

DINÂMICA DO NITROGÊNIO NO SISTEMA SOLO-PLANTA  
NA CULTURA DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris*, L.) CULTIVAR  
CARIOCA

SEGUNDO SACRAMENTO URQUIAGA CABALLERO

Orientador: PAULO LEONEL LIBARDI

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA  
Estado de São Paulo - Brasil  
Abril - 1982

*Homem do campo,  
que de sol a sol lavras a terra,  
regando sua lavoura  
com o suor do teu rosto,  
com sempre uma esperança no amanhã,  
tens meu respeito e admiração ...*

A meus pais,  
Maria e  
Manuel (in memoriam),

D E D I C O

A meus queridos  
irmãos e sobrinhos,

O F E R E Ç O

## AGRADECIMENTOS

- Aos Professores *Dr. Paulo Leonel Libardi e Klaus Reichardt*, a orientação e dedicação recebidas, com profundo reconhecimento.

- Aos Colegas e Amigos:

*Antonio Carlos Saraiva da Costa*

*Cristina Beatriz Salvego*

*Elias de Freitas Junior*

*João Eduardo Pilotto*

*José Carlos de Araújo Silva*

*Luis Fernando Stone*

*Marcelo Calvache Ulloa*

*Paula Pinheiro Padovese*

*Reynaldo Luiz Victória*

*Sérgio Oliveira Moraes,*

a gentileza de terem compartilhado muitas de suas horas.

- À *Clarice de Oliveira*, por sua dedicação, com muito carinho.

- Às Instituições:

*Universidad Nacional Agraria La Molina (Perú)*

*Agência Internacional de Energia Atômica (Áustria)*

*Comissão Nacional de Energia Nuclear (Brasil),*

as oportunidades;

*Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Brasil),*

as facilidades oferecidas;

*Fundação Cargill,*

o apoio financeiro;

*Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (Brasil),*

os ensinamentos.

# Í N D I C E

|  | <u>Página</u> |
|--|---------------|
| 1. INTRODUÇÃO .....  | 1             |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA .....   | 3             |
| 2.1. Elementos do Balanço de Nitrogênio no Sistema Solo-Planta.                      | 4             |
| 2.1.1. Ganho de Nitrogênio .....   | 5             |
| 2.1.1.1. Fertilização Nitrogenada ( $N_f$ ) .....                                    | 5             |
| 2.1.1.2. Fixação Biológica ( $N_{fb}$ ) .....  | 9             |
| 2.1.1.3. Nitrogênio Incorporado pelas Chuvas ( $N_{ch}$ ).                           | 13            |
| 2.1.2. Perdas de Nitrogênio .....  | 14            |
| 2.1.2.1. Movimento do N no Perfil do Solo e Perdas<br>por Lixiviação ( $N_l$ ) ..... | 14            |
| 2.1.2.2. Perdas por Erosão e Deflúvio Superficial<br>( $N_d$ ) .....                 | 19            |
| 2.1.2.3. Perdas de N por Volatilização ( $N_v$ ) .....                               | 22            |
| 2.1.2.4. Extração e Exportação de Nitrogênio pelas<br>Colheitas ( $N_c$ ) .....      | 25            |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS .....  | 29            |
| 3.1. O Local .....   | 29            |
| 3.2. O Solo .....  | 31            |
| 3.2.1. Classificação .....   | 31            |
| 3.2.2. Caracterização Física .....   | 31            |
| 3.2.3. Caracterização Química .....  | 32            |
| 3.3. Parcela Experimental .....  | 36            |
| 3.4. Unidades Extratoras da Solução do Solo .....                                    | 38            |
| 3.5. Cultura .....   | 39            |
| 3.6. Adubação .....  | 41            |
| 3.7. Delineamento Experimental .....   | 41            |

|   |    |
|---|----|
| 3. 8. Implantação da Cultura .....  | 42 |
| 3. 9. Análise do Material Vegetal .....   | 43 |
| 3.9.1. Preparação das Amostras .....  | 43 |
| 3.9.2. Análise do Nitrogênio Total na Planta (NTP) .....  | 44 |
| 3.9.3. Determinação da Relação Isotópica ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ) na Plan<br>ta .....    | 44 |
| 3.9.4. Cálculo do Nitrogênio na Planta Proveniente do Fer-<br>tilizante .....                     | 46 |
| 3.9.4.1. Teor de Nitrogênio na Planta Proveniente<br>do Fertilizante .....                        | 46 |
| 3.9.4.2. Eficiência de Utilização do Fertilizante<br>Nitrogenado (EUFN) .....                     | 47 |
| 3.10. Dinâmica do Nitrogênio no Perfil de Solo .....  | 47 |
| 3.10.1. Amostragem do Solo .....  | 47 |
| 3.10.2. Análise do N Total no Solo .....  | 48 |
| 3.10.3. Determinação da Relação Isotópica ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ) do N<br>no Solo ..... | 48 |
| 3.10.4. Cálculo do Nitrogênio no Solo Proveniente do Fer-<br>tilizante (NSPF) .....               | 49 |
| 3.11. O Nitrogênio na Solução do Solo .....   | 50 |
| 3.12. Balanço do Nitrogênio no Sistema Solo-Planta .....  | 51 |
| 3.13. Parâmetros Avaliados .....  | 53 |
| 3.13.1. Na Planta .....   | 53 |
| 3.13.2. No Solo .....   | 54 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 55 |
| 4.1. Rendimento de Matéria Seca .....   | 55 |
| 4.2. Nitrogênio na Planta .....   | 62 |
| 4.2.1. Teor de N na Planta .....  | 62 |

|  | <u>Página</u> |
|--|---------------|
| 4.2.2. Extração de Nitrogênio pela Planta (kg/ha) .....  | 64            |
| 4.2.3. Nitrogênio na Planta Proveniente do Fertilizante (NPPF) e Eficiência de Utilização do Fertilizante Nitrogenado (EUFN) ..... | 69            |
| 4.3. Nitrogênio no Solo .....  | 75            |
| 4.3.1. Teor de N no Solo .....   | 75            |
| 4.3.2. Quantidade Total de Nitrogênio no Solo (kg/ha) .....  | 78            |
| 4.3.3. Quantidade de Nitrogênio no Solo Proveniente do Fertilizante (NSPF) (kg/ha) .....   | 82            |
| 4.4. Nitrogênio na Solução do Solo .....   | 85            |
| 4.5. Balanço do Nitrogênio Proveniente do Fertilizante no Sistema Solo-Planta .....  | 89            |
| 5. CONCLUSÕES .....  | 92            |
| 6. LITERATURA CITADA .....   | 95            |
| APÊNDICE .....   | 119           |

DINÂMICA DO NITROGÊNIO NO SISTEMA SOLO-PLANTA NA CULTURA DE FEIJÃO

(*Phaseolus vulgaris*, L.), CULTIVAR CARIOCA

*Segundo Sacramento Urquiaga Caballero*

Paulo Leonel Libardi

Orientador

**RESUMO**

O presente trabalho foi desenvolvido num solo Oxic Paleudalf (Terra Roxa Estruturada), localizado no campus da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, em Piracicaba. Seu objetivo foi o de estudar a dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), cultivar carioca.

Para isto, aplicou-se sulfato de amônio na dose de 42 kg N/ha, altamente enriquecido em  $^{15}\text{N}$  (56,111% de átomos de  $^{15}\text{N}$ ), a fim de seguir o caminamento do N no perfil do solo e dentro da planta, em cinco épocas de desenvolvimento da cultura (6; 26; 46; 66 e 86 dias após a germinação). Os efeitos dos tratamentos (adubação nitrogenada e épocas de amostragem) foram analisados estatisticamente, de acordo com o desenho completamente ao acaso, com três repetições, em todos os parâmetros avaliados.



Na planta avaliou-se a produção de matéria seca e o nitrogênio proveniente do solo e do fertilizante, acumulados pelos diferentes órgãos (raízes, ramos + folhas e vagens), nas diferentes épocas de amostragem. No solo, avaliou-se o nitrogênio total e o proveniente do fertilizante, nas diferentes camadas do perfil, nas cinco épocas do desenvolvimento da cultura.

Para estudar a mobilidade do nitrogênio na fase líquida do solo, instalaram-se 12 amostradores da solução do solo, distribuídos nas profundidades de 45, 75, 105 e 135 cm. Todos estes aparelhos foram enterrados a 20 cm da superfície do solo, antes da implantação da cultura. As análises da composição isotópica do nitrogênio foram feitas empregando-se um espectrômetro de massa Atlas Variant, modelo CH-4.

Pelos resultados obtidos, concluiu-se que: a) a adubação nitrogenada aumentou significativamente a produção da parte aérea (ramos + folhas) (22%), de vagens (209%) e de grãos (472,28%) do feijoeiro; b) a adubação nitrogenada aumentou significativamente a quantidade de nitrogênio absorvida pelas vagens (183,9%) e grãos (412,65%) da cultura; c) o acúmulo de matéria seca total e de nitrogênio absorvido aumentou significativamente em cada época de desenvolvimento da cultura, sendo este acúmulo sensivelmente maior no período de desenvolvimento das vagens (66 D.A.G.); d) na colheita, as quantidades totais de nitrogênio extraído pela cultura foram de 81,40 kg N/ha na testemunha e 128,10 kg N/ha no tratamento adubado com N, sendo exportadas com os grãos 16,4% e 53,46% respectivamente; e) a adubação nitrogenada com  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  favoreceu a assimilação do cálcio e cobre pela planta; estes elementos limitaram o crescimento e absorção de nitrogênio na testemunha, sendo o nitrogênio nativo não limitante à cultura; f) a porcenta-

gem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante variou sensivelmente ( $p = 0,05$ ) entre as épocas de desenvolvimento das plantas, mas não variou ( $p = 0,05$ ) dentro de cada época em todos os órgãos avaliados da cultura; g) a porcentagem máxima de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante, 27,33% (31,87 kg N/ha), e a eficiência máxima de utilização do fertilizante nitrogenado, 75,88% ocorreram aos 66 D.A.G., coincidindo com o estágio de maior desenvolvimento das vagens; h) a quantidade de nitrogênio nos grãos proveniente do fertilizante foi de 16,338 kg/ha, sendo sua eficiência de utilização de 38,90%; i) a variação ( $p = 0,05$ ) das quantidades de nitrogênio contidas no perfil do solo foi sensivelmente maior que a das extraídas pelas plantas, durante o desenvolvimento da cultura; j) ao final da cultura, ficaram no solo 9,174 kg/ha (21,84%) do nitrogênio proveniente do fertilizante, como efeito residual, sendo que mais de 86% ficaram acumulados nas camadas superficiais (0-45 cm) do perfil do solo; l) na solução do solo, a concentração média de N total e a proveniente do fertilizante diminuíram marcadamente com a profundidade do solo, sendo que no limite inferior do perfil (105/135 cm) a concentração de N total (15 ppm) e a do N proveniente do fertilizante (0,048 ppm) foram muito baixas; m) pelo uso de um adubo altamente enriquecido em  $^{15}\text{N}$  (56,111%), pôde-se contabilizar um máximo de 96,29% da quantidade de nitrogênio fornecida ao sistema solo-planta.

DYNAMICS OF NITROGEN IN THE SOIL - PLANT SYSTEM  
OF A BEAN (*Phaseolus vulgaris*, L.) CROP

*Segundo Sacramento Urquiaga Caballero*

Paulo Leonel Libardi  
Adviser

**SUMMARY**

This work was conducted in an Oxic Paleudalf ("Terra Roxa Estruturada") soil located at campus of "Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", University of São Paulo, Piracicaba (SP), Brazil. Its objective was to study the dynamics of nitrogen in the soil-plant system of a bean (*Phaseolus vulgaris*, L.) crop, variety "carioca".

For this, ammonium sulphate, highly enriched with  $^{15}\text{N}$  (56,111 Atom %  $^{15}\text{N}$ ), was applied at levels of 0 and 42 kg N.ha $^{-1}$ , in order to follow the N movement in the soil profile and within the plant, in five periods (6; 26; 46; 66 and 86 days after germination) of the cropping period. In the plant, dry matter yield and nitrogen derived from soil and from fertilizer were determined in roots, branches + leaves and pods, in the five periods. In the soil, determinations of total N and nitrogen derived from fertilizer were made in five soil layers of soil profile also in the five

periods.

In order to study the mobility of N in liquid phase of soil, 12 soil solution extractors were installed in the depths of 45; 75; 105 and 135 cm. All the instruments were buried 20 cm below the soil surface several days before sowing. Isotope composition analyses were made by means of a mass spectrometer Atlas Variant, model CH-4.

From the results, the following conclusions could be obtained:

a) nitrogen fertilization increased significantly the aereal part (branches + leaves) yield (22%), the pod yield (209%) and the grain yield (472.28%) of bean crop; b) nitrogen fertilization also increased significantly the amount of N absorbed by pods (183.9%) and grains (412.65%) of the crop; c) the amounts of total dry matter and N absorbed increased significantly in each period of the cropping period, being markedly higher in the pod formation period (66 days after germination); d) at harvest, total amounts of N extracted by the crop were of  $128.10 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  in the nitrogen treatment and  $81.40 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  in the control, being exported with grains 53.46% and 16.4%, respectively; e) ammonium sulphate fertilization facilitated the assimilation by the plant of calcium and copper from the soil; these elements limited the plant growth and the N absorption in the control (the native nitrogen was not limitative for the crop); f) the percentage of nitrogen in the plant derived from fertilizer varied markedly ( $P = 0,05$ ) between periods of the cropping period, but did not vary ( $P = 0,05$ ) in each period for all plant organs studied; g) the maximum percentage of N in the plant derived from fertilizer (27,33 %) and the maximum N fertilizer use efficiency (75.88%) occurred 66 days after germination; h) the amount of N in grains derived from fertilizer was  $16.34 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  and its use efficiency

38.90%; i) the nitrogen amount variation in the soil profile was markedly higher than the variation of the N amount extracted by plants, during the cropping period; j) at the end of the cropping period,  $9.17 \text{ kg.ha}^{-1}$  of N derived from fertilizer remained in the soil as residual effect, mainly (86%) in the soil surface layer (0-45 cm); k) the mean concentration of total N and N derived from fertilizer in soil solution decreased markedly with soil depth, being very small (15 and 0.048 ppm, respectively) at depth 105/135 cm; l) by using fertilizer highly enriched in  $^{15}\text{N}$  (56,111 Atom %  $^{15}\text{N}$ ) it was possible to count a maximum of 96.29% of the N amount furnished to the soil-plant system.

## 1. INTRODUÇÃO

Na América Latina, o feijão e a soja são, dentre as leguminosas, culturas de grande importância na alimentação humana. No Brasil, esta importância recai sobre o feijão e o arroz, que constituem a base do alimento do povo.

A produção brasileira de feijão está praticamente estabilizada, enquanto que a população nacional (120 milhões de habitantes) cresce a uma taxa de 2,7% ao ano. Esta situação está levando o país a uma perda crescente de divisas.

Para incrementar a produção de culturas, como o feijão, o uso intensivo de fertilizantes está sendo cada vez mais necessário. Porém, devido ao seu alto custo, deve-se racionalizar seu uso. Além do custo crescente dos fertilizantes, problemas de poluição dos meios naturais também podem surgir, pelo seu manejo inadequado.

O feijão, leguminosa de alto potencial em fixação biológica de nitrogênio no trópico latino-americano, ainda não está dando os resulta-

dos esperados como a soja, porquanto a adubação nitrogenada se torna necesária para a produção econômica desta cultura.

Dentre os nutrientes minerais no Brasil, o nitrogênio é o de maior uso, por sua baixa disponibilidade no solo e alta demanda pelas culturas. Por outro lado, devido à sua alta mobilidade no solo, pode chegar rapidamente ao lençol freático, poluindo as águas subterrâneas.

O objetivo deste trabalho é estudar a dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), através da avaliação do balanço e da eficiência de utilização deste nutriente em cinco épocas do ciclo da cultura.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

O nitrogênio é um elemento nutriente de vital importância aos organismos. Embora seja o mais abundante na atmosfera ( $\approx 90000$  ton/ha de superfície), é frequentemente o que mais limita a produção das culturas agrícolas de clima temperado e tropical, pelo fato de, na forma gasosa, não ser disponível para as plantas, com exceção de algumas leguminosas associadas a certos microorganismos (BRILL, 1977; EPSTEIN, 1975; GROSS BRAUN, 1981; SANCHEZ, 1976; WEBSTER e WILSON, 1966).

