis Totais	Amido
Bloco	1	10,9422*	7,1962
Contrastes			
D vs L <sub>NPS</sub>	1	0,3081	1,6928
D vs L <sub>PS+LNS+LNP</sub>	1	6,1347	5,7408
L <sub>PS</sub> vs L <sub>NS+LNP</sub>	1	0,0726	8,8330
L <sub>NS</sub> vs L <sub>NP</sub>	1	8,0002	2,0000
D vs L <sub>N+Lp+Ls</sub>	1	2,4345	0,6440
L <sub>N</sub> vs L <sub>p+Ls</sub>	1	5,2360	1,7281
L <sub>p</sub> vs L <sub>s</sub>	1	0,6105	0,0722
D vs I <sub>N+Ip+Is</sub>	1	1,1594	1,7787
I <sub>N</sub> vs I <sub>p+Is</sub>	1	1,1441	14,3350
I <sub>p</sub> vs I <sub>s</sub>	1	0,7564	10,6882
Residuo	30	2,7867	6,7106
C.V. (%)		13,04	18,60

D = distribuição de NPS em ambos os vasos; L<sub>NPS</sub> = fornecimento localizado de NPS em apenas um vaso; L<sub>PS</sub>, L<sub>NS</sub>, L<sub>NP</sub>, L<sub>N</sub>, L<sub>p</sub> e L<sub>s</sub> = fornecimento localizado de PS, NS, NP, N, P e S em um vaso e de N, P, S, PS, NS e NP em ambos os vasos, respectivamente; I<sub>N</sub>, I<sub>p</sub>, I<sub>s</sub> = Isolamento de N, P e S em um vaso de PS, NS e NP em outro vaso, respectivamente.  
 (\*) - Significativo a 5% de probabilidade, pelo Teste de F, respectivamente.

QUADRO 21 - Teores de Açúcares Solúveis Totais e de Amido em Raízes de Cafeeiros Submetidos à Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

Tratamento		Açúcares Solúveis Totais		Amido	
VasoA	VasoB	Vaso A	Vaso E	Vaso A	Vaso E
		(%)			
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	4,98	4,52	1,51	1,50
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	2,57	8,03	0,81	1,98
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	4,18	4,09	1,65	1,87
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	1,94	4,69	1,06	2,92
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	1,82	5,11	1,02	2,44
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	1,72	5,13	0,86	2,53
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	2,97	4,56	1,83	1,79
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	4,68	3,91	1,47	1,57
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	3,51	7,31	2,43	2,41
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	5,61	3,05	1,39	1,29
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	6,40	3,57	1,66	1,58

QUADRO 22 - Análise de Variância dos Teores de Açúcares Solúveis Totais e de Amido em Raízes de Cafeeiros Submetidos à Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

F.V.	G.L.	Quadrado Médio			
		Açúcares Solúveis Totais		Amido	
		Vaso A	Vaso B	Vaso A	Vaso B
eIoco	3	4,9118■	0,5118	0,7240■	0,4138
<b>Contrastes</b>					
D vs L <sub>NPS</sub>	1	11,6162*	24,7456**	0,9800■	0,4656
D vs L <sub>PS</sub> +L <sub>NS</sub> +L <sub>NP</sub>	1	16,3333*	0,0363	0,2133	2,4813*
L <sub>PS</sub> vs L <sub>NS</sub> +L <sub>NP</sub>	1	14,1067*	1,7658	0,9923■	1,7496■
L <sub>NS</sub> vs L <sub>NP</sub>	1	0,0276	0,3655	0,0032	0,5408
D vs L <sub>N</sub> +L <sub>P</sub> +L <sub>S</sub>	1	4,2483	0,0007	0,0456	0,6440
L <sub>N</sub> vs L <sub>P</sub> +L <sub>S</sub>	1	6,8694■	2,1242	1,6643*	1,9267■
L <sub>P</sub> vs L <sub>S</sub>	1	1,0082	0,8581	0,2592	0,0968
e vs I <sub>N</sub> +I <sub>P</sub> +I <sub>S</sub>	1	0,1102	0,0475	0,2930	0,2028
I <sub>N</sub> vs I <sub>P</sub> +I <sub>S</sub>	1	16,5668**	42,7467**	2,1841**	2,5155*
I <sub>P</sub> vs I <sub>S</sub>	1	1,2482	0,5565	0,1458	0,1653
<b>Resíduo</b>	<b>30</b>	<b>17,1194</b>	<b>2,1597</b>	<b>0,2787</b>	<b>0,5117</b>
<b>C.V. (%)</b>		<b>34,97</b>	<b>29,95</b>	<b>36,72</b>	<b>38,05</b>

D = distribuição de NPS em ambos os vasos; L<sub>NPS</sub> = fornecimento localizado de NPS em apenas um vaso; L<sub>PS</sub>, L<sub>NS</sub>, L<sub>NP</sub>, L<sub>N</sub>, L<sub>P</sub> e L<sub>S</sub> = fornecimento localizado de PS, NS, NP, N, P e S em um vaso e de N, P, S, PS, NS e NP em ambos os vasos, respectivamente; I<sub>N</sub>, I<sub>P</sub>, I<sub>S</sub> = Isolamento de N, P e S em um vaso de PS, NS e NP em outro vaso, respectivamente.

(■), (\*), (\*\*) - Significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade, pelo Teste de F, respectivamente.

estar relacionados com o incremento da síntese de compostos orgânicos nitrogenados nas raízes em contato com o N exógeno localizado, proporcionando um maior crescimento nessa fração radicular (Quadros 6 e 7).

Considerando-se a maior contribuição do N-orgânico para o N-total (Quadros 17 e 18) nas raízes que receberam o N localizado ( $N_2P_1S_2-N_0P_1S_0$ ,  $N_2P_2S_1-N_0P_0S_1$ ,  $N_2P_1S_1-N_0P_1S_1$ ,  $N_0P_2S_0-N_2P_0S_2$ ,  $N_0P_0S_2-N_2P_2S_0$ ) em relação aquelas com amplo fornecimento do nutriente ( $N_1P_1S_1-N_1P_1S_1$ ,  $N_1P_2S_2-N_1P_0S_0$ ,  $N_1P_2S_1-N_1P_0S_1$ ,  $N_1P_1S_2-N_1P_1S_0$ ), como indicativo de uma alta atividade do sistema redutase do nitrato, é possível supor que os elevados valores de  $I_{max-NO_3^-}$  observados nas raízes que receberam o N localizado (Quadros 11 e 12) estejam associados à maior redução do  $N-NO_3^-$ , como proposto por BUTZ e JACKSON (1977), JACKSON et alii (1973), NEYRA e HAGEMAN (1975). Esse sistema para ser operado em sua plenitude, depende de um forte controle retroalimentador da parte aérea sobre o sistema radicular, e vice-versa. Assim, QUEIROZ (1986) mostrou uma estreita cooperação entre esses órgãos na assimilação do nitrato, uma vez que a atividade da redutase do nitrato foliar está relacionada com a absorção e translocação do nitrato, enquanto a eficiência da redutase do nitrato radicular é dependente do fluxo de fotoassimilados.

As raízes crescidas nos vasos opostos (vaso B) em que o PS, NS, NP, N, P e S estavam ausentes, ou seja, localizados no vaso A, embora tivessem o mesmo crescimento que as do controle (Quadros 6 e 7), apresentaram, de maneira geral, teor de N-total e de  $N-NO_3^-$  superior quando

da presença do N exógeno ( $N_1P_2S_2-N_1P_0S_0$ ,  $N_1P_2S_1-N_1P_0S_1$ ,  $N_1P_1S_2-N_1P_1S_0$ ) (Quadros 15 e 16). Em contrapartida, essas raízes apresentaram uma menor contribuição do N-orgânico para o N-total (Quadros 17 e 18). Esses resultados mostram que o elevado teor de  $N-NO_3^-$  naquelas raízes provavelmente estaria numa forma pouco disponível para a sua assimilação. Neste aspecto, HEIMER e FILNER (1971) ao verificarem que apesar do alto teor de  $N-NO_3^-$  endógeno, a remoção do  $NO_3^-$  exógeno rapidamente interrompia a atividade da redutase do nitrato. Propuseram, então, a existência de dois "pools" de nitrato: um pequeno no citoplasma, ou "pool" metabólico, que determina a síntese e/ou a atividade da enzima e outro, inacessível a ela, no vacúolo ou "pool" de armazenamento. Para os tratamentos ( $N_2P_1S_2-N_0P_1S_0$ ,  $N_2P_2S_1-N_0P_0S_1$ ,  $N_2P_1S_1-N_0P_1S_1$ ) verifica-se que nas raízes do vaso B, a fração que mais contribuiu para o N-total foi o N-orgânico (Quadro 17 e 18). Nessas raízes que não estavam em contato com o N exógeno, a menor e a maior contribuição do  $N-NO_3^-$  e do N-orgânico para o N-total, respectivamente permitem supor que o  $N-NO_3^-$  retranslocação via floema teria sido direcionado exclusivamente ao "pool" citoplasmático e aí reduzido a compostos orgânicos. Entretanto, a ausência de  $N-NO_3^-$  na seiva do floema (MARSCHNER, 1986) impõe restrições a essa hipótese. Reforçando esta hipótese, QUEIROZ (1986), mediante a análise do exudato do xilema do cafeeiro, constatou altas percentagens de N-orgânico em relação ao  $N-NO_3^-$ , que, no final do período luminoso, atingiu 94%. Além disso, os maiores teores de carboidratos que ocorreram nas frações que



não receberam diretamente o N-exógeno (Quadros 21 e 22) indicam a sua não utilização nos processos respiratórios para suprir o sistema redutase do nitrato radicular. Desse modo, os resultados sugerem que o maior teor relativo de N-orgânico resultou de um apreciável suprimento dessa forma nitrogenada, via floema

Os elevados teores de asparagina e glutamina na fração radicular que não estava em contato direto com o N exógeno ( $N_2P_2S_2-N_0P_0S_0$ ,  $N_2P_1S_2-N_0P_1S_0$ ,  $N_2P_2S_1-N_0P_0S_1$ ,  $N_2P_1S_1-N_0P_1S_1$ ,  $N_2P_0S_0-N_0P_2S_2$ ,  $N_0P_2S_0-N_2P_0S_2$ ,  $N_0P_0S_2-N_2P_2S_0$ ), (Quadro 23) sugerem esses aminoácidos, como as principais formas de redistribuição do N no cafeeiro. Tal redistribuição ocorre com relativa economia de carbono já que a asparagina apresenta uma relação C:N de 4:2 (GOODWIN e MERCER, 1983). A asparagina foi o aminoácido com maior contribuição relativa na fração N-aminoacídica, atingindo, em média, 70 e 45% do N-aminoacídico livre para os tratamentos sem e com localização do N, respectivamente. Assim, justifica-se o maior teor desse aminoácido nas raízes que receberam o N localizado. uma vez que o mesmo, além de participar da síntese de proteínas nas próprias raízes, teria, fundamentalmente, o papel de suprir de N, as raízes deficientes desse elemento. Uma eficiente exportação de asparagina evitaria, aparentemente, a inibição na absorção e na redução do nitrato, uma vez que esse aminoácido em altas concentrações no meio externo (~ 2,0 mM), normalmente causa diminuição na atividade da redutase do nitrato (RADIN, 1977).