Enquanto que nos ecossistemas naturais o balanço dos nutrientes minerais se encontra em equilíbrio, nos ecossistemas agrícolas os nutrientes altamente móveis e lábeis são perdidos, muitas vezes em escala catastrófica, como tem sido observado após a derrubada de florestas para exploração agrícola (LIKENS *et alii*, 1970; NYE e GREENLAND, 1960; SANCHEZ, 1976). STOUT e BURAU (1967) consideram que a própria preparação (aração) do solo nativo para uma cultura pode causar grandes perdas, especialmente de nitrato, devido à rápida oxidação da matéria orgânica acelerada por esta prática.



Frênte às constantes perdas do nitrogênio, além de outros nutrientes, nos sistemas solo-planta da agricultura, o uso de fertilizantes é crescente e, em muitas situações, podem poluir as águas naturais. Estudos que procuram avaliar o movimento de N-NO<sub>3</sub> no perfil de solo e também suas perdas por lixiviação, têm sido realizados por numerosos pesquisadores (LUDWICK *et alii*, 1976; NELSON, 1972; RAWITZ *et alii*, 1975 e VIETS, 1970); entretanto, de acôrdo com RAWITZ *et alii* (1975), é necessário ter, em primeiro lugar, informação ou conhecimento da interação entre os diversos fatores envolvidos no balanço do nitrogênio num ecossistema para, além de otimizar a produtividade, diminuir os riscos de poluição.

## 2.1. Elementos do Balanço de Nitrogênio no Sistema Solo-Planta

Como em qualquer balanço de massa, o balanço do nitrogênio no sistema solo-planta de uma cultura é a contabilização das entradas e saídas do nutriente num dado volume de solo (que deve englobar todo seu sistema radicular), num determinado intervalo de tempo. Se a quantidade de N que entra (N<sub>e</sub>) no volume de solo num período t<sub>2</sub> - t<sub>1</sub>, for maior do que a quantidade de N que sai (N<sub>s</sub>), durante o mesmo período, o saldo será positivo, e, se sair mais do que entrar, negativo. Este saldo de N no solo é obtido pela variação da armazenagem de nitrogênio (ΔN) no perfil do solo durante o período considerado, isto é,

$$\Delta N = N_2 - N_1 \equiv N_e - N_s \dots\dots\dots (1)$$

sendo N<sub>1</sub> = armazenagem de N no instante t<sub>1</sub> (início do período) e N<sub>2</sub> = arma

zenagem de N no instante  $t_2$  (fim do período).

A quantidade de nitrogênio que entra no sistema pode ser a partir de fertilizantes e/ou adubos verdes ( $N_f$ ), fixação biológica ( $N_{fb}$ ), por chuvas ( $N_{ch}$ ). A quantidade de nitrogênio que sai pode ser por lixiviação ( $N_l$ ), por "runoff" ou deflúvio superficial ( $N_d$ ), por volatilização ( $N_v$ ) e pela colheita ( $N_c$ ). Portanto:

$$\Delta N = \underbrace{N_f + N_{fb} + N_{ch}}_{N_e} - \underbrace{N_l - N_d - N_v - N_c}_{N_s} \dots\dots\dots (2)$$

### 2.1.1. Ganho de Nitrogênio

#### 2.1.1.1. Fertilização Nitrogenada ( $N_f$ )

As quantidades de N aplicados às culturas dependem do teor de N mineral que o solo pode proporcionar no período da cultura e, da exigência das culturas.

MALAVOLTA (1981) considera que a adubação deve ser igual à diferença entre a exigência da cultura e o fornecimento pelo solo, multiplicada por um coeficiente K (maior ou igual a 1), que é função do adubo considerado nas condições de solo e clima e da própria planta; K é, pois, uma medida da eficiência de utilização do nutriente pela planta. Salieta, ainda, que o objetivo é obter as maiores produções ou qualidades dos produtos pelos menores custos.

Com referência ao teor de nitrogênio que o solo pode pro-

porcionar às culturas, deve-se considerar que a matéria orgânica é a principal fonte de N no solo, sendo aproximadamente 5% desta (BREMNER, 1965a; CHENG, 1977). Do total de N no solo, normalmente mais de 85% (FASSBENDER, 1975) ou 98% (BREMNER, 1965a) encontra-se na forma orgânica, e o teor desta é muito variável.

Para que o N-orgânico possa ser utilizado pelas plantas, tem que sofrer o processo de mineralização à forma amoniacal ( $N-NH_4$ ) e nítrica ( $N-NO_3$ ), principalmente. A mineralização consiste de uma série de processos consequentes da atividade microbiana, a qual é fortemente afetada pelo clima (temperatura, umidade), solo (pH, aeração, conteúdo e tipo de colóides minerais, disponibilidade de nutrientes, relação C/N, etc.), natureza do substrato orgânico e sistema de cultivo (BARTHOLOMEW, 1975; FASSBENDER, 1975; JENNY e RAUCHAUDHURI, 1960; NYE e GREENLAND, 1969; RUSSELL, 1973; SANCHEZ, 1976). Assim, dada a variabilidade de fatores que afetam a mineralização, as taxas são baixas e muito variáveis. Por exemplo: apenas 1 a 2% do N-orgânico total do solo é mineralizado anualmente nas áreas de clima temperado. Nas áreas de clima tropical úmido, a informação é muito limitada, mas ao que parece, a contribuição para as plantas é baixa por causa da alta pluviosidade (VAN RAIJ, 1981).

Nas áreas de clima semi-árido, com agricultura irrigada, encontra-se boa correlação entre o teor de nitrogênio mineral e o crescimento das plantas. Nestas áreas, como nas grandes planícies como no ocidente norte-americano, o teor de nitratos é considerado como um importante parâmetro para determinar as necessidades de fertilizante nitrogenado para as culturas. Mas o teor de nitrato não só provém da mineralização da matéria

orgânica, mas também dos efeitos residuais cujos níveis variam amplamente, tanto em superfície como em profundidade, como relatam numerosos autores (ADRIANO *et alii*, 1972; GILES *et alii*, 1975; HERRON *et alii*, 1968 e 1971; LUDWICK *et alii*, 1976 e 1977; SIMS e JACKSON, 1971; VERDADE, 1951). Contudo, LUDWICK *et alii* (1976) chamam a atenção de que está bem reconhecido que as recomendações de adubação baseadas no teor de  $N-NO_3$  pode ser de alto risco, uma vez que os níveis de nitrato podem mudar rapidamente, tanto através de várias transformações como por sua alta mobilidade no perfil do solo, estando sujeito a perdas. VAN RAIJ (1981) considera que a análise de  $N-NO_3$  nos primeiros 60 cm de solo, além de outras informações como a mineralização média esperada, para prever as necessidades de adubos, poderia ser uma alternativa possível para o Brasil, principalmente na região tropical de inverno seco.

Por outro lado, nas áreas de clima tropical úmido, não se encontra uma boa correlação entre o teor de N-orgânico do solo e as respostas das culturas, devido, provavelmente, à intensa lixiviação do solo pelas fortes chuvas. Observa-se que em muitas destas áreas, nos meses de reduzida precipitação (ou veranicos), onde além das elevadas temperaturas do solo que provocam uma esterilização parcial, tem-se acúmulo de produtos nitrificáveis, ocasionando, quando do início da época de chuvas, acúmulo de nitratos, que logo se perdem por lixiviação, quando a maioria das culturas ainda não tem um sistema radicular bem desenvolvido, capaz de aproveitar o nitrato produzido (FASSBENDER, 1975; GREENLAND, 1958; LEAL e ALVAHYDO, 1961; MALAVOLTA, 1976; SANCHEZ, 1976; VAN WAMBEKE, 1974; VERDADE, 1951).

No Brasil, para avaliar a disponibilidade de N do solo, con-

sidera-se uma mineralização média da matéria orgânica frequentemente admitida como sendo 2% ao ano. No passado, se considerava o nitrogênio total dos solos (VAN RAIJ, 1981).

No que diz respeito às necessidades de nitrogênio pelas culturas, fator que influi também na determinação das necessidades de fertilizantes, considera-se que estão relacionadas com a velocidade de crescimento das plantas (o que varia com a espécie e variedade) e com o tamanho das colheitas; dependem também de fatores do clima (luz, temperatura, chuva, etc.) e do nível de tecnologia (COOKE, 1981; MALAVOLTA, 1981; SANCHEZ, 1976).

MALAVOLTA (1981) e SANCHEZ (1976) apresentam tabelas das exigências (extração e exportação) de nitrogênio pelas principais culturas tropicais, nas quais se observa a influência das variáveis acima, principalmente o efeito do tamanho da colheita. Assim, por exemplo, para colheitas de 0,5 a 1 ton/ha de grãos de leguminosas (feijão, soja ou amendoim), são necessários de 30 a 50 kg N/ha no produto colhido. Porém, para produções muito maiores, estes valores podem chegar a 100 ou 150 kg N/ha, sem se considerar ainda o nitrogênio necessário na produção dos restos das culturas.

No Brasil, VAN RAIJ (1981) menciona que, não havendo critério eficiente para discriminar respostas de culturas à adubação nitrogenada, optou-se, para muitas culturas, o uso das curvas de resposta médias para nitrogênio, com as quais é possível determinar doses mais econômicas a aplicar.

No mundo, o nível de desenvolvimento da agricultura está in

fluindo significativamente nas quantidades de fertilizante aplicadas por ha. Assim, em FAO (1972), citado por COOKE (1981), reporta-se que o maior uso de fertilizantes está restrito às áreas desenvolvidas, as quais usam 6,5 vezes a quantidade usada por hectare nas áreas em desenvolvimento.

#### 2.1.1.2. Fixação Biológica ( $N_{fb}$ )

À semelhança do que ocorre nas regiões temperadas, a fixação biológica constitui uma das principais formas de adição de nitrogênio aos sistemas solo-planta dos ecossistemas tropicais, tanto florestais como agrícolas.

EPSTEIN (1975) e POSTGATE e HILL (1979) apresentam uma relação dos diferentes sistemas biológicos fixadores de nitrogênio que ocorrem na natureza: os microorganismos fixadores (bactérias\*, algas verde-azuis, fungos e actinomicetos), cujo denominador comum é apresentar a  $N_2$ -ase (enzima fixadora do  $N_2$ ), encontram-se relacionadas às plantas, desde associações simbióticas (formação de nódulos ou não) até de vida livre na rizosfera, passando pelas associações menos íntimas, como são as formadas por bactérias e algas nas superfícies foliares de árvores, fetos, etc.

Dentro dos diferentes sistemas biológicos fixadores de N, a associação leguminosa-*Rhizobium* é considerada como a mais eficiente, tanto nas áreas florestais e, quase exclusivamente, nas culturas anuais (SANCHEZ, 1976). HENZEL e NORRIS (1962) reportam que estas associações contribuem, em geral, com 16 a 500 kg N/ha.ano. Esta ampla variação depende, em grande parte, da metodologia e das condições nas quais se fez a avaliação. SAN

CHEZ (1976) complementa dizendo que as quantidades fixadas, na maioria dos casos, estão muito abaixo do esperado, especialmente nas áreas tropicais. Isto pode ser devido ao baixo teor de P e Ca e ao alto teor de elementos tóxicos, como Al, na maioria dos solos. Salienta, ainda, este autor, que o feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), na América Latina, fixa muito pouco N, particularmente por causa de sua pobre nodulação.

Nos últimos sete anos, têm-se registrado evidências de fixação simbiótica em gramíneas tropicais. DÖBEREINER e DAY (1975a e 1975b) encontraram esta nova associação simbiótica (não nodulante) entre algumas variedades do capim pangola (*Digitaria decumbens*) e a bactéria *Spirillum lipoferum* (agora *Azospirillum* sp), associação restrita, ao que parece, segundo os autores, às gramíneas com sistema fotossintético C-4. Esta associação, os mesmos autores a registram para algumas variedades de *Paspalum notatum* com *Azotobacter paspali*. Nestas associações, embora a fixação ocorra na rizosfera, foi considerada simbiótica porque o N foi absorvido diretamente pelas plantas e não foi liberado ao solo. Extrapolando os dados de laboratório e de casa de vegetação, a fixação por este mecanismo pode ser da ordem de 1 kg N/ha.dia. Recentemente, MATSUI *et alii* (1981) avaliaram a fixação de N na cultura de cana-de-açúcar em campo, em condições normais de cultivo, com uso de  $^{15}\text{N}$ , estimando que a fixação contribuiu com 17% do total de nitrogênio extraído pela cultura.

Outra associação simbiótica de relevante importância é a *Azolla-Anabaena*, que é muito usada, na prática, no sul da Ásia, como meio de adicionar N em ambientes alagados, principalmente na lavoura de arroz. Sob condições de campo, são registrados valores de fixação de 62 a 125 kg N/

ha.ano (RUSCHEL, 1979).

Com relação à fixação assimbiótica de N no sistema solo-planta, as mais importantes são as que ocorrem no solo e na rizosfera; os microorganismos responsáveis são as algas azuis-verdes (em ambientes muito úmidos) e diversas espécies de bactérias dos gêneros *Azotobacter* e *Beijerinckia* (RUSCHEL, 1979; RUSSEL, 1973; SANCHEZ, 1976). LUND (1967) e SINGH (1961) afirmam que as algas filamentosas verde-azuis são de grande importância para a economia de nitrogênio na cultura de arroz no oriente. SANCHEZ (1976) complementa que a contribuição destas são de 14 a 70 kg N/ha. ano no arroz inundado; para outras culturas, seu significado é mínimo.

No Brasil, existem muitos autores (DÖBEREINER, 1968; DÖBEREINER *et alii*, 1972; DÖBEREINER e DAY, 1975b; NEYRA, 1978; NEYRA e DÖBEREINER, 1977; RUSCHEL, *et alii*, 1975 e 1978; SANCHEZ, 1976) que têm trabalhado com fixação assimbiótica na rizosfera, os quais encontraram numerosas bactérias de vida livre, principalmente *Azotobacter*, *Beijerinckia* e *Derxia* na rizosfera de cana-de-açúcar, arroz e várias gramíneas tropicais, como *Pennisetum purpureum*, *Panicum maximum* e, principalmente, *Paspalum notatum*. Observaram que a espécie vegetal influi decididamente no desenvolvimento destes microorganismos, chegando a constituir uma forma de "fixação simbiótica", visto que a superfície radicular destas gramíneas parece ser um ambiente particularmente favorável para o desenvolvimento destas bactérias. Extrapolando resultados de laboratório, o *Azotobacter paspali* pode fixar, na rizosfera de *Paspalum notatum*, quantidades maiores de 90 kg N/ha. ano em condições ótimas. No entanto, as quantidades fixadas nas áreas agrícolas por estes sistemas assimbióticos, são, em geral, bastante baixas



(10 kg N/ha.ano).

Os fatores nutricionais podem afetar a fixação de N na associação leguminosa-*Rhizobium* por três vias: podem atuar diretamente na iniciação e desenvolvimento dos nódulos, podem influenciar a eficiência da simbiose e podem exercer um papel essencial no metabolismo ou crescimento do hospedeiro, independente da simbiose. Os nutrientes atuam em um ou mais dos mecanismos mencionados, entretanto, o êxito depende da disponibilidade e do balanço adequado dos nutrientes nas três vias. Fatores nutricionais desfavoráveis podem ter efeitos adversos. Por exemplo: a deficiência de Fe e Mo no sistema fixador das bactérias, a deficiência de Ca, P e B, o excesso de Al, Mn, a falta de aeração na morfologia radicular do hospedeiro, assim como altos níveis de N combinado, reduzem significativamente a fixação de N<sub>2</sub> (ANDREW, 1978; EPSTEIN, 1975; FRANCO, 1978; NUTMAN, 1975; RUSSELL, 1973).

Na maioria das áreas tropicais, os solos apresentam condições nutricionais adversas à fixação biológica de N<sub>2</sub>, as quais podem ser as responsáveis pela baixa fixação de N<sub>2</sub> nas leguminosas anuais, como o feijoeiro, justificando o uso de adubos nitrogenados nesta cultura (SANCHEZ, 1976). DOBEREINER (1978) afirma que, no Estado do Rio de Janeiro, mais de 88% dos solos são deficientes em molibdênio, e considera isto como a principal causa da baixa fixação de N<sub>2</sub> e baixa produção do feijoeiro, pois, com a suplementação de Mo e P, o feijoeiro-*Rhizobium* fixou todo o N necessário para produzir 3000 kg de grão/ha, ou seja, 5 vezes a média nacional do Brasil.