**QUADRO 23 - Composição da Fração Aminoácidos Livres (ug N-aminoácido.g<sup>-1</sup> MS) em Extratos de Raízes de Cafeeiro Submetidos a Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular. Os Números Entre Parênteses Indicam a % no N-aminoácido Total**

Aminoácidos	Tratamento																				
	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub> -M <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	M <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub> -M <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	M <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub> -M <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	M <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub> -M <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	M <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub> -M <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	M <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub> -M <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	M <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub> -M <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	M <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub> -M <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	M <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub> -M <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	M <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub> -M <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	M <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub> -M <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	M <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub> -M <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	M <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub> -M <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	M <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub> -M <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	M <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub> -M <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	M <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub> -M <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>					
Ácido aspártico	334 (3,5)	340 (2,2)	49 (7,1)	427 (5,2)	320 (4,8)	427 (3,0)	64 (8,0)	455 (2,9)	76 (4,7)	446 (3,6)	66 (7,6)	432 (4,6)	450 (5,3)	481 (5,4)	449 (5,4)	361 (3,3)	76 (2,0)	36 (6,8)	338 (3,2)	176 (3,9)	239 (2,9)
Ácido glutâmico	287 (3,0)	395 (2,5)	122 (17,6)	282 (3,4)	284 (4,2)	279 (1,9)	121 (15,3)	323 (2,0)	123 (7,5)	274 (2,2)	122 (14,1)	324 (3,5)	240 (2,8)	333 (3,8)	294 (3,5)	295 (2,7)	190 (4,9)	126 (2,4)	274 (2,7)	175 (3,8)	179 (2,2)
Alanina	505 (5,4)	1572 (10,1)	28 (4,1)	618 (7,6)	410 (6,1)	656 (4,6)	25 (3,2)	760 (4,8)	114 (7,0)	620 (5,1)	25 (2,9)	610 (7,6)	632 (6,5)	711 (8,1)	542 (6,5)	319 (3,0)	105 (2,7)	—	618 (6,1)	200 (4,4)	342 (4,1)
Arginina	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	177 (3,9)	—
Asparagina	6780 (71,9)	10134 (65,3)	258 (37,3)	5280 (64,5)	4202 (62,7)	10830 (75,4)	377 (42,6)	11684 (74,1)	796 (48,8)	8954 (73,2)	377 (43,6)	6180 (66,3)	5320 (62,8)	5524 (62,6)	5573 (67,2)	8499 (78,9)	1454 (37,6)	209 (39,7)	6967 (68,9)	3150 (69,0)	6165 (75,5)
Glutamina	722 (7,7)	1636 (10,5)	103 (14,9)	730 (8,9)	662 (9,9)	919 (6,4)	102 (12,9)	1340 (8,5)	322 (19,7)	963 (7,9)	127 (14,7)	673 (7,2)	684 (8,1)	720 (8,2)	533 (6,4)	616 (5,7)	1886 (48,8)	73 (13,9)	1074 (10,6)	295 (6,5)	729 (8,9)
Serina	507 (5,4)	956 (6,2)	76 (11,0)	631 (7,7)	580 (8,6)	846 (5,9)	80 (10,1)	845 (5,4)	142 (8,7)	663 (5,3)	86 (10,0)	843 (9,1)	806 (9,5)	744 (8,4)	644 (7,8)	493 (4,6)	108 (2,8)	53 (10,0)	564 (5,6)	259 (5,7)	366 (4,5)
Prolina	58 (0,6)	80 (0,5)	—	62 (0,8)	58 (0,9)	73 (0,5)	—	82 (0,5)	—	51 (0,5)	—	75 (0,8)	61 (0,7)	85 (0,9)	63 (0,8)	53 (0,5)	—	—	43 (0,5)	—	59 (0,7)
Outros	232 (2,5)	401 (2,7)	55 (8,0)	152 (1,9)	183 (2,8)	335 (2,3)	63 (7,9)	276 (1,8)	58 (3,6)	264 (2,2)	61 (7,1)	182 (2,0)	282 (3,2)	231 (2,6)	196 (2,4)	138 (1,3)	44 (1,2)	29 (5,6)	242 (2,4)	132 (2,8)	100 (1,2)
N-Aminoácido	9193 (100)	15514 (100)	691 (100)	8182 (100)	6699 (100)	14365 (100)	792 (100)	15765 (100)	1631 (100)	12235 (100)	864 (100)	9319 (100)	8475 (100)	8829 (100)	8294 (100)	10774 (100)	3863 (100)	526 (100)	10110 (100)	4564 (100)	8179 (100)
N-NH <sub>3</sub> (mg/g)	0,7	1,0	0,2	0,7	0,6	0,8	0,2	1,1	0,5	0,9	0,2	0,6	0,7	0,8	0,8	0,6	2,2	0,2	0,9	0,4	0,7

Esses resultados permitem a elaboração do seguinte modelo para o cafeeiro: Quando parte das raízes se encontra deficiente em N, a outra porção, que se desenvolve em uma região mais rica no nutriente, passa a crescer à taxas mais elevadas, aumentando, assim, o volume de raízes em contato com o N (Quadro 6), com um concomitante aumento no  $I_{max}$  ( $NO_3^-$ ) (Quadro 11). Esses efeitos são seguidos por decréscimos nos teores de açúcares solúveis totais e de amido nas raízes (Quadro 21) para suprimento de energia e poder redutor para a assimilação do  $NO_3^-$ , e como esqueleto carbonado para a síntese de compostos orgânicos nitrogenados, principalmente asparagina e glutamina (Quadro 23). Esses dois aminoácidos iriam, assim, abastecer predominantemente as raízes que não estavam em contato com o N-exógeno.

A elevação nos teores de glutamina coincide com a elevação dos teores de  $NH_3$  (Quadro 23). Nesse caso, é possível que o cafeeiro tenha desenvolvido um mecanismo bastante eficiente para desintoxicar-se do excesso de  $NH_3$ . Esse mecanismo fisiológico, segundo MARSCHNER (1986), parece resultar da incorporação do N- $NH_3$ , principalmente em amidas, evitando o desvio da rota metabólica, a partir do ácido glutâmico, que fatalmente poderia conduzir à síntese de poliaminas em níveis tóxicos.

A arginina foi detectada apenas na fração radicular de plantas crescidas na ausência de NP ( $N_0P_0S_2-N_2P_2S_0$ ). O acúmulo desse aminoácido poderia estar associado a distúrbios ocasionados no metabolismo do S. Em face de um limitado teor de S-orgânico para a síntese protéica naquela

fração radicular, a arginina parece, então, constituir-se na principal forma de armazenamento do N absorvido pela planta (THOMPSON et alii, 1960). Nesse caso, o desvio no metabolismo ocorreu por rotas mais econômicas em termos de consumo de carbono, uma vez que a arginina apresenta uma relação C:N de 5:4 (GOODWIN e MERCER, 1983).

A presença de prolina apenas nas frações radiculares em contato com o nitrogênio exógeno sugere uma imobilidade deste aminoácido na planta, sendo a sua presença restrita ao local de síntese. Alternativamente, a síntese de prolina poderia estar envolvida com os processos de formação da parede celular. Assim, o ácido glutâmico, que está presente em altas concentrações, seria utilizado para a síntese de prolina que daria origem à hidroxiprolina, que é um dos constituintes da extensina, uma proteína da parede celular (BRETT e WALDRON, 1990). A ausência de prolina nas raízes que não receberam o nitrogênio exógeno estaria ligada à sua menor síntese, em decorrência de um menor suprimento de ácido glutâmico. Desse modo, a prolina sintetizada seria totalmente utilizada na formação da parede celular.

Os demais aminoácidos e principalmente a alanina, seguiram, em linhas gerais, padrão semelhante, ou seja, tiveram os seus níveis aumentados com a combinação do N com um ou com os dois nutrientes.

#### 4.3. Absorção do Fósforo e Fracionamento do Fósforo

De maneira geral, o suprimento do fósforo em um dos vasos ( $N_2P_2S_2-N_0P_0S_0$ ,  $N_1P_2S_2-N_1P_0S_0$ ,  $N_2P_2S_1-N_0P_0S_1$ ,  $N_1P_2S_1-$

$N_1P_0S_1$ ,  $N_2P_0S_0-N_0P_2S_2$ ,  $N_0P_2S_0-N_2P_0S_2$ ,  $N_0P_0S_2-N_2P_2S_0$ ) causou elevação do valor do  $K_m(H_2PO_4^-)$  em relação àqueles verificados quando o nutriente foi fornecido a todas as raízes ( $N_1P_1S_1-N_1P_1S_1$ ,  $N_2P_1S_2-N_0P_1S_0$ ,  $N_2P_1S_1-N_0P_1S_1$ ,  $N_1P_1S_2-N_1P_1S_0$ ) (Quadros 24 e 25). O aumento no valor do  $K_m(H_2PO_4^-)$ , que representa uma redução na afinidade entre o carregador e o fosfato, não se deve provavelmente à elevação da concentração de P na solução, de 12,5 para 25  $\mu M$ , uma vez que estes valores estão bem abaixo do limite superior da faixa de operação do "mecanismo I" de absorção (EPSTEIN *et alii*, 1963). Todavia, tem-se verificado na literatura uma elevação nos valores de  $K_m$  para o potássio em cevada (GLASS e PERLEY, 1980) e para o  $SO_4^{--}$  em eucalipto (FERREIRA, 1986) com o aumento da concentração daqueles nutrientes dentro da faixa do "mecanismo I" de absorção. Por outro lado, a nutrição prévia com fósforo afetou de maneira semelhante, os valores do  $K_m$  nos estudos de absorção de fosfato em cevada (CARTWRIGHT, 1972; LEE, 1982).

Alterações nos valores de  $K_m$  podem indicar a formação de carregadores com diferentes afinidades para com o ion (LEE, 1982). Alternativamente, essas alterações poderiam ser efetivadas mediante um efeito alostérico da concentração intracelular do ion, induzindo mudanças de conformação nos carregadores já existentes (PETERSON e JENSEN, 1978). GLASS (1976) e JENSEN e KÖNIK (1982) acrescentam, ainda, que a magnitude das respostas é muito dependente da concentração dos ions nas soluções de cultivo e de absorção.

QUADRO 24 - Valores de  $K_m$  e  $I_{max}$  da Cinética de Absorção do Fosfato, em Cafeeiros Submetidos à Localização de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

Tratamento		$K_m$		$I_{max}$	
VasoA	VasoB	VasoA	VasoB	VasoA	VasoB
		(µM)		(µmoles.h <sup>-1</sup> .g <sup>-1</sup> MS raiz)	
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	5,51	5,85	0,69	0,61
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	14,22	--	0,13	--
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	11,85	--	0,30	--
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	3,08	8,14	0,16	0,70
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	8,51	--	0,19	--
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	3,58	7,80	0,13	0,77
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	10,80	--	0,35	--
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	6,20	7,12	0,58	0,61
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	--	13,92	--	0,74
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	13,51	--	0,59	--
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	--	9,89	--	0,20

(--) Não foi determinado em função da ausência do fosfato na solução.

QUADRO 25 - Análise de Variância dos Valores de  $K_m$  e  $I_{max}$  da Cinética de Absorção do Fósforo, em Cafeeiros Submetidos à Localização de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

F.V.	G.L.	Quadrado Médio			
		$K_m$		$I_{max}$	
		VasoA	VasoB	VasoA	VasoB
Bloco	3	2,7173	4,6861*	0,0035	0,0087
Contrastes					
D vs $L_{NPS}$	1	151,738**	68,465**	0,627**	0,744**
D vs $L_{PS}+L_{NS}+L_{NP}$	1	16,579**	29,516**	0,672**	0,426**
$L_{PS}$ vs $L_{NS}+L_{NP}$	1	99,471**	44,173**	0,042*	0,327**
$L_{NS}$ vs $L_{NP}$	1	60,280**	132,519**	0,001	0,980**
D vs $L_N+L_P+L_S$	1	5,468*	2,306	0,340**	0,068**
$L_N$ vs $L_P+L_S$	1	64,550**	47,940**	0,297**	0,576**
$L_P$ vs $L_S$	1	42,320**	101,389**	0,106**	0,744**
D vs $I_N+I_P+I_S$	1	3,060	13,063**	0,730**	0,264**
$I_N$ vs $I_P+I_S$	1	121,690**	214,802**	0,232**	0,213**
$I_P$ vs $I_S$	1	365,039**	195,624**	0,696**	0,080**
Resíduo	30	1,872	1,334	0,004	0,007
C.V. (r.)		19,44	24,10	19,35	24,20

D = distribuição de NPS em ambos os vasos;  $L_{NPS}$  = fornecimento localizado de NPS em apenas um vaso;  $L_{PS}$ ,  $L_{NS}$ ,  $L_{NP}$ ,  $L_N$ ,  $L_P$  e  $L_S$  = fornecimento localizado de PS, NS, NP, N, P e S em um vaso e de N, P, S, PS, NS e NP em ambos os vasos, respectivamente;  $I_N$ ,  $I_P$ ,  $I_S$  = Isolamento de N, P e S em um vaso de PS, NS e NP em outro vaso, respectivamente. (■), (\*), (\*\*) - Significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade, pelo Teste de F. respectivamente.

Independentemente da localização do P, os menores valores do  $K_m(\text{H}_2\text{PO}_4^-)$  foram verificados na presença do N suprido a somente um dos vasos ( $\text{N}_2\text{P}_1\text{S}_2-\text{N}_0\text{P}_1\text{S}_0$ ,  $\text{N}_2\text{P}_2\text{S}_1-\text{N}_0\text{P}_0\text{S}_1$ ,  $\text{N}_2\text{P}_1\text{S}_1-\text{N}_0\text{P}_1\text{S}_1$ ). Possivelmente, esses resultados se devem às alterações no crescimento radicular, induzidas pelo nitrogênio exógeno, uma vez que as frações radiculares que receberam o nitrogênio localizado apresentaram maiores pesos da matéria seca (Quadros 6 e 7) e visualmente, mais ramificações. Neste aspecto, tem-se verificado que raízes mais novas apresentam mecanismos de absorção com maior afinidade para o P que as mais velhas (EDWARDS e BARBER, 1976). Assim, a proliferação de um maior número de radicelas pode ter contribuído para a diminuição dos valores de  $K_m$ .

Os menores valores de  $I_{\max}(\text{H}_2\text{PO}_4^-)$  sempre foram verificados nos vasos que receberam o N localizadamente ( $\text{N}_2\text{P}_2\text{S}_2-\text{N}_0\text{P}_0\text{S}_0$ ,  $\text{N}_2\text{P}_1\text{S}_2-\text{N}_0\text{P}_1\text{S}_0$ ,  $\text{N}_2\text{P}_1\text{S}_1-\text{N}_0\text{P}_1\text{S}_1$ ,  $\text{N}_0\text{P}_0\text{S}_2-\text{N}_2\text{P}_2\text{S}_0$ ) (Quadros 24 e 25). Tais decréscimos provavelmente estejam indiretamente associados à elevação do pH das soluções de absorção, em razão da duplicação da concentração do  $\text{NO}_3^-$  no meio. Desse modo, têm-se verificado que o  $\text{NO}_3^-$  diminui a absorção de P (CORDEIRO, 1981) diante da inibição competitiva dos íons  $\text{OH}^-$  na absorção dos íons  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e do decréscimo da razão  $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{--}$  (HAGEN e HOPKINS, 1955). Segundo esses autores, a absorção do íon  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  é mais rápida que a do íon  $\text{HPO}_4^{--}$ .

De maneira geral, os teores de P-total ( $P_t$ ) nas folhas tenderam a ser menores em relação ao controle, pela localização ( $\text{N}_2\text{P}_2\text{S}_2-\text{N}_0\text{P}_0\text{S}_0$ ,  $\text{N}_1\text{P}_2\text{S}_2-\text{N}_1\text{P}_0\text{S}_0$ ,  $\text{N}_2\text{P}_2\text{S}_1-\text{N}_0\text{P}_0\text{S}_1$ ,  $\text{N}_1\text{P}_2\text{S}_1-\text{N}_1\text{P}_0\text{S}_1$ ) ou pelo isolamento do P em um dos vasos



( $N_2P_0S_0-N_0P_2S_2$ ,  $N_0P_2S_0-N_2P_0S_2$ ,  $N_0P_0S_2-N_2P_2S_0$ ) (Quadros 26 e 27). Contudo, esses valores ainda foram superiores a 0,15% considerado o teor adequado nas folhas do cafeeiro (RECOMENDAÇÕES... 1989).

Em relação aos teores foliares das frações de P solúvel em ácido, os menores valores de P-total solúvel em ácido ( $P_{tS}$ ), normalmente presentes nas plantas dos tratamentos em que o P exógeno estava presente em um dos vasos ( $N_2P_2S_2-N_0P_0S_0$ ,  $N_1P_2S_2-N_1P_0S_0$ ,  $N_2P_2S_1-N_0P_0S_1$ ,  $N_1P_2S_1-N_1P_0S_1$ ,  $N_2P_0S_0-N_0P_2S_2$ ), sempre foram acompanhados dos menores valores de P-inorgânico solúvel em ácido ( $P_i$ ), enquanto que a contribuição do P-orgânico solúvel em ácido ( $P_o$ ) para o  $P_{tS}$ , foi a mesma, independentemente do modo de aplicação do nutriente. Esses resultados sugerem que as folhas de cafeeiros supridos com P localizada possuem uma alta capacidade de utilização da P absorvido, ao acumularem menos  $P_i$ , em relação àqueles cafeeiros cujas raízes foram totalmente expostas a esse nutriente ( $N_1P_1S_1-N_1P_1S_1$ ,  $N_2P_1S_2-N_0P_1S_0$ ,  $N_2P_1S_1-N_0P_1S_1$ ,  $N_1P_1S_2-N_1P_1S_0$ ) (Quadros 26 e 27). Nessa última condição, em que a acessibilidade ao P é alta, um aporte elevado desse elemento aos drenos da parte aérea parece resultar em acúmulo de  $P_i$ , possivelmente no vacúolo, caracterizando, momentaneamente, o "consumo de luxo". Esse fósforo de reserva poderia ser, eventualmente, utilizado pelas plantas nas épocas de crescimento ativo em situações que restringem a absorção de P (FABRES, 1986).

Em relação ao sistema radicular, um maior teor de  $P_t$  sempre foi observado nas raízes em contato direto com o P,

**QUADRO 26 - Distribuição das Frações Fosfatadas em Folhas do Cafeeiro Submetidos à Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular**

Tratamento		Fósforo			
VasoA	VasoB	P-total (%)	P-total sol. (ppm)	P-inorg.sol. (ppm)	P-org.sol. (ppm)
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	0,28	1849	1146	698
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	0,23	1498	811	787
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	0,23	1440	639	801
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	0,27	1865	1056	809
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	0,23	1670	654	<b>815</b>
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	0,28	1912	1066	845
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	0,24	1371	470	701
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	0,28	1785	834	955
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	0,22	<b>1545</b>	754	791
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	0,24	1679	859	819
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	0,25	<b>1911</b>	1031	879

QUADRO 27 - Análise de Variância da Distribuição das Frações Fosfatadas em Folhas do Cafeeiro Submetidos à Localizações de **N**, **P** e **S** em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

F.V.	G.L.	Quadrado Médio			
		P-total	P-total sol.	P-inorg.sol.	P-org.sol.
Bloco	3	0,0043*	148.564 <sup>■</sup>	157.757*	12.504
Contrastes					
D vs LNPS	1	0,0045*	246.402*	224.115*	15.931
D vs LPS+LNS+LNP	1	0,0040 <sup>■</sup>	214.401 <sup>■</sup>	395.307**	36.631
LPS vs LNS+LNP	1	0,0011	138.017	124.416	315
LNS vs LNP	1	0,00321	312.050*	323.208*	78
D vs LN+Lp+Lg	1	0,0005	74.321	250.997*	55.556 <sup>■</sup>
LN vs Lp+Lg	1	0,0014	296.307*	263.342*	782
Lp vs Lg	1	0,0041*	343.206*	53.445	129.286**
D vs IN+Ip+Ig	1	0,0056*	56.376	209.484 <sup>■</sup>	52.404 <sup>■</sup>
IN vs Ip+Ig	1	0,0012	166.167 <sup>■</sup>	97.538	9.087
Ip vs Ig	1	0,0001	107.880	59.168	7.260
Residuo	30	0,0010	56.116	48.497	17.005
C.V. (%)		12,35	14,00	24,97	16,12

D = distribuição de NPS em ambos os vasos; LNPS = fornecimento localizado de NPS em apenas um vaso; LPS, LNS, LNP, LN, Lp e Lg = fornecimento localizado de PS, NS, NP, N, P e S em um vaso e de N, P, S, PS, NS e NP em ambos os vasos, respectivamente; IN, Ip, Ig = Isolamento de N, P e S em um vaso de PS, NS e NP em outro vaso, respectivamente.  
 (■), (\*), (\*\*) - Significativa a 10, 5 e 1% de probabilidade, pelo Teste de F, respectivamente.

adicionado na forma localizada ( $N_2P_2S_2-N_0P_0S_0$ ,  $N_1P_2S_2-N_1P_0S_0$ ,  $N_2P_2S_1-N_0P_0S_1$ ,  $N_1P_2S_1-N_1P_0S_1$ ,  $N_0P_2S_0-N_2P_0S_2$ ) (Quadros 28 e 29). Os valores intermediários se referem às raízes que receberam o P em todo o sistema radicular ( $N_1P_1S_1-N_1P_1S_1$ ,  $N_2P_1S_2-N_0P_1S_0$ ,  $N_2P_1S_1-N_0P_1S_1$ ,  $N_1P_1S_2-N_1P_1S_0$ ) enquanto os menores valores foram encontrados nas raízes cujo crescimento se deu na ausência do P exógeno ( $N_2P_2S_2-N_0P_0S_0$ ,  $N_1P_2S_2-N_1P_0S_0$ ,  $N_2P_2S_1-N_0P_0S_1$ ,  $N_1P_2S_1-N_1P_0S_1$ ,  $N_2P_0S_0-N_0P_2S_2$ ,  $N_0P_2S_0-N_2P_0S_2$ ,  $N_0P_0S_2-N_2P_2S_0$ ). O maior teor de  $P_t$ , nas raízes que receberam o nutriente localizado, foi acompanhado de um menor teor nas folhas (Quadros 26 e 27) em relação ao controle. Esse resultado, de acordo com FREDEEN et alii (1989), revela um mecanismo de adaptação das plantas a situações que restringem a disponibilidade de fósforo.