Em resumo: de acordo com SANCHEZ (1976), a adição de N<sub>2</sub> at-

mosférico ao sistema solo-planta pode ser, em geral, tão pouco como 4 e não mais que 50 kg N/ha em culturas anuais; porém, nas florestas tropicais, a fixação pode variar de 46 a 147 kg N/ha.

### 2.1.1.3. Nitrogênio Incorporado pelas Chuvas ( $N_{ch}$ )

Nas áreas tropicais úmidas, longe das áreas industriais, alguns nutrientes são incorporados ao sistema solo-planta pelas chuvas. São transportados pelos ventos, ou como finas cinzas da combustão da floresta (Shifting cultivation) ou como poeira dos desertos (NYE e GREENLAND, 1960; SANCHEZ, 1976). COOKE (1981) informa que nas áreas marítimas industriais, tais como na Inglaterra e América do Norte, as águas de chuva contêm apreciáveis quantidades de nutrientes, alguns deles fornecidos pelos mares, como aerossol, outros pela combustão dos combustíveis fósseis, que contribuem com N e S à atmosfera; outros ainda fazem parte do ciclo terrestre, onde a poeira levada pelo ar é, mais tarde, depositada no solo pela chuva.

Nestas condições, a composição da chuva varia de lugar para lugar. Assim, COOKE (1981) informa que há diferença entre a área industrial da Inglaterra, onde o N incorporado é de 17 kg N/ha.ano, e o norte da Austrália, onde seu valor varia de 1,2 a 1,5 kg N/ha.ano. Kass e Drosdoff (1970), citados por SANCHEZ (1976), informam que, para cinco diferentes ecossistemas, incluindo agrícolas e florestais, a contribuição por chuva e poeira é da ordem de 4 a 8 kg N/ha.ano. Estes dados são semelhantes aos de Erickson (1952), citado por NYE e GREENLAND (1960), que, reunindo numerosas estimativas do N ( $N-NO_3$  e  $N-NH_4$ ) que cai com a chuva nas regiões tropicais, concluíram que a contribuição média é da ordem de 8 kg N/ha.ano

(7 lb/acre.ano). De acordo com SANCHEZ (1976), estes valores, relativamente altos, ocorrem especialmente em áreas de intensa atividade elétrica (raios) da atmosfera.

## 2.1.2. Perdas de Nitrogênio

### 2.1.2.1. Movimento do N no Perfil do Solo e Perdas por Lixiviação ( $N_1$ )

O nitrogênio no solo sofre uma série de transformações, sendo, das formas minerais, o  $N-NO_3^-$  a mais aproveitada pelas plantas.

Este ânion (e às vezes  $N-NH_4^+$  e  $N-NO_2^-$ ) é, no entanto, normalmente, pouco retido pelos colóides do solo, ficando livre na solução do solo e sujeito ao movimento da água no perfil. Desta maneira, pode se perder com a água de drenagem (lixiviação), diminuindo a fertilidade do solo, aumentando, conseqüentemente, os custos de produção pelo maior uso de adubos, e poluindo as águas naturais (não poluídas) cada vez mais limitadas. As quantidades de  $N-NO_3^-$  no perfil, susceptíveis à perda, são muito variáveis no espaço e no tempo, dependendo da quantidade de N adicionado, da taxa de mineralização do N-nativo, da remoção pelas colheitas, do sistema de manejo do solo, do tipo de cultura e do volume de água drenada, fatores estes afetados significativamente pelas propriedades do solo (capacidade de troca iônica, textura, estrutura, matéria orgânica, etc.) e pelo clima (precipitação, principalmente) (BARTHOLOMEW, 1971; BIGGAR e NIELSEN, 1976; BIGGAR, 1978; BRINK e JOHANSSON, 1980; CARVELLO *et alii*, 1976; EPSTEIN, 1975; KINJO e PRATT, 1971; LUDWICK *et alii*, 1976 e 1977; LUND *et alii*, 1974; ME-

KARU e UEHARA, 1972; NIELSEN *et alii*, 1973; REICHARDT, 1976; ROSE, 1980).

WILD (1972), estudando o movimento de  $N-NO_3^-$  num Alfisol bem agregado do norte da Nigéria, encontrou que este íon descia a uma taxa de 0,5 mm/mm de chuva, a qual é consideravelmente baixa em comparação com os resultados encontrados por TERRY e MCCANTS (1970), de 1 a 5 mm/mm de chuva em solos arenosos da Carolina do Norte. A aparente diferença na mobilidade do  $N-NO_3^-$  pode dever-se ao diferente grau de agregação, pois, de acordo com SANCHEZ (1976), o movimento da água ocorre, principalmente, nos macroporos e muito pouco nos microporos, que estão, em maioria, nos agregados.

No que diz respeito ao efeito da textura, PRATT *et alii* (1980), trabalhando com solos de diferentes texturas, encontraram que o volume da água drenada, concentração de  $N-NO_3^-$  e as perdas deste ânion por lixiviação e outras perdas não computadas foram significativamente relacionadas com os tratamentos de irrigação e características do perfil, especialmente a condutividade hidráulica saturada. As perdas foram significativamente reduzidas nos solos franco-argilo-limosos, em contraste com os franco-arenosos. SATIRIOU e KORTE (1980) avaliaram, durante quatro anos, o balanço e destino da uréia ( $CO(^{15}NH_2)_2$ ) num solo arenoso, com e sem aplicação de matéria orgânica, e em outro limoso, em diferentes culturas, encontrando que o N aplicado diminuía linearmente com a profundidade no solo arenoso e exponencialmente no solo limoso. A aplicação de matéria orgânica não influenciou na perda e a eficiência de utilização do fertilizante foi maior no solo arenoso.

As perdas do  $N-NO_3^-$  também são afetadas pelo tipo de adubo

usado, outros nutrientes aplicados e reação natural do solo. Assim, YOUNG-DAHL *et alii* (1980), num estudo para avaliar a perda potencial da uréia ( $\text{CO}(\text{}^{15}\text{NH}_2)_2$ ) de diferentes granulações, em solos de diferentes texturas, e com taxas de percolação de 0-20 mm/dia, determinaram que, nas taxas de moderada a alta percolação, especialmente em solos com CTC baixa, as perdas por lixiviação da uréia supergranulada pode ser total. Porém, no solo franco-limoso, a análise de  $^{15}\text{N}$  revelou que a planta (arroz) recuperou do fertilizante supergranulado mais de 63%, com uma percolação de 4,4 mm/dia, e só 5% na taxa de 18,3 mm/dia. A perda com uréia supergranulada foi sempre menor que com os outros adubos testados. Em Sri Lanka, GOLDEN (1980) relata que, normalmente, se aplicam 200 kg N/ha na cultura de chá, e que a eficiência vai de 30 a 50% nestas condições. Ele estudou a nitrificação do  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  e o movimento de  $\text{N-NO}_3^-$ , depois de aplicar 3N, 2P e 3K, e encontrou que o KCl diminuiu a nitrificação e a perda do  $\text{N-NO}_3^-$ . Além disso, observou que este ânion desceu no perfil até perto de 40 cm dentro de dois meses e que o nível de  $\text{N-NO}_3^-$  na solução do solo resultou em 160 ppm a 20 cm no tratamento de 300 kg N/ha. Assim mesmo, grandes quantidades de cálcio também foram solubilizados, possivelmente pela acidez, produto da mineralização do  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  aplicado. THENABADU (1980) encontrou que a lixiviação de  $\text{N-NO}_3^-$  esteve associada ao pH do solo, sendo maior no pH neutro.

Nas áreas áridas ou semi-áridas, sob irrigação controlada, o N mineral tende a acumular-se no perfil do solo. LUDWICK *et alii* (1976) encontraram que o teor de  $\text{N-NO}_3^-$  nos 300 cm do perfil de solo que estudaram, foram fortemente influenciados pelos níveis de N e regimes de irrigação aplicados. As maiores acumulações foram associadas às duas taxas mais al-

tas de N e aos dois mais baixos regimes de irrigação. O teor de  $N-NO_3^-$  diminuiu com a profundidade e ficaram evidentes os efeitos residuais das fertilizações. JAMES *et alii* (1968) estudaram o teor de  $N-NO_3^-$  em 45 áreas irrigadas da parte central de Washington e encontraram que nos 180 cm do perfil se acumularam de 35 a 750 kg N/ha. Stewart *et alii* (1967), citados por LUDWICK *et alii* (1976), afirmam que a concentração de  $N-NO_3^-$  nos primeiros 30 cm, de 30 áreas irrigadas do Colorado, cultivadas entre outras culturas, com alfafa (*Medicago sativa*, L.), variou de 0 a mais de 1400 kg/ha.

O tipo de cultura também influi no movimento do N no perfil e nas perdas, sendo as de alta produção de biomassa e de maior sistema radicular as mais importantes. Assim, BRINK e JOHANSSON (1980) consideram que as culturas de cobertura reduzem as perdas por lixiviação, uma vez que absorvem o N mineral e o imobiliza na biomassa vegetal. COOKE (1981) faz referência a trabalhos em que as perdas de íons solúveis ( $NO_3^-$ ,  $Cl^-$  e  $SO_4^{2-}$ ) foram muito menores (2 a 5 vezes) nas gramíneas que nos campos aráveis, com igual fertilização; além disso, encontraram-se efeitos muito diferentes entre espécies. Assim, as perdas em gramínea *Panicum* foram muito menores que em leguminosa *Stylosanthes*, e na cultura de bananeira, as perdas são maiores que nas culturas herbáceas, por absorver poucos nutrientes.

Para melhor entendimento do movimento do  $N-NO_3^-$  no solo, estão se desenvolvendo soluções numéricas e analíticas de equações simples, baseadas na conservação de massa, ou equações mais complexas. A lixiviação de  $N-NO_3^-$  envolve processos de fluxo de massa no solo devido ao movimento da água (às vezes chamado convecção) e dispersão hidrodinâmica. A difusão é, portanto, também outra causa do espalhamento, porém, de

muito pouco significado no tempo da cultura (CAMERON e WILD, 1980; FRISSEL e VAN VEEN, 1980; NIELSEN *et alii*, 1980; PRATT *et alii*, 1978; ROSE, 1980; SCOTTER *et alii*, 1978).

Amostragem e análise do material do solo abaixo da zona radicular de áreas de drenagem livre têm sido usadas por numerosos pesquisadores (ADRIANO *et alii*, 1972; BIGGAR *et alii*, 1975; FRIED *et alii*, 1976; LA RUE *et alii*, 1968; LIBARDI e REICHARDT, 1978; LIBARDI *et alii*, 1981; LUND *et alii*, 1974; LUDWICK *et alii*, 1976 e 1977; PRATT *et alii*, 1972; REICHARDT *et alii*, 1979) para medir as concentrações de N-NO<sub>3</sub> e estimar as quantidades deste nutriente lixiviado do perfil do solo. Alguns têm usado amostras do solo e outros da solução ou água de drenagem.

Em nosso meio, LIBARDI e REICHARDT (1978), ao estudar o destino da uréia-<sup>15</sup>N (120 kg N/ha), aplicada a uma cultura de feijão "cario-ca", num solo Oxic Paleudalf (Terra Roxa Estruturada), encontraram que, durante a cultura, foram perdidos 6,72 kg/ha no total (N do fertilizante + N do solo), considerando para este fim 90 cm de profundidade como limite inferior da exploração radicular. As perdas por lixiviação foram contabilizadas pelas análises de amostras da solução do solo. Porém, no mesmo solo, MEIRELLES *et alii* (1980), aplicando sulfato de amônio-<sup>15</sup>N (100 kg N/ha) ao feijoeiro "rosinha", encontraram que as perdas por lixiviação a mais de 120 cm foram, no total, de 15 kg N/ha, sendo 1,35 kg de N proveniente do fertilizante.

REICHARDT *et alii* (1979), também em Piracicaba, estudaram a dinâmica do nitrogênio (80 kg N/ha, (<sup>15</sup>NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) aplicado a uma cultura de milho, num Latossolo Vermelho Escuro, fase arenosa. Encontraram que, du-

rante a cultura, foram lixiviados, aproximadamente, 9,2 kg N/ha, sendo 0,4 kg/ha do adubo aplicado, considerando como profundidade limite 120 cm. As perdas também foram contabilizadas por análise de amostras da solução do solo a essa profundidade.

Nos estudos para avaliar as perdas por lixiviação, uma das dificuldades está em definir a profundidade ou limite inferior do solo, uma vez que, em solos bem estruturados, as raízes podem penetrar e absorver nutrientes a grandes profundidades. ANDERSON *et alii* (1972) encontraram que a beterraba (*Beta vulgaris*) pode absorver o  $^{15}\text{N-NO}_3^-$  localizado a 135 cm de profundidade. LUDWICK *et alii* (1976) observaram que o milho utilizou  $\text{N-NO}_3^-$  a mais de 120 cm de profundidade.

Por outro lado, dada a evidente perda de  $\text{N-NO}_3^-$  nos solos, especialmente dos trópicos úmidos, nos últimos anos têm se intensificado os estudos do controle químico da nitrificação dos adubos nitrogenados, visto que muitas plantas, como as gramíneas, produzem excreções radiculares que controlam a nitrificação e, assim, pode-se diminuir as perdas do  $\text{N-NO}_3^-$  (GASER, 1970; KORTE, 1980).

#### 2.1.2.2. Perdas por Erosão e Deflúvio Superficial ( $\text{N}_d$ )

A camada superficial do solo é, normalmente, a mais rica em nutrientes e a que se apresenta com as melhores condições para o crescimento das plantas. Por esse motivo, sua perda pode, muitas vezes, levar a baixas na fertilidade do solo e, conseqüentemente, na produtividade das culturas, além da poluição das águas naturais de superfície. Nas áreas tropicais, a erosão hídrica é a mais importante. É fortemente afetada pelas



condições de clima, solo, relevo, cobertura vegetal e manejo das culturas (AINA *et alii*, 1979; BERTONI *et alii*, 1972 e 1975; DE BOODT *et alii*, 1979; DE MEESTER *et alii*, 1979; FELIPE-MORALES *et alii*, 1979; JUNGERIUS, 1975; KANDIAH e ZINGG, 1940).

Assim, como são diferentes os fatores que afetam "run-off" e, portanto, a erosão, as informações sobre perdas são também de muita variação. POPENOE (1957), trabalhando em solos derivados de cinzas vulcânicas da Guatemala, encontrou erosão muito baixa em campo limpo com alta declividade, o que foi atribuído à baixa densidade global do solo ou a sua alta porosidade. SUAREZ DE CASTRO (1957), na Colômbia, trabalhando com An depts, encontrou que o deflúvio superficial diminuiu com a limpeza do solo; este fenômeno, ele atribuiu ao aumento na permeabilidade do solo, devido à queimada. A limpeza do solo, entretanto, na maioria dos casos, favorece grandes perdas de solo. Assim, FELIPE-MORALES (1978), trabalhando com qua tro sistemas de cultivo na serra e na selva alta do Perú, encontrou que as perdas variaram de 2 a 5 ton/ha.ano na serra e de 2 a 15 ton/ha.ano na sel va. LAL *et alii* (1974 e 1975) informam que, na Nigéria, quantidades grandes de solo e nutrientes são perdidas por deflúvio superficial e erosão quando os Alfisols de camada superficial arenosa estão sem cobertura. Nes tas condições, as perdas de solo podem chegar até 115 ton/ha.ano, a produção é reduzida a menos de 50% e a fertilização adicional não corrige as per das por erosão, pois as raízes, ao chegar à camada argilosa, não podem se desenvolver. Então, o efeito da fertilização ou correção depende do tipo de solo.

No Brasil, BERTONI *et alii* (1972), estudando as perdas de

solo num Latossolo Roxo, com declive de 9 a 12% e chuva de 1300 mm/ano, e com diferentes culturas, encontraram perdas de 0,9; 3,4; 7 e 27 t/ha.ano para café, mandioca, batata-doce e algodão, respectivamente. Posteriormente, estes mesmos autores (BERTONI *et alii*, 1975) informaram os limites de perdas de vários solos tropicais do Brasil, sendo de 2 a 7 t/ha.ano para o Litossol, 5 a 13 t/ha.ano para o Podzólico e 12 a 16 t/ha.ano para o Latossolo Vermelho Escuro. Estes valores são relativamente baixos, mas, com o tempo, podem chegar a ser significativos.