O teor de  $P_{t\pm}$  apresentou somente uma tendência de acréscimo nas raízes com P localizado, em relação àquelas com amplo fornecimento do nutriente. Na ausência do P exógeno, o teor de  $P_{t\pm}$  diminuiu significativamente. Por outro lado, a Contribuição do  $P_0$  para o  $P_{t\pm}$  foi, em média, 16% e 48% nas raízes, crescendo na presença e na ausência do P exógeno, respectivamente (Quadros 30 e 31). Esses resultados explicam a similar produção de matéria seca entre as frações radiculares de plantas crescidas na ausência de P ( $N_1P_2S_2-N_1P_0S_0$ ,  $N_2P_2S_1-N_0P_0S_1$ ,  $N_1P_2S_1-N_1P_0S_1$ ,  $N_0P_2S_0-N_2P_0S_2$ ) e o controle (Quadros 6, 7, 9 e 10).

Com base no conteúdo, a dinâmica do P nos cafeeiros com suprimento localizado desse nutriente ( $N_1P_2S_2-N_1P_0S_0$ ,  $N_1P_2S_1-N_1P_0S_1$ ), ficou assim constituída (Figura i). Do total absorvido (67 mg/2plantas), 7,5% foram incorporados à

QUADRO 28 - Distribuição das Frações Fosfatadas nas Raízes do Cafeeiro Submetidos à Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

Tratamento		Fósforo							
		P-total		P-Total sol.		P-inorg.sol.		P-org.sol.	
		VA	VB	VA	VB	VA	VB	VA	VB
VasoA	VasoB	---- (%) ----		----- (ppm) -----					
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	0,32	0,30	2138	2080	1887	1703	251	377
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	0,38	0,13	2457	722	2020	352	437	370
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	0,35	0,14	2372	814	2169	361	202	454
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	0,29	0,28	1876	2093	1499	1572	377	521
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	0,36	0,14	2171	804	1838	404	332	400
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	0,32	0,26	2277	1481	1914	1160	363	321
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	0,37	0,17	2408	850	1897	460	<b>511</b>	391
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	0,31	0,31	2084	2028	1765	1708	319	320
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	0,18	0,29	968	1753	561	1590	407	164
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	0,28	0,14	2220	633	2017	489	203	344
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	0,15	0,34	752	2273	406	1884	346	388

**QUADRO 29 - Análise de Variância da Distribuição das Frações Fosfatadas nas Raízes do Cafeeiro Submetidos à Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular**

F.V.	G.L.	Quadrado Médio							
		P-total		P-total.sol.		P-inorg.sol.		P-org.sol	
		VA	v0	VA	v0	VA	VB	VA	v0
Bloco	3	0,0012	0,0022	297.298*	218.598	283.191	83.053	41.469	93.491*
Contrastes									
D vs L <sub>NPS</sub>	1	0,0072 <sup>■</sup>	0,0595**	203.203	3.692.044**	35.245	3.650.402**	69.192 <sup>■</sup>	113
D vs L <sub>PS+NS+NP</sub>	1	0,0009	0,0391**	4	2.348.898**	7.957	2.563.639**	8.295	19.602
L <sub>PS</sub> vs L <sub>NS+NP</sub>	1	0,0018	0,0540**	323.408	1.071.8831	668.334*	1.048.772*	61.915 <sup>■</sup>	126
L <sub>NS</sub> vs L <sub>NP</sub>	1	0,0120*	0,0421**	174.050	3.323.042**	230.860	2.727.280**	4.005	29.403
D vs L <sub>N+P+L<sub>S</sub></sub>	1	0,0008	0,00911	41.654	1.181.269*	2.437	1.059.102**	64.240 <sup>■</sup>	3.333
L <sub>N</sub> vs L <sub>P+L<sub>S</sub></sub>	1	0,0017	0,0006	2.501	4.620	18.150	15.251	7.176	3.033
L <sub>P</sub> vs L <sub>S</sub>	1	0,0085*	0,0421**	210.276	2.771.835**	34.848	3.113.760**	73.920 <sup>■</sup>	9.941
D vs I <sub>N+I<sub>P</sub>+I<sub>S</sub></sub>	1	0,0380**	0,0056 <sup>■</sup>	2.041.050**	635.951 <sup>■</sup>	2.387.884**	438.536 <sup>■</sup>	13.601	18.487
I <sub>N</sub> vs I <sub>P+I<sub>S</sub></sub>	1	0,0024	0,0057 <sup>■</sup>	715.8761	106.400	1.126.667*	433.629 <sup>■</sup>	46.376	108.542*
I <sub>P</sub> vs I <sub>S</sub>	1	0,0313**	0,0780**	4.311.516**	4.147.200**	5.193.865**	3.889.261**	41.041	3.784
Resíduo	3	0,0019	0,0017	130.666	159.488	156.296	13.4%	18.519	24.551
C.V. (%)		14,76	18,28	18,30	27,92	24,20	35,16	39,93	42,50

D = distribuição de NPS em ambos m vasos; L<sub>NPS</sub> = fornecimento localizado de NPS m apenas um vaso; L<sub>PS</sub>, L<sub>NS</sub>, L<sub>NP</sub>, L<sub>N</sub>, L<sub>P</sub> e L<sub>S</sub> = fornecimento localizado de PS, NS, NP, N, P e S m um vaso e de N, P, S, PS, NS e NP m ambos os vasos, respectivamente; I<sub>N</sub>, I<sub>P</sub>, I<sub>S</sub> = Isolamento de N, P e S m um vaso de PS, NS e NP m outro vaso, respectivamente.

(<sup>■</sup>), (\*), (\*\*) - Significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade, pelo Teste de F, respectivamente.

QUADRO 30 - Relação Entre P-orgânico Solúvel:P-total Solúvel em Folhas e Raízes de Cafeeiros Submetidos à Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

Tratamento		P-orgânico solúvel/P-total solúvel		
VasoA	VasoB	Folha	Raiz (VA)	Raiz (VB)
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	0,39	0,12	0,10
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	0,49	0,18	0,49
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	0,56	0,09	0,55
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	0,43	0,20	0,24
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	0,50	0,15	0,50
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	0,44	0,16	0,23
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	0,53	0,22	0,47
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	0,54	0,15	0,16
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	0,52	0,45	0,09
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	0,50	0,10	0,46
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	0,46	0,47	0,18

QUADRO 31 - Análise de Variância da Relação Entre P-orgânico Solúvel:P-total Solúvel em Folhas e Raízes de Cafeeiros Submetidos à Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

F.V.	G.L.	Quadrado Médio		
		P-orgânico solúvel/P-total solúvel		
		Folha	Raiz (VA)	Raiz (VB)
Bloco	3	0,0155■	0,0051	0,0151
Contrastes				
D vs L <sub>NPS</sub>	1	0,0210■	0,0072	0,1830**
D vs L <sub>PS+LNS+LNP</sub>	1	0,0363*	0,0021	0,1813**
L <sub>PS</sub> vs L <sub>NS+LNP</sub>	1	0,0216■	0,0210■	0,0888**
L <sub>NS</sub> vs L <sub>NP</sub>	1	0,0085	0,0045	0,1352**
D vs L <sub>N+Lp+Ls</sub>	1	0,0402*	0,0093	0,0315■
L <sub>N</sub> vs L <sub>p+Ls</sub>	1	0,0104■	0,0011	0,0165
L <sub>p</sub> vs L <sub>s</sub>	1	0,0001	0,0085	0,1953**
D vs I <sub>N+Ip+Is</sub>	1	0,0331*	0,1387**	0,0105
I <sub>N</sub> vs I <sub>p+Is</sub>	1	0,0030	0,0726**	0,1335**
I <sub>p</sub> vs I <sub>s</sub>	1	0,0032	0,2813**	0,1653**
Residuo	30	0,0063	0,0063	0,0084
C.V. (%)		16,26	38,09	28,25

D = distribuição de NPS em ambos os vasos; L<sub>NPS</sub> = fornecimento localizado de NPS em apenas um vaso; L<sub>PS</sub>, L<sub>NS</sub>, L<sub>NP</sub>, L<sub>N</sub>, L<sub>p</sub> e L<sub>s</sub> = fornecimento localizado de PS, NS, NP, N, P e S em um vaso e de N, P, S, PS, NS e NP em ambos os vasos, respectivamente; I<sub>N</sub>, I<sub>p</sub>, I<sub>s</sub> = Isolamento de N, P e S em um vaso de PS, NS e NP em outro vaso, respectivamente.

(■), (\*), (\*\*) - Significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade, pelo Teste de F, respectivamente.



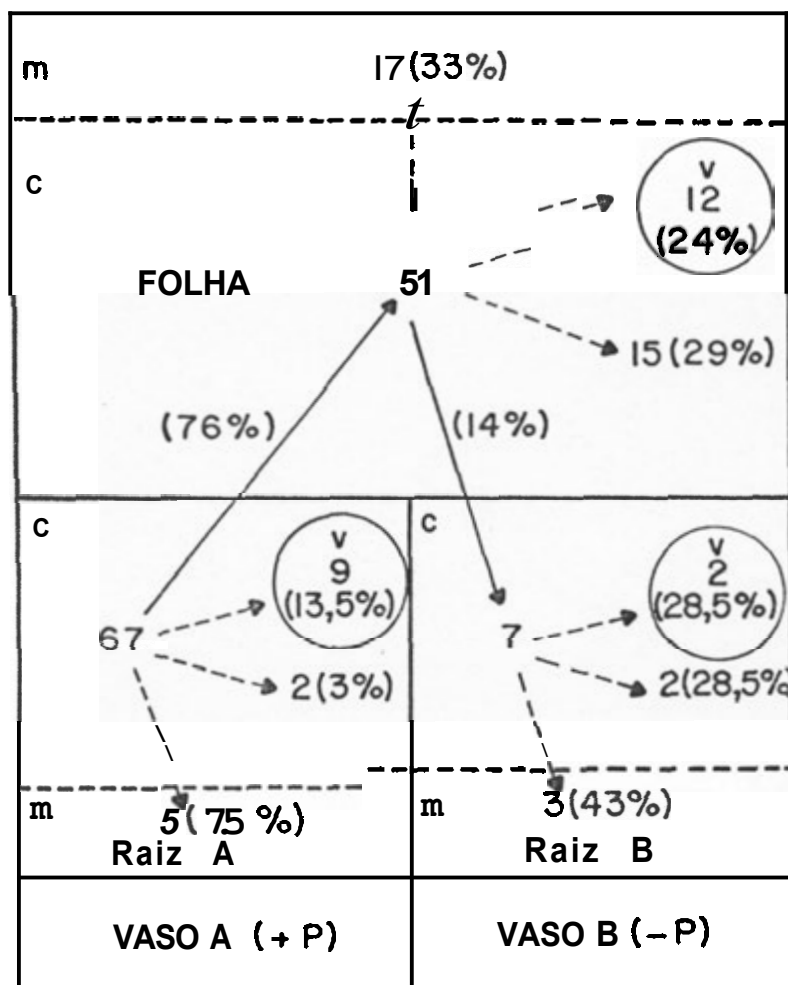


FIGURA 1 - Distribuição das Frações de Fósforo (mg/2plantas) em Cafeeiros com Suprimento Localizado de Fósforo (m:  $P_0$  insolúvel ou P incorporado à matéria seca =  $P_t - P_{ts}$ ; c:  $P_0$  ou P orgânico presente no citosol, v:  $P_i$  ou P inorgânico presente no vacúolo - Média dos Tratamentos  $N_1P_2S_2 - N_1P_0S_0$  e  $N_1P_2S_1 - N_1P_0S_1$ ).

matéria seca daquelas raízes ( $P_o$  insolúvel), 3% foram metabolizados a  $P_o$  no citosol, e 13,5% permaneceram como  $P_i$ , possivelmente como reserva no vacúolo. Dos 100% exportados para a parte aérea (76% do absorvido), 33% foram incorporados à matéria seca, 29% transferidos para a fração orgânica como  $P_o$  e 24% permaneceram como  $P_i$ , presumivelmente no vacúolo. Os 14% restantes foram transportados para a porção de raízes não supridas com P exógeno. Nessas raízes, cerca de 28,5% do  $P_i$  importado permaneceram como  $P_i$ , 28,5% foram transferidos para a fração orgânica ( $P_o$ ) e 43% fixados na matéria seca.

A semelhança dos conteúdos de  $P_o$  entre as frações que receberam ou não o P-exógeno sugere que esta fração foi a responsável pela manutenção do mesmo padrão de crescimento das duas porções de raízes (Quadros 6 e 7). Esses resultados contrariam aqueles de FRANCO (1983), que verificou uma baixa retranslocação do P das raízes do cafeeiro crescidas na região do solo suprido com o fósforo, para aquela onde o elemento se encontrava ausente ou em baixa concentração. Por outro lado, corrobora aqueles verificados por DIAS *et alii* (1987) que demonstraram uma rápida e elevada translocação do fósforo no cafeeiro, onde os autores postularam que tal mobilidade elevada não constituiria obstáculo para a localização do fósforo. Desse modo, o "consumo de luxo" a médio e a longo prazos, parece não existir, uma vez que células ou órgãos que antes eram drenos, ao acumularem o  $P_i$ , podem, eventualmente servir como fonte eficiente de fósforo. Para o cafeeiro, há evidências de que os ramos possam atuar como reserva de fósforo a ser mobilizada

intensamente, na época de floração e frutificação (CANNELL e KIMEU, 1971).

#### 4.4. Fracionamento do Enxofre

De maneira geral os teores foliares de S-total,  $S-SO_4^{--}$  e de S-orgânico não foram modificados pelo modo de distribuição de N, P e S no sistema radicular (Quadros 32 e 33).

No sistema radicular (Quadros 34 e 35), à exceção do tratamento ( $N_2P_2S_2-N_0P_0S_0$ ), os maiores teores de S-total sempre foram verificados na porção de raízes em que o S foi adicionado localizadamente ( $N_1P_2S_2-N_1P_0S_0$ ,  $N_2P_1S_2-N_0P_1S_0$ ,  $N_1P_1S_2-N_1P_1S_0$ ), isolado de N e/ou P ( $N_2P_0S_0-N_0P_2S_2$ ,  $N_0P_2S_0-N_2P_0S_2$ ,  $N_0P_0S_2-N_2P_2S_0$ ), ou distribuídos juntamente com o NP a todas as raízes ( $N_1P_1S_1-N_1P_1S_1$ ). Os valores intermediários e menores se referem àquelas raízes que receberam o S em ambos os vasos ( $N_2P_2S_1-N_0P_0S_1$ ,  $N_2P_1S_1-N_0P_1S_1$ ,  $N_1P_2S_1-N_1P_0S_1$ ) ou onde esteve ausente ( $N_2P_2S_2-N_0P_0S_0$ ,  $N_1P_2S_2-N_1P_0S_0$ ,  $N_2P_1S_2-N_0P_1S_0$ ,  $N_1P_1S_2-N_1P_1S_0$ ,  $N_2P_0S_0-N_0P_2S_2$ ,  $N_0P_2S_0-N_2P_0S_2$ ,  $N_0P_0S_2-N_2P_2S_0$ ), respectivamente.

Em relação ao  $S-SO_4^{--}$  a única alteração verificada foi um decréscimo no seu teor em raízes que não estiveram em contato direto com o S exógeno. Nessas raízes, o S orgânico foi responsável, em média, por 61% do S total (Quadro 36 e 37), ao passo que nas demais, que estiveram em contato direto com o S exógeno, essa contribuição caiu para 54%, em média. A elevada mobilização de S-orgânico até às raízes que não receberam S-exógeno atendeu à demanda do

QUADRO 32 - Distribuição das Frações Sulfuradas em Folhas de Cafeeiros Submetidos à Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

Tratamento		Enxofre		
VasoA	VasoB	S-total	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	S-orgânico
		----- (%) -----		
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	0,19	0,035	a,15
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	a,17	a,051	0,13
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	a,18	0,a45	a,13
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	a,19	0,043	a,15
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	a,18	0,a45	a,13
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	a,18	0,040	a,14
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	0,18	0,041	a,13
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	a,17	0,049	a,12
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	0,16	0,037	a,12
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	0,18	0,041	0,13
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	0,18	0,054	0,13

QUADRO 33 - Análise de Variância da Distribuição das Frações Sulfuradas em Folhas de Cafeeiros Submetidos à Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

F.V.	G.L.	Quadrado Médio		
		S-total	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	S-orgânico
Bloco	3	0,0010911	0,0005541	0,000577
Contrastes				
D vs L <sub>NPS</sub>	1	0,001017	0,000512	<b>0,001513</b>
D vs L <sub>PS</sub> +L <sub>NS</sub> +L <sub>NP</sub>	1	0,000107	<b>0,000333</b>	0,000402
L <sub>PS</sub> vs L <sub>NS</sub> +L <sub>NP</sub>	1	0,000092	<b>0,000181</b>	0,000204
L <sub>NS</sub> vs L <sub>NP</sub>	1	0,000810	0,000141	0,001012
D vs L <sub>N</sub> +L <sub>P</sub> +L <sub>S</sub>	1	<b>0,001630</b> ■	0,000222	0,001519
L <sub>N</sub> vs L <sub>P</sub> +L <sub>S</sub>	1	0,000398	0,000047	<b>0,000938</b>
L <sub>P</sub> vs L <sub>S</sub>	1	<b>0,000100</b>	0,000020	<b>0,000113</b>
D vs I <sub>N</sub> +I <sub>P</sub> +I <sub>S</sub>	1	0,000753	0,000252	<b>0,0021331</b>
I <sub>N</sub> vs I <sub>P</sub> +I <sub>S</sub>	1	<b>0,000501</b>	0,000267	0,000204
I <sub>P</sub> vs I <sub>S</sub>	1	<b>0,000091</b>	0,000450	<b>0,000013</b>
Residuo	30	0,000411	0,000241	0,000540
C.V. (%)		11,79	34,51	17,56

D = distribuição de NPS em ambos os vasos; L<sub>NPS</sub> = fornecimento localizado de NPS em apenas um vaso; L<sub>PS</sub>, L<sub>NS</sub>, L<sub>NP</sub>, L<sub>N</sub>, L<sub>P</sub> e L<sub>S</sub> = fornecimento localizado de PS, NS, NP, N, P e S em um vaso e de N, P, S, PS, NS e NP em ambos os vasos, respectivamente; I<sub>N</sub>, I<sub>P</sub>, I<sub>S</sub> = Isolamento de N, P e S em um vaso de PS, NS e NP em outro vaso, respectivamente.

(■) - Significativo a 10% de probabilidade, pelo Teste de F, respectivamente.

QUADRO 34 - Distribuição das Frações Sulfuradas em Raízes de Cafeeiros Submetido.; à Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

Tratamento		Enxofre					
		S-total		S-SO <sub>4</sub> <sup>---</sup>		S-orgânico	
VasoA	VasoB	VasoA	VasoB	VasoA	VasoB	VasoA	VasoB
		----- (%) -----					
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	0,54	0,59	0,22	0,20	0,32	0,39
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	0,53	0,28	0,24	0,11	0,28	0,17
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	0,57	0,34	0,20	0,10	0,37	0,24
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	0,55	0,35	0,19	0,08	0,36	0,27
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	0,43	0,33	0,16	0,20	0,27	0,14
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	0,42	0,45	0,21	0,17	0,21	0,28
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	0,47	0,45	0,21	0,17	0,26	0,30
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	0,59	0,33	0,25	0,09	0,34	0,14
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	0,30	0,47	0,13	0,30	0,17	0,17
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	0,33	0,45	0,19	0,19	0,14	0,26
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	0,49	0,32	0,34	0,09	0,15	0,23

**QUADRO 35 - Análise de Variância da Distribuição das Frações Sulfuradas em Raízes de Cafeeiros Submetidos à Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular**

F.V.	G.L.	Quadrado Médio					
		S-total		S <sub>0</sub> **		S-orgânico	
		Vaso A	Vaso B	Vaso A	Vaso B	Vaso A	Vaso B
Bloco	3	0,0004	0,0241 <sup>■</sup>	0,0025	0,0032	0,0041	0,0142
Contrastes							
D vs L <sub>NPS</sub>	1	0,0002	0,1891**	0,0013	0,0190*	0,0032	0,0966**
D vs L <sub>PS</sub> +L <sub>NS</sub> +L <sub>NP</sub>	1	0,0015	0,1365**	0,0040	0,0184*	0,0005	0,0901**
L <sub>PS</sub> vs L <sub>NS</sub> +L <sub>NP</sub>	1	0,0182 <sup>■</sup>	0,0067	0,0015	0,0043	0,0092	0,0033
L <sub>NS</sub> vs L <sub>NP</sub>	1	0,0288*	0,0128	0,0020	0,0245*	0,0162	0,0325
D vs L <sub>N</sub> +L <sub>P</sub> +L <sub>S</sub>	1	0,0065	0,1355**	0,0001	0,0117.	0,0075	0,0432*
L <sub>N</sub> vs L <sub>P</sub> +L <sub>S</sub>	1	0,0323*	0,0095	0,0011	0,0038	0,0216	0,0006
L <sub>P</sub> vs L <sub>S</sub>	1	0,0288*	0,0300 <sup>■</sup>	0,0025	0,0113 <sup>■</sup>	0,0128	0,0512*
D vs I <sub>N</sub> +I <sub>P</sub> +I <sub>S</sub>	1	0,0792**	0,1323**	0,0133 <sup>■</sup>	0,0481**	0,0833**	0,0507*
I <sub>N</sub> vs I <sub>P</sub> +I <sub>S</sub>	1	0,0323*	0,0006	0,0486**	0,0682*	0,0017	0,0150
I <sub>P</sub> vs I <sub>S</sub>	1	0,0512**	0,0336 <sup>■</sup>	0,0450**	0,0190*	0,0002	0,0021
Resíduo	30	0,0048	0,0100	0,0036	0,0038	0,0048	0,0082
C.V. (%)		14,10	25,78	30,85	42,64	23,02	36,96

D = distribuição de NPS em ambos os vasos; L<sub>NPS</sub> = fornecimento localizado de NPS em apenas um vaso; L<sub>PS</sub>, L<sub>NS</sub>, L<sub>NP</sub>, L<sub>N</sub>, L<sub>P</sub> e L<sub>S</sub> = fornecimento localizado de PS, NS, NP, N, P e S em um vaso e de N, P, S, PS, NS e NP em ambos os vasos, respectivamente; I<sub>N</sub>, I<sub>P</sub>, I<sub>S</sub> = Isolamento de N, P e S em um vaso de PS, NS e NP em outro vaso, respectivamente.

(<sup>■</sup>), (\*), (\*\*) - Significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade, pelo Teste de F, respectivamente.