A cobertura vegetal, normalmente, é de grande importância no controle da erosão. Assim, sabe-se que nas florestas, o deflúvio superficial e a erosão são quase imperceptíveis na maioria dos solos (NYE e GREENLAND, 1960; KANDIAH, 1979; SANCHEZ, 1976). VICENT-CHANDLER *et alii* (1974) avaliaram as perdas por erosão de um Oxisol e Ultisol de Porto Rico, as quais variaram de 27 t/ha.ano nas áreas com culturas anuais a 1,5 t/ha.ano nas áreas com pastagem fortemente fertilizadas. Nos cafezais, ao que parece, as perdas são grandes, como relatam SUAREZ DE CASTRO e RODRIGUEZ (1962) que, na Colômbia, encontraram perdas ao redor de 860 t/ha.ano em solos com 22% de declive e 2550 mm de precipitação/ano.

Ao que parece, a erosão nem sempre é a principal causa da pobreza dos solos tropicais. A esse respeito, NYE e GREENLAND (1960) informam que, num solo florestal sob cultivo, a maior concentração de nutrientes está nos primeiros 7,5 cm do solo, e a perda é mínima, desde que não haja muita perturbação pelo cultivo. No entanto, mesmo com as práticas normais de cultivo, as perdas por erosão durante três anos de cultivo não excederiam a 125 t/ha, desde que as declividades sejam menores que 10%.

Assim, as perdas seriam quase 1/10 da camada superficial fértil (7,5 cm) que, em poucos períodos de cultivo, tem pouco efeito na disponibilidade de nutrientes no solo superficial. Evidentemente, isto não pode ser considerado como a maior responsável pelo rápido decréscimo da fertilidade, exceto onde ocorra erosão catastrófica.

Recentemente, DE BOODT *et alii* (1979) avaliaram, em laboratório, as perdas por erosão e escoamento superficial de três nutrientes (NPK) aplicados em três níveis num Oxisol da Taradja (Indonésia), com uma intensidade de precipitação de 60 mm/hora, durante duas horas. Encontraram que, quando os fertilizantes foram incorporados ao solo, o deflúvio superficial e o teor de sedimento foram muito mais baixos e o volume de água percolada, maior. Desta forma, a simples mistura do adubo na superfície do solo diminuiu drasticamente as perdas de nutrientes pela erosão. As perdas de nutrientes foram proporcionais às taxas aplicadas e o nitrogênio foi o nutriente menos perdido pela erosão, devido à sua alta mobilidade com a água percolada para as camadas mais profundas do perfil. O mesmo não ocorreu com o K e o P, pelo fato destes elementos ficarem em maior proporção adsorvidos ou "fixados" na superfície do solo, expostos à erosão. O uso de agregantes artificiais (Polyacrilamide) na superfície do solo diminuiu as perdas de N, P e K de 20, 20 e 10 vezes, respectivamente.

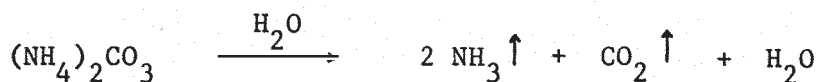
Em resumo, os nutrientes móveis no solo ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{Cl}^-$ ) se perdem muito pouco por erosão ou deflúvio superficial.

### 2.1.2.3. Perdas de N por Volatilização ( $N_v$ )

Estas perdas são mais significativas em condições redutoras

que ocorrem em solos de má drenagem ou saturados de água. Sob cultivos normais, as perdas de N para a atmosfera dá-se na forma de amônia ( $\text{NH}_3$ ). A volatilização da amônia ocorre com alta probabilidade quando o adubo é aplicado em superfície (cobertura) e depende da natureza do próprio fertilizante, da CTC, do pH, do teor de matéria orgânica e de outras propriedades do solo, da umidade e da temperatura, principalmente. Os outros fatores são: uniformidade da superfície, movimento do ar, presença de carbonatos, tamanho do grânulo do adubo e o tempo decorrido entre a aplicação e a chuva seguinte ou a eventual incorporação do produto no solo (CLARK *et alii*, 1960; ENO e BLUE, 1957; ERNST e MASSEY, 1960; GASSER, 1964; MALAVOLTA, 1981; MEYER *et alii*, 1961; MURPHY, 1979).

No caso da uréia, a primeira transformação que sofre é a hidrólise, formando carbonato de amônio  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ . Este processo é realizado pela urease, enzima de alta atividade nos solos com alto teor de C-orgânico ou alta CTC (em solos sob gramíneas e florestas, especialmente). O  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ , por ser de baixa estabilidade, decompõe-se rapidamente em meio úmido, segundo a seguinte reação:



A hidrólise da uréia independe do pH do solo e sua mistura na parte superficial do solo, ao contrário do sulfato de amônio, nem sempre diminui a perda de amônia, especialmente em meios alcalinos (GASSER, 1964; TERMAN, 1979).

GASSER (1964) informa que, em solos ligeiramente ácidos ou

neutros, a hidrólise da uréia pode elevar o pH do meio e favorecer o acúmulo de  $\text{NO}_2^-$ , o qual, em elevada concentração, favorece a produção de compostos nitrogenados voláteis ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ), sujeitos a perdas. Este mecanismo de perda parece ser mais fácil de ocorrer com uréia do que com sais amoniacais. Por outro lado, salienta que o incremento do pH pela hidrólise, em solos ácidos, favorece a nitrificação do amônio, sendo mais rápida no amônio derivado da uréia do que o derivado do sulfato de amônio.

Em solos calcários ou que receberam calagem pesada, é comum a perda de  $\text{NH}_3$ , mas as quantidades variam com o tipo de adubo nitrogenado aplicado. Assim, de acordo com MALAVOLTA (1981) e TERMAN (1979), nos adubos amoniacais o ânion complementar tem grande influência na perda de  $\text{NH}_3$ . Destaca-se a seguinte sequência de perdas de  $\text{NH}_3$ : uréia > sulfato de amônio > fosfato diamônico = nitrato de amônio > fosfato monoamônico. As perdas aumentam com a diminuição da solubilidade dos produtos da reação do adubo com o solo. Desta forma, as perdas menores, verificadas quando se aplicou fosfato monoamônico e polifosfato em cobertura, foram explicadas pela formação de produtos estáveis:  $\text{Ca}(\text{NH}_4)_2(\text{HPO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  e  $\text{Ca}(\text{NH}_4)_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , respectivamente.

No Brasil, ANJOS e TEDESCO (1976) estudaram a volatilização de amônia proveniente da uréia e do sulfato de amônio em solos cultivados do Rio Grande do Sul. A perda foi maior no caso da uréia, variando de 12 a 30%; porém, no caso do sulfato de amônio, as perdas variaram entre 0,5 e 1,1%. Em solo coberto com pastagem, a volatilização da uréia correspondeu a 14-26% do N aplicado, e em solo descoberto variou entre 22 e 27%.

Meelu e Gill, citados por MALAVOLTA (1981), atribuíram a bai

xa eficiência da uréia como fonte de N para o trigo, à perda da amônia por volatilização, devido à sua aplicação em cobertura.

LIBARDI e REICHARDT (1978), num estudo para avaliar o destino da uréia,  $\text{CO}(^{15}\text{NH}_2)_2$ , aplicada à cultura de feijão, num solo Oxíc Paleudalf (Terra Roxa Estruturada), encontraram que as perdas por volatilização do adubo aplicado (enterrado na parte superficial do solo) foram insignificantes.

Em resumo, de acordo com TERMAN (1979), as perdas de  $\text{N-NH}_3$  são, praticamente, eliminadas, em solos ácidos quando se colocam os adubos nitrogenados a, pelo menos, 5 cm de profundidade. As aplicações em superfície (cobertura) correm alto risco de perdas, especialmente em solos de baixa CTC, alto pH e baixa umidade. Nos solos alcalinos, a colocação do adubo abaixo da superfície, reduz, mas não elimina as perdas do nitrogênio ( $\text{N-NH}_3$ ).

#### 2.1.2.4. Extração e Exportação de Nitrogênio pelas Colheitas ( $\text{N}_c$ )

De acordo com AMARAL *et alii* (1980) e MALAVOLTA (1981), a "extração" significa a quantidade total do elemento acumulada na planta inteira, e "exportação" corresponde à fração do total contida no produto colhido. Normalmente, o não exportado fica no campo como resíduo da colheita.

Tal como se mencionou no item 2.1.1.1, as necessidades de nitrogênio pelas culturas estão muito relacionadas com a espécie vegetal (ou

variedade) e afetadas por fatores do clima e nível de tecnologia que repercutem decididamente no tamanho da colheita (ou produto exportado).

Analisando as informações de MALAVOLTA (1981) e SANCHEZ (1976), sobre extração e exportação de nutrientes pelas principais culturas tropicais, destaca-se que cada tonelada de grão de milho, arroz, trigo e sorgo produzida, a "perda" do N do solo varia entre 20 a 25 kg N/ha, sendo, normalmente, o milho e o sorgo os melhores "exportadores" de N, por suas altas produções. No caso dos tubérculos e raízes, as exportações de nitrogênio variam entre 3,8 a 5,4 kg N / t. Com as leguminosas de grão, as "perdas" variam de 32 a 40 kg N/t, e com as gramíneas forrageiras as exportações são de 10 a 14 kg N/t. O café e o cacauieiro exportam nos frutos ao redor de 17 e 20 kg N / t, respectivamente. A cultura de cana-de-açúcar exporta praticamente todo o N extraído (0,8 a 1,3 kg N/g), já que os restos dos colmos são eliminados durante a queima. O N contido nos resíduos das colheitas, com exceção das gramíneas forrageiras e da cana-de-açúcar, normalmente corresponde a 1,5 vezes o N exportado pelas colheitas.

De acordo com MALAVOLTA (1981), uma proporção muito grande do N extraído é exportada como produto colhido, o que parece ser uma característica comum dos macronutrientes aniônicos (N, P, S). Com os macronutrientes catiônicos (K, Ca, Mg), a maior parte do extraído permanece nos restos da cultura.

Em muitas situações, como na colheita manual do feijoeiro e outras culturas, as quantidades de nutrientes exportadas correspondem às extraídas, esgotando mais rapidamente o solo (GALLO e MIYASAKA, 1961).

Pelo fato de a extração dos elementos do solo variar com o desenvolvimento das culturas, é importante conhecer a cinética das necessidades ou a marcha de absorção do N (e dos demais elementos) para a adequada fertilização, no que diz respeito ao tempo ou época e à forma de aplicar o adubo mais convenientemente, para garantir a maior eficiência de seu aproveitamento (CALVACHE, 1981; GALLO e MIYASAKA, 1961; HAAG e MALAVOLTA, 1967; MALAVOLTA, 1981; MIKKELSEN e PATRICK, 1968; SAYRE, 1948).

Com respeito à marcha de absorção de N e à exigência do feijoeiro por este nutriente, GALLO e MIYASAKA (1961) encontraram que a máxima absorção de N pela planta ocorre durante o período crítico de crescimento das sementes, quando se intensifica a produção de carboidratos. Por este motivo, sugerem que aplicações tardias de N seriam convenientes, pois a adubação não interfere na fixação simbiótica do N. Ao que tudo indica, no entanto, a adubação é necessária, uma vez que a fixação simbiótica de N não é suficiente para suprir a necessidade nutricional da planta. Assim mesmo, informam que as vagens e as sementes apresentaram, durante o ciclo, maior concentração de N, P, K e S que no resto da cultura, e que a deficiência de P no solo afetou a absorção do nitrogênio. Os rendimentos variaram de 570 a 870 kg grão/ha, exportando de 20 a 60 kg N/ha.

HAAG e MALAVOLTA (1967) estudaram a marcha de absorção dos macronutrientes essenciais pela variedade chumbinho opaco, encontrando que o crescimento até os 20 dias foi bastante lento, intensificando-se aos 30 dias, e o máximo foi alcançado aos 50 dias de idade, sendo o N, o K e o Ca absorvidos até os 50 dias após a germinação. A extração de N foi de 201,2 kg N/ha para uma produção de 500 kg grão/ha e uma exportação de 14,3



kg N/ha.

MEIRELLES *et alii* (1980), usando sulfato de amônio (100 kg N/ha) marcado com  $^{15}\text{N}$ , com a cultivar rosinha, mostraram que a absorção máxima de N pela planta ocorreu aos 60 dias após a germinação, mas o máximo de eficiência de uso do fertilizante (30%) ocorreu aos 45 dias após a germinação, sugerindo que, após estes dias, não é conveniente a aplicação de N. NEPTUNE e MURAOKA (1978), trabalhando com uréia marcada com  $^{15}\text{N}$ , na variedade carioca, também encontraram seu melhor aproveitamento (11,24-35,7% do nutriente fornecido) antes ou durante a floração. Porém, MASCARENHAS *et alii* (1966) e KORNELIUS *et alii* (1976) não encontraram diferenças para doses e épocas de aplicação de nitrogênio sobre a produção de feijão.

Recentemente, AMARAL *et alii* (1980) estudaram as exigências dos macronutrientes principais de 90 variedades comerciais de feijão em soluções nutritivas, de cuja extrapolação para ha (250000 plantas), chegaram a determinar o potencial de colheita, variando de menos de 500 para 5000 kg grão/ha. A extração de N variou de 50 a 425 kg N/ha e a exportação como grão, de 25 a 90% do total. Em 78 das variedades, entre elas chumbinho e carioca, a exigência de N mostrada foi da ordem de 200 a 250 kg N/ha, e a exportação correspondeu a 150-200 kg N/ha. Os resultados destes últimos autores explicam, em parte, as hipóteses de que a baixa produção média nacional de feijão (em torno de 600 kg grão/ha) possa ser devida às seguintes causas: 1) pequeno potencial de colheita dos cultivares; 2) efeitos desfavoráveis do meio (baixa fertilidade do solo, condições adversas do clima, práticas culturais inadequadas, incidência de pragas e moléstias) e 3) combinações das duas causas anteriores. Poderiam também explicar os diferentes resultados encontrados nesta cultura, que podem, também, ser estendidos a outras plantas.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. O Local

A presente pesquisa foi desenvolvida em área representativa do município de Piracicaba. O campo experimental localiza-se junto ao Posto Agrometeorológico do Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", cujas coordenadas geográficas são 22°42'30" de latitude sul, e 47°38'00" de longitude oeste. A altitude é de 580 m acima do nível do mar.

As normais meteorológicas que caracterizam a área experimental são: 1247,1 mm.ano<sup>-1</sup> de precipitação pluviométrica, 20,8°C de temperatura média, 69% de umidade relativa do ar, 2,5 m.sec<sup>-1</sup> de velocidade do vento, e 6 horas.dia<sup>-1</sup> de insolação (CERVELLINI *et alii*, 1973).

As variações da temperatura (°C), precipitação (mm), irrigação (mm) e da evapotranspiração potencial (mm), durante o desenvolvimento da cultura, no presente experimento, são apresentadas na Figura 1.