QUADRO 36 - Relação Entre S-orgânico:S-total em Folhas e Raízes de Cafeeiros Submetidos à Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

Tratamento		S-orgânico/S-total		
VasoA	VasoB	Folha	Raiz (VA)	Raiz (VB)
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	0,81	0,59	0,65
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	0,76	0,54	0,63
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	0,74	0,65	0,71
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	0,78	0,66	0,78
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	0,74	0,64	0,42
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	0,78	0,50	0,62
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	0,76	0,55	0,67
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	0,69	0,59	0,42
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	0,74	0,57	0,36
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	0,75	0,42	0,58
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	0,70	0,31	0,72



QUADRO 37 - Análise de Variância da Relação Entre S-orgânico/S-total em Folhas e Raízes de Cafeeiros Submetidos à Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

F.V.	G.L.	Quadrado Médio		
		S-orgânico/S-total		
		Folha	Raiz (VA)	Raiz (VB)
Bloco	3	0,0006	0,0162	0,0112
<b>Contrastes</b>				
D vs L <sub>NPS</sub>	1	0,0055	0,0050	0,0050
D vs L <sub>PS+LNS+LNP</sub>	1	0,0102	0,0085	0,0021
L <sub>PS</sub> vs L <sub>NS+LNP</sub>	1	0,0017	0,0003	0,0353
L <sub>NS</sub> vs L <sub>NP</sub>	1	0,0025	0,0000	0,2450**
D vs L <sub>N+Lp+Lg</sub>	1	0,0140	0,0045	0,0192
L <sub>N</sub> vs L <sub>p+Lg</sub>	1	0,0077	0,0112	0,0150
L <sub>p</sub> vs L <sub>g</sub>	1	0,0091	0,0018	0,1250**
D vs I <sub>N+Ip+Ig</sub>	1	0,0208*	0,0736*	0,0341
I <sub>N</sub> vs I <sub>p+Ig</sub>	1	0,0004	0,1121*	0,2247**
I <sub>p</sub> vs I <sub>g</sub>	1	0,0041	0,0288■	0,04921
Residuo	30	0,0050	0,0143	0,0148
C.V. (%)		9,37	19,81	19,59

D = distribuição de NPS em ambos os vasos; L<sub>NPS</sub> = fornecimento localizado de NPS em apenas um vaso; L<sub>PS</sub>, L<sub>NS</sub>, L<sub>NP</sub>, L<sub>N</sub>, L<sub>p</sub> e L<sub>g</sub> = fornecimento localizado de PS, NS, NP, N, P e S em um vaso e de N, P, S, PS, NS e NP em ambos os vasos, respectivamente; I<sub>N</sub>, I<sub>p</sub>, I<sub>g</sub> = Isolamento de N, P e S em um vaso de PS, NS e NP em outro vaso, respectivamente.  
 (■), (\*), (\*\*) - Significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade, pelo Teste de F, respectivamente.

elemento, de modo a garantir a manutenção do mesmo padrão de crescimento que as demais raízes (Quadros 6 e 7).

A menor contribuição do S-orgânico para o S-total ocorreu nas raízes onde o S exógeno se encontrava separado do N ( $N_0P_0S_2-N_2P_2S_0$ ,  $N_2P_0S_0-N_0P_2S_2$ ) (Quadro 36). Por sinal, essas raízes, que apresentaram o menor crescimento, chegando a comprometer o peso total do sistema radicular (Quadros 6 e 7), foram as que apresentaram maiores teores de açúcares solúveis totais ( $N_2P_0S_0-N_0P_2S_2$ ) e de amido ( $N_0P_0S_2-N_2P_2S_0$ ) (Quadros 21 e 22). Esses tratamentos, acompanhados do ( $N_0P_2S_0-N_2P_0S_2$ ), foram os que mais prejudicaram o desenvolvimento da parte aérea, representados pelos menores valores de área foliar (Quadros 4 e 5) e matéria seca das folhas e do caule (Quadros 6 e 7). Esses resultados sugerem a existência de interações entre a assimilação do  $SO_4^{--}$  e do  $NO_3^-$  (BARNEY e BUSH, 1985; BRUNOLD, 1990; REUVENY e FILNER, 1977; REUVENY *et alii*, 1980), uma vez que a atividade da redutase do nitrato tem-se mostrado muito sensível às variações de S na planta (FRIEDRICH e SCHRADER, 1978). Segundo FRIEDRICH e SCHRADER (1978), a atividade da redutase do nitrato é diminuída sob deficiência de enxofre, mas retorna prontamente a sua atividade normal pela adição de  $SO_4^{--}$ . Neste trabalho, e em plantas de eucalipto (FERREIRA, 1986), tal efeito foi aparentemente bloqueado, quando foram fornecidos  $NO_3^-$  e  $SO_4^{--}$  separadamente em relação ao sistema radicular ( $N_2P_0S_0-N_0P_2S_2$ ,  $N_0P_0S_2-N_2P_2S_0$ ), resultando, com isso, em menor crescimento das plantas. No caso do cafeeiro, essa hipótese é fortalecida, já que ele apresenta uma maior atividade da redutase do nitrato na raiz do que na

parte aérea (QUEIROZ, 1986). Em relação à assimilação do  $\text{SO}_4^{--}$ , esses distúrbios a nível radicular, dificilmente iriam ocorrer, a menos que, a exemplo de plântulas de ervilhas (BRUNOLD e SUTTER, 1989) as raízes do cafeeiro apresentassem apreciável atividade de todas as enzimas do ciclo de redução do sulfato. Entretanto, a predominância desse processo nos cloroplastos (FRANKAUSER e BRUNOLD, 1978), a inexistência das enzimas ATP-sulfotransferase (SCHMIDT, 1986) e ATP-sulfurilase (ADAMS e RINNE, 1969), nas raízes de diversas plantas, e a ausência de formas reduzidas de enxofre na seiva do xilema (PATE, 1975), impõem restrições a essa hipótese.

Em relação à separação espacial do P, embora NS estejam juntos ( $\text{N}_0\text{P}_2\text{S}_0\text{-N}_2\text{P}_0\text{S}_2$ ), o decréscimo no crescimento vegetativo possivelmente esteja associado a efeitos no metabolismo dos dois elementos. Nesse caso, os processos de ativação, indução e incorporação dos elementos em esqueletos carbonados foram prejudicados em razão de uma possível diminuição na disponibilidade de ATP (GLASS, 1988). Tal decréscimo na disponibilidade de ATP levaria a uma queda na síntese de compostos orgânicos nitrogenados ou de proteínas, uma vez que ambos os processos dependem de energia para serem ativados (GOODWIN e MERCER, 1983). Os menores teores de N-orgânico nas folhas (Quadros 13 e 14), bem como a menor contribuição do N-orgânico para o N-total (Quadro 17 e 18), reforçam esta hipótese.

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

Objetivou-se estudar **os** efeitos do suprimento localizado de **N**, **P** e **S**, em diferentes combinações no ambiente radicular, sobre o desenvolvimento de mudas de café crescidas em solução nutritiva, utilizando-se a técnica de raízes divididas. Para tanto, avaliaram-se, nas folhas e raízes, o crescimento, a distribuição das frações nitrogenadas, fosfatadas, sulfuradas e **os** teores de carboidratos.

O isolamento de um nutriente dos demais diminuiu o desenvolvimento da área foliar e peso de matéria seca das folhas. Por outro lado, o suprimento do **N** em apenas um dos vasos (suprimento localizado), acompanhado ou não da localização do **P**, do **S** ou do **PS**, embora não tenha alterado **os** valores da área foliar das plantas, também contribuiu para a redução da matéria seca das folhas. Um decréscimo no metabolismo do **N**, representado por uma diminuição no teor de **N**-orgânico possivelmente foi o fator responsável pela

redução no crescimento das folhas. Esses resultados sugerem então, que a maior homogeneidade de distribuição do N no ambiente radicular favorece o crescimento da parte aérea dos cafeeiros.

Ao contrário do ocorrido na parte aérea, a produção total de matéria seca das raízes não foi alterada pelo suprimento localizado do N. Entretanto, dos três nutrientes em estudo, o N foi o único a estimular o crescimento das raízes no vaso em que ele foi suprido localizadamente. Tal estímulo ocorreu tanto na presença quanto na ausência de localização dos outros dois nutrientes.

Com o suprimento localizado de N observou-se, de maneira geral, os maiores valores de  $I_{max}$  ( $NO_3^-$ ) que, contudo, não causaram variações nos teores de N-total e de  $N-NO_3^-$  nas raízes em contato com o ânion. Por outro lado, essas raízes foram as que apresentaram os maiores e os menores teores de N-orgânico e de carboidratos, respectivamente, sugerindo uma elevada atividade do sistema redutase do nitrato. Desse modo, o N foi o único nutriente que não atendeu plenamente ao crescimento das raízes no vaso em que ele esteve ausente, muito embora essas raízes apresentassem apreciáveis teores de glutamina e asparagina como as principais formas de redistribuição do N. Para esses tratamentos, a diferença de peso da matéria seca entre as duas porções radiculares (com e sem suprimento de N) se ampliou.

O suprimento localizado do P não afetou o crescimento das folhas, possivelmente em razão de uma

utilização mais eficiente do P, ao acumularem mais  $P_0$  e  $P_i$  que aquelas com amplo fornecimento do nutriente.

O fornecimento de P, de S e de PS, em apenas um vaso, não estimulou o crescimento das raízes, verificando-se para aqueles tratamentos, uma similar produção de matéria seca entre as duas porções radiculares (com e sem P, S ou PS). Tais resultados mostram que esses nutrientes não precisam estar em contato direto com as raízes. Uma vez que as suas retranslocações foram bastante eficientes. As frações orgânicas de P e S foram as responsáveis pela manutenção do crescimento entre aquelas duas porções radiculares.

Os resultados obtidos sugerem que mudas de café conseguem adaptar-se às condições de localização de P e de S, por meio de mecanismos que permitem que aquelas raízes, em contato com esses nutrientes, atendam à demanda total da planta.

## **BIBLIOGRAFIA**

## BIBLIOGRAFIA

- ADAMS, C.A. & RINNE, R.W. Influence of age and sulfur metabolism on ATP - sulfurilase activity in the soybean and a survey of selected species. Plant Physiol., **44**: 1241-1246. 1969.
- ALVAREZ V., V.H.; FREIRE, F.M.; GUIMARÃES, P.T.G. Concentrações relativas ótimas de nitrogênio, fósforo e enxofre, na adubação do cafeeiro, num Latossolo Vermelho - Amarelo - Escuro de Machado, MG. Pesq. Agropec. Bras., **22**: 145-152. 1987.
- ALVES, A.A.C. Efeito da enxertia na nutrição mineral, no crescimento vegetativo, na fotossíntese e na redução do nitrato, em Coffea arabica L., Vicosa. Universidade Federal de Vicosa, 61p. 1986. (Tese M,S.).
- ANGHINONI, I. & BARBER, D.A. Corn root growth and nitrogen uptake as affected by ammonium placement. Agron. J., **80**: 799-802. 1988.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official Methods of Analysis. 12<sup>th</sup> ed. Washington, D.C., 1975. 1094p.
- BARBER, S.A. "Dual isotherms" for the absorption of ions by plant tissues. New Phyt., **71**: 255-262. 1972.
- BARNEY Jr., P.E. & BUSH, L.P. 'Interaction of nitrate and sulfate reduction in tobacco. I. Influence of availability of nitrate and sulfate. J. Plant Nut., **8**: 505-515. 1985.
- BARROS, R.S.; MAESTRI, M.; VIEIRA, M.; BRAGA FILHO, L.J. Determinação da área de folhas do café. (Coffea arabica, L. cv. Bourbon Amarelo). Rev. Ceres, **22**: 44-52. 1973.