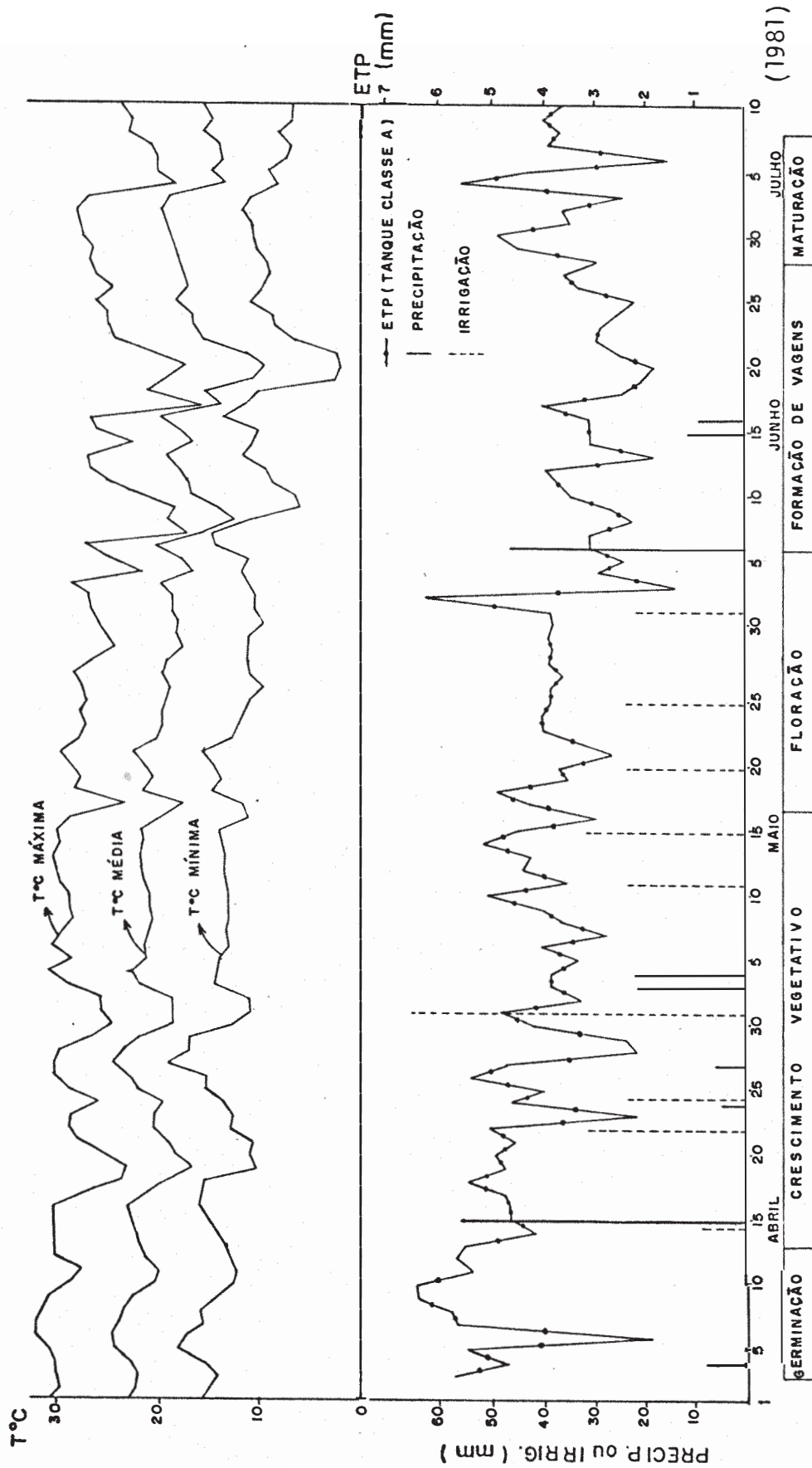


FIGURA 1 - Variação da temperatura (°C), precipitação, irrigação e da evapotranspiração potencial (ETP), durante o desenvolvimento da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.).

## 3.2. O Solo

### 3.2.1. Classificação

O solo, no qual foi feita a presente pesquisa, foi identifi-  
cado como Terra Roxa Estruturada (TRE) pela Comissão de Solos do Serviço  
Nacional de Pesquisa Agronômica - M.A. (1960). De acordo com RANZANI *et alii*  
(1966), o solo da área experimental pertence à série "Luiz de Queiroz" e,  
pelo sistema americano de classificação (USDA, 1975), está dentro da or-  
dem dos Alfisols, sendo, mais precisamente, um Paleudalf óxico.

É, pois, um Alfisol com horizonte B textural desenvolvido,  
caracterizando-se por ser a caolinita o mineral de argila predominante na  
fração argila isenta de óxidos de ferro livre (MARCOS, 1971; MONIZ e JACK-  
SON, 1967).

A Terra Roxa Estruturada representa cerca de 1,1% dos solos  
do Estado de São Paulo, e cerca de 6,1% das áreas do município de Piraci-  
caba (RANZANI *et alii*, 1966).

### 3.2.2. Caracterização Física

Para minimizar ao máximo a variabilidade espacial natural  
das características físicas dos solos (NIELSEN *et alii*, 1963; REICHARDT *et*  
*alii*, 1976), suas determinações foram feitas em amostras tomadas o mais pró-  
ximo possível da parcela experimental.

Assim, de uma trincheira aberta perto da parcela experimen-  
tal, foram retiradas amostras com estrutura indeformada a cada 15 cm de pro-

fundidade, até 120 cm, com 10 repetições, para determinar a densidade global do solo ( $\text{g.cm}^{-3}$ ), pelo método do anel volumétrico (BUCKMAN e BRADY, 1969). O conhecimento desta característica ao longo do perfil do solo foi necessário para melhor estimar a massa de solo contida em cada uma de suas camadas e de algumas características que dela dependem.

Para a análise da composição granulométrica nas diferentes camadas do perfil do solo, foram coletadas amostras de cada camada, nas quais foram feitas as determinações pelo método da pipeta, descrito por KILMER e ALEXANDER (1949). A distribuição por tamanho de partículas e a classificação textural foi feita de acordo com o sistema do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América do Norte (BUCKMAN e BRADY, 1969).

Estes resultados são apresentados na Tabela 1, onde se observa que o solo é argiloso e que na fração argila da camada superficial (0-15 cm), mais de 50% destas partículas foram dispersas em água, do que se deduz dever estar o pH acima do ponto de carga zero, favorecendo uma maior densidade de cargas negativas e, desta forma, uma alta retenção (baixa lixiviação) dos cátions fornecidos ( $\text{NH}_4^+$ , por exemplo).

### 3.2.3. Caracterização Química

No presente estudo, também foram determinadas algumas características químicas ou físico-químicas do solo, em amostras das diferentes camadas do perfil, antes da semeadura, para determinar necessidades nutricionais ou corretivas para o estabelecimento da cultura.

A reação do solo (pH) foi determinada potenciométricamente em suspensão (1:1) de solo com água; o carbono orgânico, pelo método de Walkley e Black, como descrito por JACKSON (1976); o N total, pelo método semi-micro-Kjeldahl, descrito por BREMNER (1965a); fósforo solúvel, pelo método fotocolorimétrico após extração com  $H_2SO_4$  0,05N; potássio e sódio trocável foram determinados por fotometria de chama, após extração com solução de HCl 0,05N; cálcio e magnésio trocáveis foram determinados por espectrometria de absorção atômica após extração com uma solução de KCl 1N; o alumínio trocável, por titulação com solução NaOH 0,02N, após extração com solução de KCl 1N; e o hidrogênio titulável, titulado com NaOH 0,02N, após extração com acetato de cálcio 1N, ajustado a pH 7,0. A capacidade de troca catiônica efetiva resultou da soma dos cátions trocáveis analisados. Detalhes da metodologia das análises de fósforo solúvel e de cátions trocáveis são descritas por CATANI e JACINTHO (1974) e GLÓRIA *et alii* (1965).

Os resultados destas análises, são apresentadas na Tabela 1.

Da interpretação destes resultados, deduz-se que o solo apresenta reação ácida (pH < 5,6), com alta acidez trocável, especialmente na camada 15-30 cm, a qual pode dificultar o desenvolvimento da cultura, afetando a nutrição cálcica. O teor de fósforo solúvel é médio, e o teor de potássio trocável foi alto. Das relações catiônicas das bases (BUCKMAN e BRADY, 1969), deduz-se que o solo pode se comportar como deficiente em cálcio e magnésio na camada de 15-30 cm, embora seus teores sejam médios. O solo apresenta nas camadas superficiais (0-45 cm) teores médios em nitrogênio total, resultando em baixas relações C/N, uma vez que o solo apresen

TABELA 1 A - Resultados das análises de algumas características físicas do perfil do solo em estudo.

| Profund.<br>(cm) | Análise Mecânica (mm) (%) |                   |                     |                     |                             |                   |              |          |                        |        | Classe<br>Textu-<br>ral | Densidade<br>Global<br>(g. cm <sup>-3</sup> ) |
|------------------|---------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------|--------------|----------|------------------------|--------|-------------------------|---|
|                  | Areia                     |                   |                     | Limo                |                             |                   | Argila       |          |                        |        |                         |   |
|                  | Muito<br>Grossa<br>(2-1)  | Grossa<br>(1-0,5) | Média<br>(0,5-0,25) | Fina<br>(0,25-0,10) | Muito<br>Fina<br>(0,1-0,05) | Total<br>(2-0,05) | (0,05-0,002) | (<0,002) | Disp.<br>em<br>Água 1/ |        |                         |   |
| 0- 15            | 0,3                       | 1,1               | 5,6                 | 14,6                | 5,7                         | 27,3              | 26,2         | 46,5     | 26,2                   | Argila | 1,434±0,043             |   |
| 15- 30           | 0,4                       | 1,1               | 4,7                 | 12,9                | 6,0                         | 25,1              | 21,8         | 53,1     | 1,6                    | Argila | 1,376±0,079             |   |
| 30- 45           | 0,2                       | 0,8               | 4,2                 | 11,8                | 4,8                         | 21,8              | 20,4         | 57,8     | 1,8                    | Argila | 1,339±0,030             |   |
| 45- 60           | 0,2                       | 0,8               | 4,1                 | 11,6                | 5,4                         | 22,1              | 18,3         | 59,6     | 1,0                    | Argila | 1,314±0,049             |   |
| 60- 75           | 0,3                       | 0,9               | 4,2                 | 11,1                | 5,4                         | 21,9              | 18,7         | 59,4     | 1,2                    | Argila | 1,195±0,045             |   |
| 75- 90           | 0,2                       | 0,9               | 4,1                 | 11,6                | 6,2                         | 23,0              | 17,8         | 59,2     | 1,1                    | Argila | 1,195±0,036             |   |
| 90-105           | 0,3                       | 1,0               | 4,3                 | 11,4                | 5,7                         | 22,7              | 19,3         | 58,0     | 1,0                    | Argila | 1,159±0,016             |   |
| 105-120          | 0,2                       | 0,9               | 4,0                 | 11,7                | 5,7                         | 22,5              | 19,5         | 58,0     | 1,3                    | Argila | 1,104±0,068             |   |

TABELA 1 B - Resultados das análises de algumas características químicas do perfil do solo em estudo.

| Profund.<br>(cm) | pH<br>(1:1) | C.Org.<br>(%) | M.Org.<br>(%) | N.T.<br>(%) | C/N | Ions Trocáveis (meq/100 g solo) |                  |                  |                |                 |                  | Bases<br>(%) | OBSER-<br>VAÇÕES<br>(Def.<br>Relat.) |                |        |
|------------------|-------------|---------------|---------------|-------------|-----|---------------------------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|------------------|--------------|--------------------------------------|----------------|--------|
|                  |             |               |               |             |     | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>   | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | Al <sup>3-</sup> |              |                                      | H <sup>+</sup> | CTC    |
| 0- 15            | 5,6         | 0,78          | 1,34          | 0,108       | 7,1 | 0,13                            | 2,65             | 1,66             | 0,68           | 0,10            | 0,12             | 3,68         | 8,89                                 | 57,3           | Ca     |
| 15- 30           | 4,7         | 0,66          | 1,14          | 0,112       | 5,9 | 0,09                            | 1,20             | 0,65             | 0,76           | 0,07            | 0,60             | 5,44         | 8,72                                 | 30,7           | Ca, Mg |
| 30- 45           | 5,1         | 0,42          | 0,72          | 0,094       | 4,5 | 0,08                            | 2,36             | 0,99             | 0,48           | 0,05            | 0,09             | 3,20         | 7,25                                 | 54,6           | Ca     |
| 45- 60           | 5,4         | 0,27          | 0,46          | 0,056       | 4,8 | 0,08                            | 2,40             | 0,99             | 0,40           | 0,05            | 0,09             | 2,72         | 6,65                                 | 57,7           | Ca     |
| 60- 75           | 5,6         | 0,33          | 0,57          | 0,056       | 5,4 | 0,06                            | 2,65             | 1,02             | 0,28           | 0,04            | 0,08             | 2,40         | 6,47                                 | 61,7           | Ca     |
| 75- 90           | 5,7         | 0,28          | 0,41          | 0,056       | 5,2 | 0,04                            | 2,80             | 1,04             | 0,20           | 0,04            | 0,09             | 2,16         | 6,33                                 | 64,4           | Ca, K  |
| 90-105           | 5,4         | 0,30          | 0,52          | 0,056       | 5,4 | 0,07                            | 3,04             | 0,96             | 0,16           | 0,02            | 0,08             | 2,32         | 6,58                                 | 63,5           | Ca, K  |
| 105-120          | 5,4         | 0,24          | 0,41          | 0,053       | 4,5 | 0,06                            | 2,96             | 1,04             | 0,14           | 0,02            | 0,08             | 2,32         | 6,56                                 | 63,4           | Ca, K  |



ta baixo teor em carbono orgânico. A baixa relação C/N indica, de acordo com MALAVOLTA (1976), uma alta mineralização do nitrogênio orgânico do solo e muito baixa imobilização do nitrogênio aplicado.

Pelos resultados, recomenda-se aplicações de fósforo, usando fontes cálcicas, como por exemplo, superfosfato simples (18 %  $P_2O_5$ , 26% CaO). Para a adubação nitrogenada no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.), recomenda-se aplicações médias deste nutriente (VIEIRA, 1974).

### 3.3. Parcela Experimental

A parcela experimental constou de uma área de  $100 \text{ m}^2$  (10m x 10m), na qual foi demarcada, na parte central, uma área de 5m x 5m, para aplicação do fertilizante nitrogenado  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , enriquecido com  $56,111 \pm 1,431$  % de átomos de  $^{15}\text{N}$ , para o estudo da dinâmica do nitrogênio-fertilizante na planta e no solo, durante o desenvolvimento da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.). A área ao redor da parte central da parcela foi considerada como bordadura; nesta foi aplicada, como fonte de nitrogênio, sulfato de amônio comercial não enriquecido com  $^{15}\text{N}$  (0,365 % de átomos de  $^{15}\text{N}$ ).

A área que rodeava a parcela experimental foi considerada como testemunha para a adubação nitrogenada.

A Figura 2 ilustra a distribuição dos extratores de solução do solo, utilizados no presente experimento e a cabina de controle onde se encontram (a) os tubos de ensaio que recebem as amostras de solução, e (b)



a bomba de vácuo para extração da solução.

### 3.4. Unidades Extratoras da Solução do Solo

A fim de estudar o movimento de N na fase líquida no perfil do solo, para estimar as perdas por drenagem, foram instalados 12 amostradores de solução do solo, em triplicata, nas profundidades 45, 75, 105 e 135 cm.

Os amostradores consistem de tubos de PVC, de diâmetro externo de 21 mm, e interno de 15 mm, e comprimento variável, de acordo com as profundidades desejadas. A parte inferior de cada tubo tem colada uma cápsula porosa de porcelana, e da parte superior saem dois tubos de "nylon" de 2 mm de diâmetro interno: a) um parte internamente desde a cápsula e sai a 5 cm da parte superior do tubo de PVC (colocada a 20 cm abaixo da superfície), ficando, portanto, 25 cm abaixo da superfície do solo e seguindo nesta profundidade até a cabina de controle, onde é conectado mediante uma rolha de borracha a um tubo de ensaio, coletor de amostras; b) o outro capilar de "nylon" sai do extremo superior do tubo de PVC e chega a uma linha de vácuo comum a todos os extratores, que também, mediante um capilar, chega até a cabina de controle, onde, por meio de uma rolha de borracha, foi conectada a uma bomba de vácuo de capacidade de -1 bar.

Para a instalação dos extratores da solução do solo, retirou-se a camada superficial de 25 cm do solo da área central (5m x 5m) da parcela experimental e, após, voltou-se o solo à sua posição original; isto foi feito com a finalidade de facilitar as operações de cultivo e evi-

tar o problema da infiltração preferencial da água pelas paredes dos tubos de PVC destes instrumentos.

Maiores detalhes acerca destes instrumentos são apresentados na Figura 3.

Na amostragem, foi feito vácuo de -750 milibar, durante duas horas, a cada cinco a oito (dependendo da umidade do solo), segundo a metodologia descrita por MEIRELLES (1979), NIELSEN e BIGGAR (1976), REEVE e DOERING (1965) e REICHARDT *et alii* (1977). Foi necessário o auxílio de tensiômetros para determinar o momento de amostragem, pois esta operação sempre foi feita quando o solo a 30 cm estava úmido (potencial matricial maior de -0,75 bar). Com a aplicação do vácuo, a solução do solo entra dentro da cápsula porosa, ao mesmo tempo em que o tubo de ensaio é evacuado. Desconectando-se a fonte de vácuo (entrada de pressão atmosférica), a solução acumulada na cápsula desloca-se para o tubo de ensaio coletor, devido à diferença de pressão entre a solução na cápsula e o tubo de ensaio no momento da desconexão.

### 3.5. Cultura

A cultura utilizada foi o feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*, L.), cultivar carioca, a qual foi selecionada por sua precocidade (90 a 100 dias) e por ser geneticamente produtiva, relativamente tolerante às flutuações de temperatura e precipitação, e pouco susceptível a algumas moléstias comuns no estado de São Paulo (MIYASAKA *et alii*, s.d.p.).

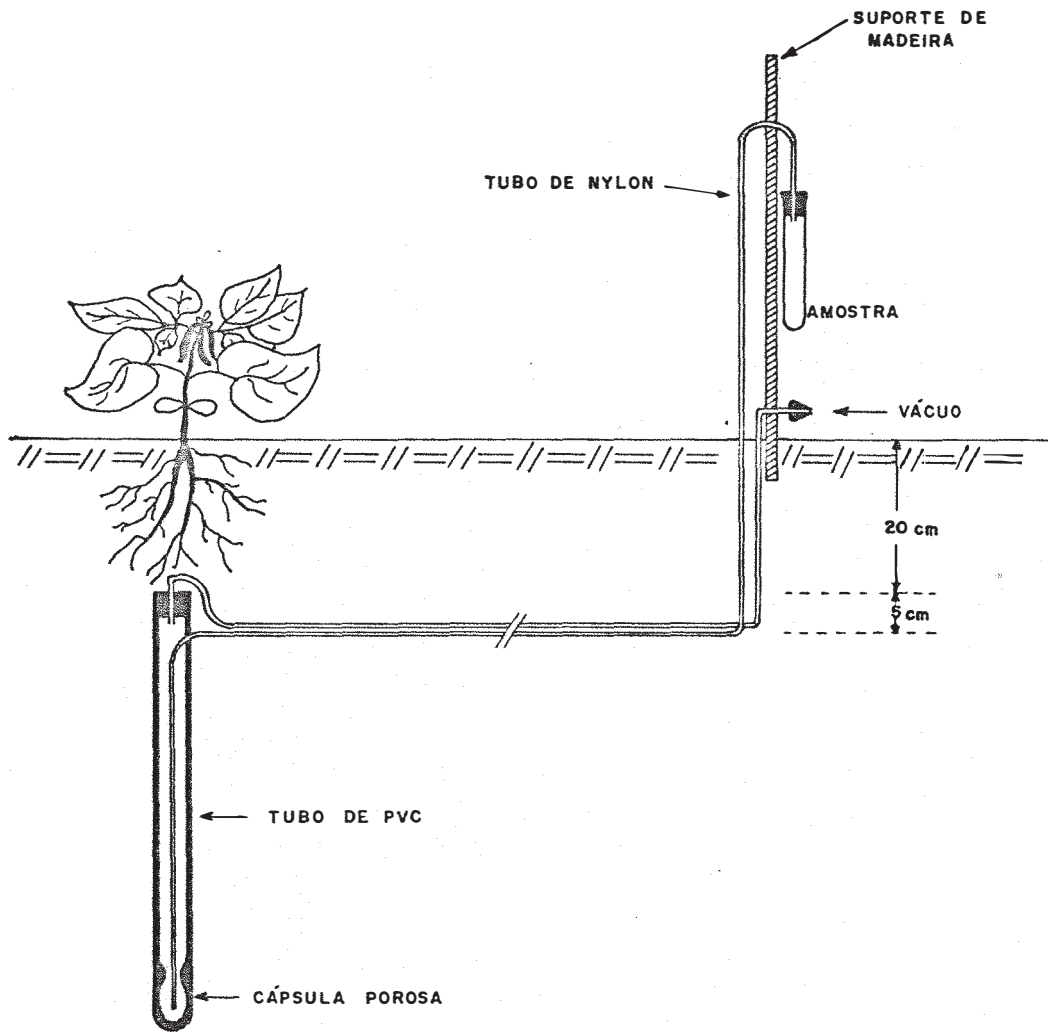


FIGURA 3 - Sistema de amostragem da solução do solo.

### 3.6. Adubação

A adubação foi feita de acordo com os resultados das análises do solo.

No que diz respeito ao nitrogênio, foram aplicados 42 kg N/ha na forma de sulfato de amônio, sendo que o adubo aplicado na área central (5m x 5m) da parcela experimental tinha alta concentração em  $^{15}\text{N}$  ( $56,476 \pm 1,431\%$  de átomos de  $^{15}\text{N}$ ), enquanto que o aplicado na área restante, concentração natural em  $^{15}\text{N}$  ( $0,365\%$  de átomos de  $^{15}\text{N}$ ). A área ao redor da parcela experimental não foi adubada com nitrogênio, pelo que foi considerada como testemunha. O adubo empregado como fonte de N não tem apresentado diferenças em relação aos outros adubos nitrogenados, em vários experimentos feitos com o feijoeiro (MIYASAKA *et alii*, 1963; REIS *et alii*, 1972).

Com referência à adubação fosfatada, aplicaram-se 150 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$ /ha, na forma de superfosfato simples (18%  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 26% CaO).

Não foi feita adubação potássica, porque o solo apresentou alto teor deste nutriente (Ver Tabela 1B).

### 3.7. Delineamento Experimental

Os tratamentos básicos de adubação foram dois: NP e e, além disso, cinco épocas de amostragem (de plantas e solo) durante o desenvolvimento da cultura.

As épocas de amostragem foram:  $E_1 = 6$ ;  $E_2 = 26$ ;  $E_3 = 46$ ;

$E_4 = 66$  e  $E_5 = 86$  dias após a germinação (D.A.G.).

Os efeitos destes tratamentos foram analisados estatisticamente, segundo o desenho completamente ao acaso, em arranjo fatorial, com três repetições (PIMENTEL GOMES, 1970).

### 3.8. Implantação da Cultura

O solo foi preparado da maneira convencional (aração, gradeação, etc). A seguir, os sulcos foram demarcados, tal como se indica na Figura 2. O espaçamento utilizado foi de 0,40m entre linhas e 0,20m entre covas (MIYASAKA *et alii*, s.d.p.; VIEIRA, 1974).

A semeadura foi feita no dia 03/04/1981, colocando-se quatro sementes em cada cova, a 3 cm de profundidade. As sementes foram previamente tratadas, para prevenir o ataque de fungo. Seis dias após a germinação, foi feito o desbaste, deixando-se apenas duas plantas por cova.

A adubação fosfatada foi aplicada na semeadura, no fundo do sulco, aproximadamente a 10 cm abaixo e 5 cm ao lado das sementes. Nesta adubação foi empregado superfosfato simples de cálcio (18%  $P_2O_5$ ).

No que diz respeito à adubação nitrogenada, foi feita em duas aplicações: os primeiros 1/3 da dose foram aplicados aos seis dias após a germinação, no desbaste; os 2/3 restantes, aos 26 D.A.G. O fracionamento da adubação nitrogenada foi feita com base nos resultados obtidos por MASCARENHAS *et alii* (1966); MEIRELLES *et alii* (1980); MIYASAKA *et alii* (1963) e NEPTUNE e MURAOKA (1978). O adubo foi enterrado em sulcos de 5 cm de profundidade abertos a 10 cm da linha de plantas

Irrigação suplementar foi necessária. O momento da irrigação era indicado por tensiômetros auxiliares. Sua aplicação foi por aspersão controlada, quando a umidade do solo aos 30 cm de profundidade encontrava-se com potencial matricial de  $-0,7$  atm.

Controle entomológico só foi efetuado quando apareceram as pragas *Diabrotica* e Afídeos nos primeiros 20 dias da cultura. Aplicou-se Folidol em duas ocasiões.

Nos primeiros 20 dias, a cultura apresentou, visivelmente, deficiência de manganês, daí terem sido feitas duas aplicações foliares de  $MnSO_4 \cdot H_2O$  a 0,3%. Isto foi suficiente para eliminar os sintomas dessa deficiência.

### 3.9. Análise do Material Vegetal

#### 3.9.1. Preparação das Amostras

Foram feitas amostragens de plantas (ou órgãos) de três covas cada vez, em cinco estádios da cultura. Estas amostras foram coletadas ao acaso, na parte central da parcela experimental e daquela considerada como testemunha. O material colhido foi inicialmente lavado com água de torneira, depois com solução de HCl 0,02N e, finalmente, com água destilada duas vezes. A seguir, os tecidos foram colocados em sacos de papel e secado em estufa a  $60^{\circ}C$  até peso constante (48 horas). Após, foram pesados e moídos no moinho Wiley, até passarem por peneira 60.

Nas amostras de plantas assim tratadas, foram feitas as análises



lises de N total (NTP) e da composição isotópica do nitrogênio.

### 3.9.2. Análise do Nitrogênio Total na Planta (NTP)

Estas análises foram feitas pelo método semi-microkjeldahl, com digestão de 100 mg do material com solução digestora de ácido sulfúrico e posterior destilação e titulação com soda (NaOH), de acordo com a metodologia descrita por BREMNER (1965a).

As quantidades de nitrogênio total extraídas pelas plantas (ou órgãos) (QNTP), nas diferentes épocas de seu desenvolvimento, foram calculadas pela seguinte expressão:

$$QNTP = \frac{\% NTP \times M.V.S.}{100} \dots\dots\dots (3)$$

sendo: % NTP = porcentagem de nitrogênio total na planta;

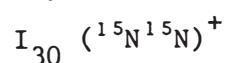
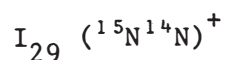
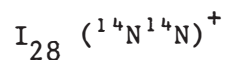
M.V.S. = rendimento de material vegetal seco, em kg/ha.

### 3.9.3. Determinação da Relação Isotópica ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ) na Planta

Para as análises da composição isotópica do nitrogênio contido nas amostras, estas foram processadas de acordo com o método de Dumas modificado (PROKSCH, 1969), para produzir o  $\text{N}_2$ , cuja composição isotópica foi determinada no espectrômetro de massa Atlas-Variant, modelo CH-4, pertencente ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (USP).

Os resultados da composição isotópica do  $\text{N}_2$  foram obtidos

num diagrama de picos, correspondentes às correntes de íons de número de massa 28, 29 e 30:



Com as intensidades (I) dos picos (I = altura do pico em mm x sensibilidade em volts), foram calculadas as concentrações percentuais de átomos de  $^{15}\text{N}$ , de acordo com a seguinte equação:

$$\% \text{ Át. } ^{15}\text{N} = \frac{I_{28} + 2 I_{30}}{2 I_{28} + 2 I_{29} + 2 I_{30}} \times 100 \quad \dots\dots (4)$$

A equação (4) expressa a concentração percentual de átomos de  $^{15}\text{N}$  em relação ao total de átomos de N contido na amostra. Pode, também, ser escrita da seguinte forma:

$$\% \text{ Át. } ^{15}\text{N} = \frac{n^{\circ} \text{ átomos } ^{15}\text{N}}{n^{\circ} \text{ átomos } ^{14}\text{N} + n^{\circ} \text{ átomos } ^{15}\text{N}} \times 100 \quad \dots\dots (5)$$

Desta forma, encontrou-se que a porcentagem de átomos de  $^{15}\text{N}$  nas amostras de plantas sem adubação nitrogenada (abundância natural de  $^{15}\text{N}$ ) foi de 0,371 ( $\pm 0,002$ ) %.

Cálculos sobre a composição isotópica de amostras de N po-

dem ser vistos em detalhe em BREMNER (1965b) e TRIVELIN *et alii* (1973).

### 3.9.4. Cálculo do Nitrogênio na Planta Proveniente do Fertilizante

#### 3.9.4.1. Teor de Nitrogênio na Planta Proveniente do Fertilizante

A porcentagem de nitrogênio na planta (ou órgãos) proveniente do fertilizante (% NPPF) foi determinada em quatro épocas do desenvolvimento da cultura.

Este parâmetro foi calculado através da seguinte equação (TRIVELIN *et alii*, 1973; VOSE, 1980):

$$\% \text{ NPPF} = \frac{\% \text{ \AA t. } ^{15}\text{N em excesso na planta (ou \AA rg\AA os)}}{\% \text{ \AA t. } ^{15}\text{N em excesso no fertilizante}} \times 100 \quad \dots\dots (6)$$

onde: % \AA t. <sup>15</sup>N em excesso na planta = % \AA t. <sup>15</sup>N na planta-abundância natural de <sup>15</sup>N (0,371% \AA t. <sup>15</sup>N);

$$\begin{aligned} \% \text{ \AA t. } ^{15}\text{N em excesso no fertilizante} &= \% \text{ \AA t. } ^{15}\text{N no fertilizante-abund\AA ncia natural de } ^{15}\text{N (0,365\%)} \\ &= 56,476\% - 0,365\% \\ &= 56,111\% \end{aligned}$$

A quantidade de nitrogênio na planta (ou órgãos) proveniente do fertilizante (QNPPF) foi calculada através da seguinte equação:

$$\text{QNPPF} = \frac{\% \text{ NPPF} \times \text{QNTP}}{100} \quad \dots\dots\dots (7)$$

onde: QNTP = quantidade de nitrogênio total, extraída pela planta (ou órgão), em kg/ha.

### 3.9.4.2. Eficiência de Utilização do Fertilizante Nitrogenado (EUFN)

A eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pela planta (ou órgãos) foi calculada nas cinco épocas do desenvolvimento da cultura, de acordo com a expressão seguinte:

$$EUFN = \frac{QNPPF}{QNA} \times 100 \dots\dots\dots (8)$$

onde: QNPPF = quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante, em kg/ha;

QNA = quantidade de nitrogênio aplicada à cultura, em kg/ha.

## 3.10. Dinâmica do Nitrogênio no Perfil do Solo

### 3.10.1. Amostragem do Solo

As amostras de solo foram coletadas das camadas 0-15, 15-30, 30-45, 45-60, 60-75, 75-90, 90-105 e 105-120 cm, nos mesmos dias e nos mesmos lugares das amostragens das plantas, empregando um trado de caneca, de 2,5 polegadas de diâmetro interno. A amostragem foi feita em triplicata, para análise do teor (%) de nitrogênio total e da composição isotópica ( $^{14}\text{N}$ - $^{15}\text{N}$ ) do nitrogênio extraído.

### 3.10.2. Análise do N Total no Solo

O teor (%) de N total no solo (NTS) foi determinado em dois gramas de terra fina seca ao ar (TFSA), pelo método semi-microkjeldahl, de acordo com a técnica descrita por BREMNER (1965a).

A quantidade de nitrogênio total contida em cada camada do perfil do solo (QNTS), em cada época de amostragem, foi calculada pela seguinte expressão:

$$QNTS = \frac{\% NTS \times M.SOLO}{100} \dots\dots\dots (9)$$

onde: % NTS = porcentagem de N total no solo;

M.SOLO = massa de solo contida em cada camada do perfil, em kg/ha.

### 3.10.3. Determinação da Relação Isotópica ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ) do N no Solo

As análises da composição isotópica ( $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ ) do nitrogênio do solo foram feitas no destilado final obtido na determinação do teor (%) do nitrogênio total.

O processamento seguido nas amostras para a produção de  $\text{N}_2$ , foi de acordo com o método de Rittenberg, citado por TRIVELIN *et alii* (1973); a seguir, o processo foi similar ao utilizado para a análise das plantas.

Desta forma, a concentração (%) de átomos de  $^{15}\text{N}$  no N do solo foi calculada, também, pela equação (4).

Nas amostras de solo que não tinham recebido adubo nitrogenado marcado, a porcentagem de átomos de  $^{15}\text{N}$  (abundância natural de  $^{15}\text{N}$ ) teve um valor médio de  $0,371 \pm 0,002 \%$ .

### 3.10.4. Cálculo do Nitrogênio no Solo Proveniente do Fertilizante (NSPF)

A porcentagem de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante (% NSPF) foi determinada para as diferentes profundidades do perfil do solo em quatro épocas de desenvolvimento da cultura. Este parâmetro foi calculado através da seguinte expressão:

$$\% \text{ NSPF} = \frac{\% \text{ \AA t. } ^{15}\text{N} \text{ em excesso no solo}}{\% \text{ \AA t. } ^{15}\text{N} \text{ em excesso no fertilizante}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (10)$$

sendo:  $\% \text{ \AA t. } ^{15}\text{N}$  em excesso no solo =  $\% \text{ \AA t. } ^{15}\text{N}$  no solo - abundância natural de  $^{15}\text{N}$  ( $0,371\% \text{ \AA t. } ^{15}\text{N}$ );

$$\begin{aligned} \% \text{ \AA t. } ^{15}\text{N} \text{ em excesso no fertilizante} &= \% \text{ \AA t. } ^{15}\text{N} \text{ no fertilizante} - \text{abundância natural de } ^{15}\text{N} \text{ no fertilizante} \\ &= 0,365\% - 0,365\% \\ &= 56,476\% - 0,365\% \\ &= 56,111\%. \end{aligned}$$

A quantidade de nitrogênio nas diversas profundidades do solo proveniente do fertilizante (QNSPF), foi calculada por

$$\text{QNSPF} = \frac{\% \text{ NSPF} \times \text{QNTS}}{100} \quad \dots\dots\dots (11)$$

onde os elementos desta expressão já foram descritos anteriormente.