- BEEVERS, L. & HAGEMAN, R.H. Nitrate reduction in higher plants. Annu. Rev. Plant. Physiol., 20: 495-522, 1969.
- BEN-ZIONI, A.; VAADIA, Y.; UPS, H. Nitrate uptake by roots as regulated by nitrate reduction products of the shoot. Physiol. Plant., 24: 288-290. 1971.
- BIELESKI, R.L. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. Annu. Rev. Plant Physiol., 24: 225-252, 1973.
- BIELESKI, R.L. & FERGUSON, J.B. Physiology and metabolism of phosphate and its compounds. In: LAUCHLI, A. & BIELESKI, R.L. (ed.) Inorganic plant nutrition. Encyc. Plant Physiology, New York, vol 15A, New Series. p. 422-449. 1983.
- BLANCHARD, R.W.; REHM, G.; CALDWELL, A.C. Sulfur in plant material by digestion with nitric and perchloric acids. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 29: 71-78. 1965.
- BRAGA, J.M. & DEFELIPPO, B.V. Determinação espectrofotométrica do fósforo em extrato de solo e plantas. Rev. Ceres, 21: 73-85. 1974.
- BRETT, C. & WALDRON, K. Physiology and biochemistry of plant cell walls. London, Uniwing Hyman, 194p. 1990.
- BRIENZA Jr., S. Níveis críticos de fósforo e de enxofre em plantas de sorgo e em dois latossolos com níveis variáveis de fertilidade. Vicosa, Universidade Federal de Vicosa, Imprensa Universitária, 68p. 1988. (Tese M.S.).
- BRUNOLD, C. Reduction of sulfate to sulfide. In: RENNENBERG, H.; BRUNOLD, C.; DE KOK L.J.; STULEN, I. (eds.) Sulfur nutrition and sulfur assimilation in higher plants: fundamental environmental and agricultural aspects. SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands. P. 13-31. 1990.
- BRUNOLD, C. & SUTTER, M. Localization of enzymes of assimilatory sulfate reduction in pea shoots. Planta, 179: 228-234. 1989.
- BUTZ, R.G. & JACKSON, W.A. A mechanism for nitrate transport and reduction. Phytochemistry., 16: 409-417. 1977.
- CANNELL, M.G.R. & KIMEU, B.S. Uptake and distribution of macronutrients in trees of Coffea arabica L. in Kenya as affected by seasonal climatic differences and the presence of fruits. Ann. Appl. Biol. 68: 213-230. 1971.
- CARTWRIGHT, B. The effect of phosphate deficiency on the kinetics of phosphate absorption by sterile excised barley roots, and some factors affecting the ion uptake efficiency of roots. Soil Sci. Pl. Anal., 3: 313-322. 1972.

- CATALDO, D.A.; SCHRADER, L.E. YOUNGS, V.L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissues by nitration of salicylic acid. Commun. Soil Sci. Anal., 6: 71-80. 1975.
- CHAPIN, F.S. III The mineral nutrition of wild plant. Annu. Rev. Ecol. Syst., 11: 230-260. 1980.
- CHAPIN, F.S., III Ecological aspects of plant mineral nutrition. In: TINKER, B. E LAUHLI, A. (ed.). Advances in plant nutrition. Praeger, New York. p. 161-191. 1988.
- CHAPIN, F.S., III; CLARKSON, D.T.; LENTON, J.R.; WALTER, C.H.S. Effect of nitrogen stress and abscisic acid on nitrate absorption and transport in barley and tomato. Planta, 173: 340-351. 1988a.
- CHAPIN, F.S., III; WALTER, C.H.S.; CLARKSON, D.T. Growth response of barley and tomato to nitrogen stress and its control by abscisic acid, water relations and photosynthesis. Planta, 173: 352-366. 1988b.
- CLARK, R.B. Characterization of phosphates of intact maize roots. J. Agric. Food. Chem., 23: 458-460. 1975.
- CLARKSON, D.T.; SMITH, F.W.; VANDEN BERG, P.J. Regulation of sulphate transport in a tropical legume, Macroptilium atropurpureum cv. Siratro. J. Exp. Bot., 34: 1463-1483. 1983.
- COGLIATTI, D.H. E CLARKSON, D.T. Physiological changes in, and phosphate uptake by potato plants during development of, and recovery from phosphate deficiency. Physiol Plant., 58: 287-294. 1983.
- COLE, C.V.; GRUNES, D.L.; PORTER, L.K. OLSEN, S.R. The effects of nitrogen on short-term phosphorus absorption and translocation in corn (Zea mayz). Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 27: 671-674. 1973.
- CORDEIRO, A.T. Efeito de níveis de nitrato, amônio e alumínio sobre o crescimento e sobre a absorção de fósforo e de nitrogênio em Stylosanthes guianensis e Stylosantes macrocephala. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 53p. 1981. (Tese M.S.).
- CRAVO, M.S. A interação fósforo x enxofre na produção de matéria seca de soja (Glicine max (L.) Merrill) e nos níveis críticos, em três solos de Minas Gerais, com e sem calagem. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 73p. 1984. (Tese M.S.).
- DEANE-DRUMMOND, C.E. E CLARKSON, D.T. Effect of shoot removal and malate on the activity of nitrate reductase assayed in vivo in barley roots (Hordeum vulgare cv. Midas). Plant Physiol., 64: 660-662. 1979.

- DIAS, L.E.; ESTEVÃO, M.M.; ALVAREZ V., V.H.; SILVA, E.A.M.; NOVAIS, R.F.; BRAGA, J.M. Estudo da translocação de fósforo em cafeeiros pela utilização de rádio-isótopo. Rev. Ceres, **34**: 453-461. 1987.
- DIAS, L.E.; SILVA, E.A.M.; ALVAREZ V., V.H. Estudo da organização xilemática em Coffea arabica L. pela utilização da eosina Y. Turrialba, **38**: 155-158. 1988.
- DREW, M.C. Comparison of the effects of a localized supply of phosphate nitrate, ammonium and potassium on the growth of the seminal root system, and the shoot, in barley. New Phytol., **75**: 479-490. 1975.
- DREW, M.C. & SAKER, L.R. Nutrient supply and the growth of the seminal root system in barley. II. Localized, compensatory increases in lateral root growth and rates of nitrate uptake when nitrate supply is restricted to only part of the root system. J. Exp. Bot., **26**: 79-90. 1975.
- DREW, M.C. & SAKER, L.R. Nutrient supply and the growth of seminal root system in barley. III. Compensatory increases in growth of lateral roots and in rates of phosphate uptake, in response to a localized supply of phosphate. J. Exp. Bot., **29**: 434-451. 1978.
- EDWARDS, J.H. & BARBER, S.A. Phosphorus uptake rate of soybean roots as influenced by plant age, root trimming, and solutions P concentration. Agron J. **68**: 973-975. 1976.
- EPSTEIN, E.; RAINS, D.W.; ELZAM, D.E. Resolution of dual mechanism of potassium absorption by barley roots. Proc. Nat. Acad. Sci., **49**: 684-692. 1963.
- FABRES, A.S. Disponibilidade de fósforo em solos e concentrações críticas de diferentes frações de fósforo em plantas de alface cultivadas em amostras de diferentes solos. Vicosa, UFV, Imprensa Universitária, 39p. 1986. (Tese M.S.).
- FRANKHAUSER, H. & BRUNOLD, C. Localization of adenosine 5'-phosphosulfate sulfotransferase in spinach leaves. Planta, **143**: 285-289. 1978.
- FERREIRA, F.A.S. A interação nitrato, fosfato e sulfato na absorção de fosfato e sulfato no crescimento de eucalipto e no seu metabolismo de nitrato e sulfato. Vicosa, Universidade Federal de Vicosa, Imprensa Universitária, 95p. 1986. (Tese M.S.).
- FRANCO, C.M. Translocação lateral do N, P e K no cafeeiro. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, X, Pocos de Caldas. Resumos... Rio de Janeiro, MIC/IBC. P. 1-2. 1983.
- FREDEEN, N.A.; RAD, E.M.; JERRY, N. Influence of phosphorus nutrition on growth and carbon Partitioning in Glycine max. Plant Physiol., **89**: 225-230. 1989.

- FRIEDRICH, J.W. & SCHRADER, L.E. Sulphur deprivation and nitrogen metabolism in maize seedlings. Plant Physiol., **61**: 900-907. 1978.
- GLASS, A.D.M. Regulation of potassium absorption in barley roots. An allosteric model. Plant Physiol., **58**: 337, 1976.
- GLASS, A.D.M. Nitrogen uptake by plant roots. Atlas Sci. Anim. Plant Sci., **1**: 151-156. 1988.
- GLASS, A.D.M. & PERLEY, J.E. Varietal differences in potassium uptake by barley. Plant Physiol., **65**: 160-164. 1980.
- GOH, K.M. & KEE, K.K. Effects of nitrogen and sulphur composition of perennial ryegrass (Lolium Perenne L.). Plant Soil, **50**: 161-177. 1978.
- GOODWIN, T.W. & MERCER, E.I. Introduction to plant biochemistry. 2nd. ed. Pergamon Press. Oxford. 677p. 1983.
- HACKETT, C. A method applying nutrients locally to roots under controlled conditions and some morphological effects of locally applied nitrate on the branching of wheat roots. Aust. J. Biol. Sci., **25**: 1169-1180. 1972.
- HAGEN, C.E. & HOPKINS, H.T. Ionic species in orthophosphate absorption by barley roots. Plant Physiol., **30**: 193-199. 1955.
- HALLER, R.; SUTER, M.; BRUNOLD, C. Regulation of ATP-sulfurylase and adenosine 5-phosphosulfate sulfotransferase by the cell suspension cultures of Paul's Scarlet rose. J. Plant. Physiol., **125**: 275-283. 1986.
- HEIMER, Y. & FILNER, P. Regulation of the nitrate assimilation pathway in cultured tobacco cells. III The nitrate uptake system. Biochem. Biophys. Acta, **230**: 262-372. 1971.
- HOAGLAND, D.R. & ARNON, D.I. The water-culture methods for growing plants without soil. Calif. Agric. Exp. Sta., 1950. Circ. p. 347.
- HOGUE, E.; WILCOX, G.E.; CANTLIFFE, D.J. Effect of soil phosphorus levels on phosphate fraction in tomato leaves. J. Amer. Soc. Hort. Sci., **95**: 174-176. 1970.
- JACKSON, W.A.; FLESHER, D.; HAGEMAN, R.H. Nitrate uptake by dark-grown corn seedlings; some characteristics of apparent induction. Plant Physiol., **51**: 120-127. 1973.
- JAGER, A. Effects of localized supply of  $H_2PO_4$ ,  $NO_3$ ,  $SO_4$ , Ca and K on the production and distribution of dry matter in young maize plants. Neth J. Agric. Sci., **30**: 193-203. 1982.