### 3.11. O Nitrogênio na Solução do Solo

A fim de se obter uma estimativa das possíveis perdas de nitrogênio do perfil do solo por lixiviação, avaliou-se a concentração média de nitrogênio total e proveniente do fertilizante nas amostras da solução do solo extraídas das profundidades de 45, 75, 90 e 105 cm. As amostras foram acumuladas durante períodos de 20 dias (entre as épocas de amostragem de plantas e solo), dando volumes de pelo menos 50 ml, quantidades necessárias para as análises mencionadas.

O teor (ppm) de nitrogênio total na solução do solo foi determinado segundo o método de BREMNER (1965a), através do qual todo o nitrogênio combinado presente na solução foi transformado (reduzido) a amônia ( $N-NH_3$ ), usando liga Devarda, a qual era destilada pela ação do óxido de magnésio. O destilado foi recebido em 5 ml de  $H_2SO_4$  0,1N e, após, titulado com NaOH 0,05N, para determinar a concentração de N na amostra.

A solução final do procedimento anterior foi empregada para as análises da composição isotópica ( $^{14}N-^{15}N$ ) do N na solução do solo, sendo que para estas análises, as amostras foram processadas de acordo com o método de Rittenberg, citado por TRIVELIN *et alii* (1973). A composição isotópica ( $^{14}N-^{15}N$ ) do  $N_2$  produzido, foi determinada por espectrometria de massa, segundo a metodologia descrita por BREMNER (1965b).

A porcentagem de nitrogênio na solução do solo proveniente

do fertilizante (NSSPF) foi calculada pela seguinte equação:

$$\% \text{ NSSPF} = \frac{\% \text{ \AA t. } ^{15}\text{N em excesso na solu\~{c}\~{a}o do solo}}{\% \text{ \AA t. } ^{15}\text{N em excesso no fertilizante}} \times 100 \quad \dots (12)$$

sendo: % \AA t.  $^{15}\text{N}$  em excesso na solu\~{c}\~{a}o do solo = % \AA t.  $^{15}\text{N}$  na solu\~{c}\~{a}o do solo - abund\~{a}ncia natural de  $^{15}\text{N}$  na solu\~{c}\~{a}o do solo (0,371%);

% \AA t.  $^{15}\text{N}$  em excesso no fertilizante = 56,111% \AA tomos de  $^{15}\text{N}$ .

### 3.12. Balan\~{c}o do Nitrog\~{e}nio no Sistema Solo-Planta

No item 2.1 foram mencionados os elementos que influem no balan\~{c}o de massa do nitrog\~{e}nio no sistema solo-planta.

Para as condi\~{c}\~{o}es do presente trabalho, alguns destes elementos podem n\~{a}o ser considerados, por serem quantitativamente desprez\~{i}veis. Estes elementos s\~{a}o: fixa\~{c}\~{a}o biol\~{o}gica do nitrog\~{e}nio ( $N_{fb}$ ), entrada de N pelas chuvas ( $N_{ch}$ ), perdas por defl\~{u}vio superficial ( $N_d$ ) e volatiliza\~{c}\~{a}o do nitrog\~{e}nio do sistema.

Em condi\~{c}\~{o}es similares \~{a} presente pesquisa, LIBARDI e REICHARDT (1978) encontraram que a fixa\~{c}\~{a}o simbi\~{o}tica de nitrog\~{e}nio no feij\~{o}eiro foi desprez\~{i}vel, devido ao teor m\~{e}dio do nitrog\~{e}nio presente no solo e a aduba\~{c}\~{a}o com este nutriente, que, segundo numerosos autores, reduzem a



fixação simbiótica de nitrogênio (ANDREW, 1978; EPSTEIN, 1975; NUTMAN, 1975 e RUSSEL, 1973). A fixação assimbiótica de nitrogênio é, normalmente, mais baixa.

A contribuição das chuvas pode ser desprezada pelo fato de, durante o desenvolvimento da cultura, elas terem tido pouco significado (Figura 1).

As perdas de nitrogênio por deflúvio superficial também são consideradas, praticamente, nulas nas condições da presente pesquisa, visto que o solo tinha um declive menor que 3% e, nestas condições, as perdas são mínimas durante o curto tempo da cultura (BERTONI *et alii*, 1972; NYE e GREENLAND, 1960). DE BOODT *et alii* (1979) consideram que o nitrogênio é o nutriente menos perdido por deflúvio superficial, dado a sua alta mobilidade no perfil do solo.

No que diz respeito às perdas por volatilização, estas podem ser desprezadas, porque não ocorreram no presente trabalho as condições necessárias para que estas perdas ocorram (GASSER, 1964; MALAVOLTA, 1981; TERMAN, 1979; WETSELAAR e FARQUHAR, 1980).

Desta forma, a equação geral do balanço de nitrogênio no sistema solo-planta (equação 2), reduz-se para

$$\Delta N = N_f - N_c - N_1 \dots\dots\dots (13)$$

sendo:  $\Delta N$  = variação de armazenagem de N no perfil do solo durante a cultura;

$N_f$  = quantidade de nitrogênio aplicada;

$N_c$  = quantidade extraída pela colheita;

$N_l$  = quantidade de nitrogênio lixiviada.

Na realidade, a equação (13) corresponde ao balanço do nitrogênio aplicado como fertilizante (entrada ou ganho de N), estando implícito o nitrogênio inicial do solo. Quando o fertilizante aplicado é marcado (como em nosso caso), pode-se fazer balanços independentes das fontes de nitrogênio mencionadas.

### 3.13. Parâmetros Avaliados

#### 3.13.1. Na Planta

- rendimento de matéria seca nas diferentes partes da planta (kg/ha), em cinco épocas do desenvolvimento da cultura;
- teor (%) de nitrogênio na matéria seca, nas diferentes partes da planta, em cinco épocas do desenvolvimento da cultura;
- quantidade de N total absorvido pelas diferentes partes da planta (kg/ha), em cinco épocas do desenvolvimento da cultura;
- porcentagem de N nas diferentes partes da planta, proveniente do fertilizante, em quatro épocas do desenvolvimento

to da cultura;

- quantidade de N nas diferentes partes da planta, proveniente do solo e do fertilizante (kg/ha), em quatro épocas do desenvolvimento da cultura;
- eficiência de utilização do fertilizante pelas diferentes partes da planta (%), em quatro épocas do desenvolvimento da cultura.

### 3.13.2. No Solo

- teor (%) de nitrogênio total no perfil do solo, em cinco épocas do desenvolvimento da cultura;
- quantidade de nitrogênio total nas diferentes camadas do perfil (kg/ha), em cinco épocas do desenvolvimento da cultura;
- quantidade de nitrogênio nas diferentes camadas do perfil, proveniente do fertilizante aplicado (kg/ha), em quatro épocas do desenvolvimento da cultura;
- concentração de nitrogênio total e proveniente do fertilizante na solução do solo (ppm), em cinco épocas do desenvolvimento da cultura.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Rendimento de Matéria Seca

Na Tabela 2 são apresentados os resultados de rendimento médio (kg/ha) de matéria seca dos diferentes órgãos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*; L.), em cinco épocas do desenvolvimento da cultura, em função da adubação nitrogenada (42 kg N/ha). Inclui-se o resumo das análises estatísticas respectivas.

Observa-se que a adubação nitrogenada foi altamente significativa, aumentando o rendimento de todas as partes da planta, menos das raízes. O incremento foi maior para as vagens, cujo rendimento variou, em média (quarta e quinta épocas), de 614,58 kg/ha para 1898,54 kg/ha, resultando um desvio porcentual relativo de 209%. Para a parte aérea (ramos+folhas), este desvio foi da ordem de 22%, variando de 1197,81 para 1462,08 kg/ha. Deduz-se, portanto, que o efeito significativo ( $p = 0,01$ ) do nitrogênio no rendimento total encontrado, obedeceu fundamentalmente ao efeito desta adubação na produção de vagens.

Houve também, como era de se esperar, efeito muito significativa

TABELA 2 - Rendimento médio de matéria seca (kg/ha) dos diferentes órgãos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.), em cinco épocas da cultura, por efeito da adubação nitrogenada.

| Época<br>(D.A.G.)     | Órgão                  | Rendimento    |              |                    |                         |           |
|-----------------------|------------------------|---------------|--------------|--------------------|-------------------------|-----------|
|                       |                        | NP<br>(kg/ha) | P<br>(kg/ha) | $\Delta$ 'N<br>(%) | % do Total<br>Produzido |           |
|                       |                        |               |              |                    | NP                      | P         |
| E <sub>1</sub> 06     | Total                  | 45,14         | 45,14        | -                  | 1,08                    | 1,96      |
| E <sub>2</sub> 26     | P.Aérea <sup>(1)</sup> | 720,42        | 670,83       | 7,39               | 17,25                   | 29,20     |
|                       | Raízes                 | 192,50        | 177,92       | 8,19               | 4,61                    | 7,74      |
|                       | Total                  | 912,92        | 848,75       | 7,56               | 21,86                   | 36,94     |
| E <sub>3</sub> 46     | P.Aérea <sup>(1)</sup> | 1714,17       | 1406,25      | 21,90              | 41,04                   | 61,21     |
|                       | Raízes                 | 284,17        | 283,33       | 0,30               | 6,80                    | 12,33     |
|                       | Total                  | 1998,34       | 1689,58      | 18,27              | 47,84                   | 73,54     |
| E <sub>4</sub> 66     | P.Aérea <sup>(1)</sup> | 1729,50       | 1332,91      | 29,75              | 41,41                   | 58,02     |
|                       | Raízes                 | 284,60        | 277,92       | 2,40               | 6,81                    | 12,10     |
|                       | Vagens                 | 1589,58       | 593,75       | 167,72             | 38,06                   | 25,84     |
|                       | Total                  | 3603,68       | 2204,58      | 63,46              | 86,28                   | 95,96     |
| E <sub>5</sub> 86     | P.Aérea <sup>(1)</sup> | 1682,50       | 1381,25      | 21,81              | 40,28                   | 60,12     |
|                       | Raízes                 | 286,67        | 280,83       | 2,08               | 6,86                    | 12,22     |
|                       | Vagens                 | 2207,50       | 635,42       | 247,41             | 52,85                   | 27,66     |
|                       | Total                  | 4176,67       | 2297,50      | 81,79              | 100,00                  | 100,00    |
| Média Épocas          |                        | Total         | P. Aérea     | Raízes             | Vagens                  |           |
| E <sub>1</sub>        |                        | 45,14e        | -            | -                  | -                       |           |
| E <sub>2</sub>        |                        | 880,83d       | 695,62b      | 185,21b            | -                       |           |
| E <sub>3</sub>        |                        | 1844,17c      | 1561,04a     | 283,12a            | -                       |           |
| E <sub>4</sub>        |                        | 2904,17b      | 1531,25a     | 281,25a            | 1091,67b                |           |
| E <sub>5</sub>        |                        | 3237,08a      | 1531,87a     | 283,75a            | 1421,46a                |           |
| Média Adubação        |                        | P             | 1417,11b     | 1197,81b           | 255,00                  | 614,58b   |
|                       |                        | NP            | 2147,44a     | 1462,08a           | 261,67                  | 1898,54a  |
| Teste F               |                        | Adubação (Ad) | 417,54**     | 41,63**            | 2,04NS                  | 3106,45** |
|                       |                        | Época (Ép)    | 1128,70**    | 106,72**           | 109,29**                | 204,94**  |
|                       |                        | Ad x Ép       | 114,35**     | 3,33*              | 0,43NS                  | 156,43**  |
| DMS (Tukey 5%)        |                        | Época         | 169,03       | 165,87             | 188,90                  | -         |
|                       |                        | Ad x Ép       | 239,04       | 234,58             | -                       | -         |
| Coef. de Variação (%) |                        |               | 5,49         | 7,54               | 4,42                    | 3,18      |

(1) Ramos + Folhas; D.A.G. = Dias Após a Germinação;  $\Delta$ 'N = Incremento Percentual Devido ao N Aplicado; \* e \*\* = significância ao Nível de 5 e 1% de Probabilidade, Respectivamente; os valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade.

tivo ( $p = 0,01$ ) das épocas (E) de amostragem no crescimento vegetal. O rendimento de matéria seca total aumentou ( $p = 0,01$ ) em cada época, conforme ocorreu o desenvolvimento da cultura. A parte aérea (ramos+folhas) e raízes alcançaram o máximo rendimento aos 46 D.A.G. ( $E_3$ ), enquanto que as vagens, que se desenvolveram nas duas últimas épocas ( $E_4$  e  $E_5$ ), aumentaram o seu rendimento em 30% (de 1091,67 a 1421,46 kg/ha), contribuindo, desta forma, no aumento ( $p = 0,01$ ) de matéria seca total nestas últimas amostragens.

Da análise estatística, também se deduz que a interação adubação x épocas de amostragem afetou significativamente a produção de matéria seca total ( $p = 0,01$ ), tanto da parte aérea (ramos+folhas) ( $p = 0,05$ ), como das vagens ( $p = 0,01$ ), porém não para as raízes. Do desdobramento das interações significativas (Tabela 15-18 do apêndice), encontrou-se diferenças significativas tanto para épocas dentro das adubações como para adubações dentro das épocas. Explicitando estas interações, deduz-se que, em geral, a adubação nitrogenada (NP) de acordo com o acúmulo de matéria seca, atrasou o desenvolvimento da cultura (embora o rendimento foi maior). Assim, aos 46 D.A.G. ( $E_3$ ), enquanto o tratamento controle (P) tinha acumulado 73,54% de sua matéria seca total, o tratamento com NP acumulara somente 47,8% de seu total. Aos 66 D.A.G., quando o controle chegava a seu rendimento máximo, com 95,96% do total, o tratamento com N tinha acumulado 86,28% do total.

Na Tabela 3, são apresentados os rendimentos de vagens e grãos na colheita da cultura ( $E_5 = 86$  D.A.G.), onde se observa que a adubação nitrogenada incrementou a produção de grãos em 472,28%, isto é, a produção em grãos com 14% de umidade variou de 296,4 (testemunha) para 1696,23 kg/

TABELA 3 - Rendimentos médios de matéria seca (kg/ha) das vagens (casca e grãos) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.) na colheita da cultura, com e sem adubação nitrogenada.

| Vagem | NP                     | P                     | $\Delta^1N$<br>(%) | % do Total |       |
|-------|------------------------|-----------------------|--------------------|------------|-------|
|       |                        |                       |                    | NP         | P     |
| Casca | 719,58                 | 375,42                | 91,67              | 32,6       | 59,1  |
| Grão  | 1487,92 <sup>(1)</sup> | 260,00 <sup>(2)</sup> | 472,28             | 67,4       | 40,9  |
| Total | 2207,50                | 635,42                | 247,41             | 100,0      | 100,0 |

$\Delta^1N$  = incremento porcentual por efeito da adubação nitrogenada

(1) e (2) = correspondem a 1696,23 e 296,4 kg/ha de rendimento comercial de grão (14% de umidade)

ha (com adubo nitrogenado). Nas vagens, a casca correspondeu a 59,1% no controle e a 32,6% no tratamento com nitrogênio, porquanto a adubação nitrogenada influiu mais significativamente na formação das sementes. Os rendimentos alcançados com adubação nitrogenada corresponderam a mais do dobro da média nacional, que é de 600 kg de grãos/ha (EMBRAPA, 1981).

O grande efeito diferencial do adubo nitrogenado sobre a produção de matéria seca, da parte aérea (22%) e das vagens (209%) encontrado, não pode ser atribuído só ao nitrogênio, uma vez que na colheita ( $E_5$ ), a concentração de N nos diferentes órgãos do tratamento controle (P) não foi inferior ao tratamento com nitrogênio, como se pode notar na Tabela 4. Observa-se claramente que o controle sofreu deficiência de cálcio (1,6%) e de cobre (6 ppm) na parte aérea, os quais, sendo de baixa mobilidade no floema, influem na formação do grão e na síntese de proteínas, afetando, consequentemente, a produção. No tratamento com nitrogênio, estas deficiências não foram encontradas, o que pode ser devido ao tipo de adubo nitrogenado empregado ( $(NH_4)_2SO_4$ ), o qual, diminuindo o pH do solo (BAINS, 1967; MELLO *et alii*, 1980; MALAVOLTA, 1981 e PALANIYANDI, 1976) pôde solubilizar sais de cobre e compostos de cálcio do solo, etc., melhorando a nutrição da cultura. Esta mesma explicação poderia justificar os rendimentos similares encontrados por MEIRELLES *et alii* (1980) com a mesma cultura no mesmo solo, uma vez que o solo (TRE) apresentou teor médio de nitrogênio (0,11% na camada arável), como se mostra na Tabela 1.