- JAGER, A. Effects a localized supply of  $H_2PO_4$ ,  $NO_3$ , Ca and K on the concentration of that nutrient in the plant and the rate of uptake by roots in young maize plants in solution culture. Neth. J. Agric. Sci., 32: 43-56. 1984.
- JENSEN, P. & KÖNIG, T. Development of regulation mechanisms for  $SO_4^{2-}$  influx in spring wheat roots. Physiol. Plant., 55: 459-464. 1982.
- JUNGK, A. & BARBER, S.A. Phosphate uptake rate of corn root as related to the proportion of the roots exposed to phosphate. Agron. J., 66: 554-557. 1974.
- KUIPER, D.; KUIPER, P.J.C.; LAMBERS, H.; SCHUIT, J.; STALL, M. Cytokinin concentration in relation to mineral nutrition and benzyladenine treatments in Plantago maior spp. pleiosperma. Physiol. Plant., 75: 511-517. 1989.
- KUMAR, V. & SINGH, M. Sulphur, phosphorus, and molybdenum interactions in relation to growth, uptake, and utilization of sulfur in soybean. Soil Sci., 129: 297-304. 1980.
- LEE, R.B. Selectivity and kinetics of ion uptake by barley plants following nutrient deficiency. Ann. Bot., 50: 429-449. 1982.
- LEE, R.B. & RATCLIFFE, R.G. Phosphorus nutrition and the intracellular distribution of inorganic phosphate in pea root tips. A quantitative study using  $^{31}NMR$ . J. Exp. Bot., 34: 1222-1244. 1983.
- LINDEMAN, W. Observations on the behaviour of phosphate compounds on Chlorella at the transition from dark to light. In: Proceedings of the Second United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy; Geneva V24, 1958. p. 8-15.
- LINDNER, R.C. Rapid analytical methods for some of the more common inorganic constituents of plant tissues. Plant Physiol., 19: 76-89. 1944.
- LOTT, W.L.; NERY, J.P.; GALLO, J.R.; MEDCALF, J.C. A técnica de análise foliar aplicada ao cafeeiro. New York, IBEC Research Institute. 1956. 40p. (Boletim técnico).
- LUNN, J.E.; DROUX, M.; MARTIN, J.; DOUCE, R. Localization of ATP sulfurilase and O-acetylserine (thiol) lyase in spinach leaves. Plant Physiol., 94: 1345-1352. 1990.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London 674p. 1986.
- McCREADY, R.M.; GUGGOLZ, J. SILVEIRA, V.; OWENS, H.S. Determination of starch and amylose in vegetables. Anal. Chem., 22: 1156-1158. 1950.

- McPHARLIN, I.R. & BIELESKI, R.L. Chemical nature of P efflux from P-adequate Spirodela and Lemna plants. Physiol. Plant., 78: 95-99. 1989.
- MORGAN, M.A.; JACKSON, W.A.; VOLK, R.J. Uptake and assimilation of nitrate by corn roots during and after induction on the nitrate uptake system, J. Exp. Bot., 36: 859-869, 1985.
- NELSON, D.W. & SOMMERS, L.E. Determination of total nitrogen in plant material. Agron. J., 65: 109-112. 1973.
- NEYRA, C.A. & HAGEMAN, R.H. Nitrate uptake and induction of nitrate reductase in excised corn roots. Plant Physiol., 56: 692-695. 1975.
- NOVAIS, R.F.; FERREIRA, R.P.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. de Absorção de fósforo e crescimento do milho com sistema radicular parcialmente exposto a fonte de fósforo. Pesq. Agropec. Bras., 20: 749-754, 1985.
- PAL, V.R.; GOSSET, D.R.; SIMS, J.L.; LEGGETT, J.E. Molybdenum and sulfur nutrition effects on nitrate reduction in barley tobacco. Can. J. Bot., 54: 2014-2022, 1976.
- PASSERA, C. & GHISI, R. ATP sulfurilase and O-acetylserine sulphohylade in isolated mesophyll protoplasts and bundle sheath strands of S-deprived maize leaves. J. Exp. Bot., 33: 432-436, 1982.
- PATE, J.S. Roots as organs assimilation of sulfate. Science, 149: 547-548, 1975.
- PETERSON, S. & JENSEN, P. Allosteric and non-allosteric regulation of rubidium influx in barley roots. Physiol. Plant., 44: 110-114. 1978.
- QUEIROZ, C.G.S. Distribuição e regulação da atividade da redutase do nitrato no cafeeiro (Coffea arabica L.). Vicoso, Universidade Federal de Vicoso, Imprensa Universitária, 51p. 1986. (Tese M.S.)
- RADIN, J.W. Amino acid interaction in the regulation of nitrate reductase induction in cotton root tips. Plant Physiol., 60: 467-469. 1977.
- RADIN, J.W.; PARKER, L.L.; SELL, C. Partitioning of sugar between growth and nitrate reduction in cotton roots. Plant Physiol., 62: 550-553, 1978.
- RAO, I.M.; FREDEEN, A.L.; TERRY, N. Leaf phosphate states, photosynthesis, and carbon partitioning in sugar beet. II Diurnal changes in carbon partitioning and carbon export. Plant Physiol., 92: 29-36. 1990.

- RAVEN, J.A. & SMITH, F.A. Nitrogen assimilation and transport in vascular land plants in relation to intracellular pH regulation. New Phytol., 76: 415-431. 1976.
- RECOMENDAÇÕES PARA USO DE CORRETIVOS E FERTILIZANTES EM MINAS GERAIS. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1989, 159p.
- RENA, A.B.; CORDEIRO, A.T.; ALVES, J.D. Ecofisiologia do cafeeiro arábico. In: Simpósio de Cafeicultura Latino-Americano, XII, San Pedro Sula, Honduras, Anais... (no prelo). 1990.
- RENA, A.B. & MASCIOTTI, G.Z. Efeito do deficit hídrico sobre o metabolismo do nitrogênio e o crescimento de quatro cultivares de feijão (Phaseolus vulgaris L.) Rev. Ceres, 128: 288-301, 1976.
- RENDIG, V.V. & TAYLOR, H.M. Principles of soil-plant interrelationships. McGraw-Hill Publ. Co., New York. 1989. 275p.
- REUVENY, Z.; DOUGALL, D.K.; TNITY, P.M. Regulatory coupling of nitrate and sulfate assimilation pathways in cultured tobacco cells. Proc. Natl. Acad. Sci., 77: 6670-6672, 1980.
- REUVENY, Z. & FILNER, P. Regulation of ATP sulfurilase in cultured tobacco cells. Effects of sulfur and nitrogen sources on the formation and decay of the enzyme. J. Biol. Chem., 252: 1858-1864, 1977.
- ROBINSON, D. & RORISON, I.H. A comparison of the responses of Lolium perenne L., Holcus lanatus L. and Deschampsia flexuosa (L.) Trin. to a localized supply of nitrogen. New Phytol., 94: 263-273, 1983.
- RORISON, I.H. Mineral nutrition in time and space. New Phytol., 106: 79-92. 1979.
- RUFTY, T.W.; MacKOWN, C.T.; ISRAEL, D.W. Phosphorus stress effects on assimilation of nitrate. Plant Physiol., 94: 328-333. 1990.
- RUIZ, H.A. Estimativa dos parâmetros cinéticos  $K_m$  e  $V_{max}$  por uma aproximação gráfico-matemática. Rev. Ceres, 32: 79-84. 1985.
- SACCOMANI, M.; CACCO, G.; FERRARI, G. Effects of nitrogen and/or sulphur deprivation on the uptake and assimilation steps of nitrate and sulfate in maize seedlings. J. Plant Nutr., 7: 1043-1057. 1974.
- SATTELMACHER, B.; MARSCHNER, H. Nitrogen nutrition and cytokinin activity in Solanum tuberosum. Physiol. Plant., 42: 185-189. 1978.

- SCHIFF, J.A. & HODSON, R.C. The metabolism of sulfate. Annu. Rev. Plant Physiol., 24: 381-414. 1973.
- SCHMIDT, A. Regulation of sulfur metabolism in plants. Progr. in Bot., 48: 133-150. 1986.
- SHEVYAKOVA, N.I. & KHOLOBRADA, W. Sulfate activation in the presence of excesses and deficiencies of sulfur. Sov. Plant. Physiol., 21: 820-825. 1974.
- SILVA, D.J. Análise de Alimentos: Métodos Químicos e Biológicos. Vicoso, Imprensa Universitária, 166p. 1981.
- SPACKMAN, D.H.; STEIN, W.H.; MOORE, S. Automatic recording apparatus for use in the chromatography of amino acids. Anal. Chem., 19: 1190-1206, 1958.
- SODEK, L. & WILSON, C.M. Amino acid composition of proteins isolated from normal, opaque-2, and flowry-2 corn endosperms by a modified Osborne procedure. J. Agric. Food Chem., 19: 1144-1150, 1971.
- THOMPSON, J.E.; MORRIS, C.J.; GERING, R.K. The effects of mineral supply on the amino acid composition of plants. Qual. Plant. Mater. Veg., 6: 261-275. 1960.
- THOMPSON, J.E.; SMITH, I.K.; MADISON, J.I. Sulfur metabolism in plants, In: TABATABAI, M.A. (ed.) Sulfur in Agriculture. Amer. Soc. Agron., Crop. Sci. Soc. Amer., Soil Sci. Soc. Amer., Madison, WI. p. 57-122. 1986.
- THORNLEY, J.H.M. A balanced quantitative model for root: shoot ratios in vegetative plants. Ann. Bot., 36: 431-441, 1972.
- UMBREIT, W.W.; BURRIS, R.H.; STAUFFER, J.F. Manometric and biochemical techniques. 5<sup>th</sup> ed. Minneapolis, Minnesota, Burgess, 1972. 387p.
- WANG, D. & WAYGOOD, E.R. Carbon metabolism of <sup>14</sup>C - labeled amino acids in wheat leaves: 1. A pathway of glyoxilate-serine metabolism. Plant Physiol., 37: 826-832. 1962.
- WILSON, J.B. A review of evidence on the control of shoot: root ratio, in relation to models. Ann. Bot., 61: 433-449, 1988.
- ZINK, M.W. Regulation of ATP-sulfurylase by various nitrogen and sulfur sources in cultured Ipomea sp. Can. J. Bot., 62: 2107-2113. 1984.



## APÉNDICE

## APÊNDICE A

QUADRO 1A - Teores de Ca, Mg e K na Matéria Seca de Folhas e Raízes de Cafeeiros Submetidos a Localizações de N, P e S em Diferentes Combinações no Ambiente Radicular

Tratamento		Ca		Mg		K				
		Falha	Raiz		Folha	Raiz		Folha	Raiz	
			VasoA	VasoB		VasoA	VasoB		VasoA	VasoB
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	1,5	1,1	1,2	0,4	0,8	0,7	2,5	3,7	3,8
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	1,6	1,4	0,8	0,4	0,8	0,8	2,4	3,2	2,5
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	1,8	1,2	1,0	0,5	0,7	0,7	2,7	4,0	3,4
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	1,7	1,3	1,2	0,5	0,9	0,6	2,4	3,5	2,8
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	1,7	1,2	1,1	0,4	0,8	0,7	2,3	3,4	2,7
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	1,5	1,4	1,2	0,4	0,7	0,8	2,4	3,1	2,7
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> S <sub>1</sub>	1,7	1,1	0,8	0,5	0,8	0,9	2,6	3,7	3,3
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	1,6	1,3	1,0	0,4	0,9	0,9	2,3	3,4	2,7
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	1,8	1,1	1,1	0,5	0,7	0,7	2,3	2,7	3,2
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	1,5	1,0	1,3	0,5	0,8	0,7	2,5	2,5	2,9
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> S <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>0</sub>	1,5	1,0	1,3	0,4	0,8	0,7	2,7	3,0	3,8