Nem sempre a adubação nitrogenada tem influído significativamente na produção do feijoeiro. Em condições similares ao presente trabalho, NEPTUNE e MURAOKA (1978) encontraram que a aplicação de uréia, até 120



TABELA 4 - Teor médio de macro e micro nutrientes na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.), aos 86 dias após a germinação.

## MACRONUTRIENTES (%)

| Órgãos         | Adubação | N    | P    | K    | Ca   | Mg   | S    |
|----------------|----------|------|------|------|------|------|------|
| Ramos+Folhas   | NP       | 2,64 | 0,17 | 1,70 | 3,38 | 0,38 | 0,33 |
|                | P        | 3,50 | 0,18 | 2,01 | 1,65 | 0,40 | 0,43 |
| Grão           | NP       | 4,60 | 0,55 | 1,25 | 0,32 | 0,22 | 0,29 |
|                | P        | 5,14 | 0,62 | 1,43 | 0,53 | 0,25 | 0,30 |
| Casca da Vagem | NP       | 1,68 | 0,12 | 2,75 | 0,92 | 0,42 | 0,19 |
|                | P        | 3,54 | 0,21 | 2,01 | 0,97 | 0,39 | 0,21 |

## MICRONUTRIENTES (ppm)

| Órgãos         | Adubação | Fe   | Mn  | Cu | Zn | B  | Cl   | Al   |
|----------------|----------|------|-----|----|----|----|------|------|
| Ramos+Folhas   | NP       | 7298 | 729 | 17 | 82 | 32 | 970  | 5936 |
|                | P        | 1046 | 463 | 6  | 71 | 29 | 6270 | 806  |
| Grão           | NP       | 110  | 23  | 9  | 42 | 19 | 180  | 20   |
|                | P        | 136  | 54  | 12 | 52 | 19 | 571  | 34   |
| Casca da Vagem | NP       | 308  | 97  | 5  | 46 | 33 | -    | 231  |
|                | P        | 435  | 120 | 5  | 57 | 24 | 2118 | 329  |

kg N/ha, não mostrou efeito significativo na produção. MALAVOLTA (1972), após revisar a maior parte dos trabalhos sobre adubação do feijoeiro feitos no Brasil até 1971, encontrou que de 232 ensaios, só 67 mostraram resposta positiva à fertilização nitrogenada. Em outras partes do mundo e também no Brasil, sempre se encontram informações de respostas positivas, sem resposta ou mesmo efeitos negativos desta adubação (ARONDEL DE HAYES e HUYEZ, 1973; BAINS, 1967; BARRIOS *et alii*, 1970; BRAGA *et alii*, 1973; CARDOSO *et alii*, 1978; EIRA *et alii*, 1973; GUAZELLI *et alii*, 1973; HERRERA, 1964; NOVAIS e BRAGA, 1971; SILVA *et alii*, 1977). Tudo indica que a resposta ao nitrogênio depende mais do teor de matéria orgânica do solo e das condições para sua mineralização, pois em solos com teores médio a alto em matéria orgânica, quase sempre não se encontram respostas ao nitrogênio (BARRIOS *et alii*, 1970; ARONDEL DE HAYES e HUYEZ, 1973).

Finalmente, cabe indicar que o clima (ou ano agrícola), em muitos casos, é mais influente na produção que a própria adubação (MALAVOLTA, 1972; OLIVEIRA *et alii*, 1982; PONS *et alii*, 1976) e, em solos pobres em nitrogênio, a fixação biológica só, não resolve (GUSS e DOBEREINER, 1972; MIYASAKA *et alii*, 1963; PONS e GOEPFERT, 1975; REIS *et alii*, 1972), sendo necessária a adubação, a qual nem sempre reduz a nodulação e a eficiência da fixação biológica do feijoeiro (ALMEIDA *et alii*, 1973; FRANCO e DOBEREINER, 1967; SANTA CECÍLIA e PRADO, 1977). No presente experimento, não se observou desenvolvimento de nódulos nas raízes da cultura.

## 4.2. Nitrogênio na Planta

### 4.2.1. Teor de N na Planta

Na Tabela 5 são apresentados os dados médios de teor (%) de nitrogênio nos diferentes órgãos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.) com e sem aplicação deste nutriente, em cinco épocas de desenvolvimento da cultura.

Observa-se que para a planta inteira (total), os resultados foram similares para todos os tratamentos e maiores que as concentrações consideradas como ótimas nas leguminosas (2,09 - 2,89%) para a produção econômica destas espécies (GREENWOOD *et alii*, 1980; MALAVOLTA, 1980). Isto indica que o nitrogênio do solo (testemunha) não foi limitante para a cultura, porém, a adubação nitrogenada teve um efeito altamente significativo no rendimento do feijoeiro, o que pode ter sido devido ao efeito do tipo de adubo empregado, como discutido anteriormente.

O alto teor de nitrogênio da parte aérea (ramos+folhas) e casca dos frutos na testemunha (P), que se manteve até o final da cultura (E<sub>5</sub>), maior do que no tratamento adubado, indica ter ocorrido baixa translocação do nitrogênio (nutriente altamente móvel) destes órgãos para as sementes. Mas como as sementes no controle (P) também mostraram teores altos de N (5,14%), de acordo com GALLO e MIYASAKA (1961) e HAAG *et alii* (1967), então só a falta de óvulos fecundados nas vagens, como foi observado, pode ter limitado a produção de grãos e rendimento total da cultura, assim como a maior absorção de nitrogênio do solo, neste tratamento (P).

De acordo com HILL (1980) e KOLLMAN *et alii* (1974), a trans

TABELA 5 - Teor médio de nitrogênio (mg de N/100 mg de matéria seca) dos diferentes órgãos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.), com e sem aplicação de nitrogênio, em cinco épocas de desenvolvimento da cultura.

| Épocas<br>(D.A.G.) | Adu-<br>bação | Órgãos |                         |        |      | Total |
|--------------------|---------------|--------|-------------------------|--------|------|-------|
|                    |               | Raízes | P. Aérea <sup>(1)</sup> | Vagens |      |       |
|                    |               |        |                         | Casca  | Grão |       |
| E <sub>1</sub> 06  | NP            | -      | -                       | -      | -    | 4,35  |
|                    | P             | -      | -                       | -      | -    | 4,35  |
| E <sub>2</sub> 26  | NP            | 1,75   | 4,50                    | -      | -    | 3,92  |
|                    | P             | 2,31   | 5,36                    | -      | -    | 4,69  |
| E <sub>3</sub> 46  | NP            | 1,92   | 3,92                    | -      | -    | 3,64  |
|                    | P             | 1,97   | 4,05                    | -      | -    | 3,70  |
| E <sub>4</sub> 66  | NP            | 1,93   | 2,70                    | 4,05   |      | 3,24  |
|                    | P             | 1,87   | 3,40                    | 4,13   |      | 3,40  |
| E <sub>5</sub> 86  | NP            | 1,26   | 2,64                    | 1,68   | 4,60 | 3,07  |
|                    | P             | 2,34   | 3,50                    | 3,54   | 5,14 | 3,54  |

(1) ramos+folhas

locação dos elementos móveis (N, por exemplo) no floema para os órgãos mais jovens e frutos depende grandemente da presença de um "sink" (inflorescência ou órgãos de reserva) que estimula a redistribuição dos nutrientes.

Em nosso caso, a baixa formação de óvulos fecundados no tratamento controle (P) pode ter sido ocasionado pela deficiência de outros nutrientes, por exemplo, Cu e Ca, que se mostraram baixos neste tratamento, como foi discutido anteriormente.

#### 4.2.2. Extração de Nitrogênio pela Planta (kg/ha)

Na Tabela 6 são apresentados os dados das quantidades médias (kg/ha) de nitrogênio absorvidas pelos diferentes órgãos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.), com e sem adubação nitrogenada, em cinco épocas, ao longo do ciclo da cultura. Inclui-se o resumo das análises estatísticas respectivas.

Em primeiro lugar, observa-se que a adubação nitrogenada incrementou significativamente ( $p = 0,01$ ) a quantidade de N absorvida pela planta inteira (total), pelas raízes ( $p = 0,05$ ) e pelas vagens ( $p = 0,01$ ), porém, não para a parte aérea (ramos+folhas). O efeito mais notável foi para a absorção das vagens, o qual variou, em média (períodos  $E_4$  e  $E_5$ ), de 25,55 kg N/ha no controle para 72,53 kg N/ha no tratamento adubado com N (183,9% de desvio porcentual relativo). A contribuição das raízes, como se pode notar, foi mínimo. O efeito significativo da adubação nitrogenada na quantidade de N absorvida pela cultura, embora o controle (P) não tenha mostrado deficiência em N, pode ser explicado pelas mesmas considerações anteriormente apresentadas.

TABELA 6 - Quantidade média de nitrogênio absorvido (kg/ha) pelos diferentes órgãos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.), em cinco épocas da cultura, por efeito da adubação nitrogenada.

| Época<br>(D.A.G.)     | Órgão                  | Nitrogênio Total Absorvido |              |                    |            |        |
|-----------------------|------------------------|----------------------------|--------------|--------------------|------------|--------|
|                       |                        | NP<br>(kg/ha)              | P<br>(kg/ha) | $\Delta$ 'N<br>(%) | % do Total |        |
|                       |                        |                            |              |                    | NP         | P      |
| E <sub>1</sub> 06     | Total                  | 1,96                       | 1,96         |                    | 1,53       | 2,41   |
| E <sub>2</sub> 26     | P.Aérea <sup>(1)</sup> | 32,42                      | 35,73        | -9,26              | 25,31      | 43,89  |
|                       | Raízes                 | 3,37                       | 4,09         | -17,60             | 2,63       | 5,02   |
|                       | Total                  | 35,79                      | 39,82        | -10,12             | 27,94      | 48,92  |
| E <sub>3</sub> 46     | P.Aérea <sup>(1)</sup> | 67,24                      | 56,84        | 18,30              | 52,49      | 69,83  |
|                       | Raízes                 | 5,42                       | 5,39         | 0,56               | 4,23       | 6,62   |
|                       | Total                  | 72,66                      | 62,23        | 16,76              | 56,72      | 76,45  |
| E <sub>4</sub> 66     | P.Aérea <sup>(1)</sup> | 46,65                      | 45,40        | 2,75               | 36,42      | 55,77  |
|                       | Raízes                 | 5,51                       | 5,19         | 6,17               | 4,30       | 6,38   |
|                       | Vagens                 | 64,44                      | 24,49        | 10,74              | 50,30      | 30,09  |
|                       | Total                  | 116,60                     | 75,08        | 53,30              | 91,02      | 92,24  |
| E <sub>5</sub> 86     | P.Aérea <sup>(1)</sup> | 43,90                      | 48,22        | -8,96              | 34,27      | 59,24  |
|                       | Raízes                 | 3,60                       | 6,57         | -45,21             | 2,81       | 8,07   |
|                       | Vagens                 | 80,60                      | 26,61        | 202,89             | 62,92      | 32,69  |
|                       | Total                  | 128,10                     | 81,40        | 57,37              | 100,00     | 100,00 |
| Média Épocas          | Total                  | P. Aérea                   | Raízes       | Vagens             |            |        |
| E <sub>1</sub>        | 1,96e                  | -                          | -            | -                  |            |        |
| E <sub>2</sub>        | 37,81d                 | 34,08c                     | 3,73b        | -                  |            |        |
| E <sub>3</sub>        | 67,54c                 | 62,04a                     | 5,50a        | -                  |            |        |
| E <sub>4</sub>        | 95,84b                 | 46,03b                     | 5,53a        | 44,46b             |            |        |
| E <sub>5</sub>        | 107,92a                | 46,06b                     | 5,09a        | 53,62a             |            |        |
| Média Adubação        | P                      | 46,55a                     | 5,36a        | 25,55b             |            |        |
|                       | NP                     | 47,56a                     | 4,47b        | 72,53a             |            |        |
| Teste F               | Adubação (Ad)          | 207,57**                   | 0,42NS       | 13,19**            | 1463,76**  |        |
|                       | Época (Ép)             | 764,26**                   | 55,69**      | 11,02**            | 55,64**    |        |
|                       | Ad x Ép                | 67,14**                    | 4,76*        | 8,87**             | 32,77**    |        |
| DMS (Tukey 5%)        | Época                  | 6,61                       | 6,23         | 0,99               | -          |        |
|                       | Ad x Ép                | 9,35                       | 8,81         | 1,40               | -          |        |
| Coef. de Variação (%) |                        | 6,16                       | 8,00         | 12,15              | 4,34       |        |

(1) Ramos + Folhas;  $\Delta$ 'N = Incremento Porcentual Devido ao N Aplicado; D.A.G. = Dias Após a Germinação; \* e \*\* = Significância ao Nível de 5 e 1% de Probabilidade, Respectivamente; os valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade.

A quantidade de nitrogênio absorvida, variou significativamente ( $p = 0,01$ ) com as épocas de amostragem, em todos os órgãos da planta considerados. A parte aérea (ramos+folhas) e as raízes, em geral, alcançaram o valor máximo de N na terceira época (46 D.A.G.), cujas médias foram 62,04 e 5,50 kg N/ha, respectivamente. Após, a parte aérea diminuiu de forma significativa ( $p = 0,05$ ) seu nitrogênio acumulado, indicando translocação para as vagens; o mesmo não ocorreu com as raízes, para as quais o N absorvido permaneceu sem variação. As vagens, que apareceram na quarta época (66 D.A.G.), tiveram um incremento porcentual ( $p = 0,01$ ) de seu nitrogênio acumulado de 20,6% na última época (86 D.A.G.). No que se refere ao nitrogênio acumulado pela planta inteira (total), encontrou-se que a cultura absorveu sensivelmente ( $p = 0,05$ ) o nitrogênio até na época final, o qual chegou a formar parte das vagens, uma vez que o nitrogênio acumulado nos outros órgãos não sofreu variações. Estes resultados concordam com os obtidos por vários pesquisadores (COBRA, 1967; GALLO e MIYASAKA, 1961; HAAG *et alii*, 1963; MEIRELLES *et alii*, 1980; NEPTUNE e MURAOKA, 1978), que encontraram que a máxima absorção de nitrogênio por esta cultura foi na época que compreende a floração até o período mais intenso de desenvolvimento das vagens.

As interações adubação x épocas de amostragem foram significativas em todos os órgãos do feijoeiro avaliados. Do desdobramento destas interações (Tabelas 19-22 do apêndice), encontrou-se diferenças significativas ( $p = 0,01$ ) entre épocas dentro das adubações para todos os órgãos em consideração, assim como diferenças significativas ( $p = 0,01$ ) entre adubações dentro da 2a. e 3a. época na parte aérea (ramos+folhas), 5a. época nas raízes, 4a. e 5a. época nas vagens e 3a., 4a. e 5a. época na plan

ta inteira (total). Tudo isto, resumidamente, significa que, embora o tratamento com nitrogênio tenha contribuído com mais nitrogênio para a planta, a velocidade de sua absorção foi menor que o controle (P), pois na segunda época (26 D.A.G.), quando este último tinha acumulado 48,92% do seu total absorvido (81,40 kg N/ha), o tratamento com nitrogênio só tinha acumulado 27,94% de seu N total absorvido (128,10 kg N/ha). A partir da terceira época (46 D.A.G.), o tratamento adubado apresentou maior velocidade de acúmulo de nitrogênio em relação ao controle. Em ambos os tratamentos (com e sem aplicação de N), ocorreu absorção de N até na época final da cultura (86 D.A.G.).

As quantidades de N absorvido foram de 81,40 kg N/ha no controle (P) e 128,10 kg N/ha no tratamento com nitrogênio (NP). Estes resultados estão dentro da faixa normal de absorção de nitrogênio pelo feijoeiro, a qual, dependendo do cultivar, produção, população e manejo da cultura, vai de 80 a 250 kg N/ha para solos com teores médios de N e/ou adubados com este nutriente (AMARAL *et alii*, 1981; COBRA, 1967; GALLO e MIYASAKA, 1961; HAAG *et alii*, 1963; MEIRELLES *et alii*, 1980; NEPTUNE e MURAOKA, 1978).

Na Tabela 7 são apresentados os dados da quantidade de nitrogênio extraído pelas vagens e seus componentes (casca e grãos) na colheita (86 D.A.G.). Observa-se que a quantidade de N extraída pelos grãos, no tratamento com nitrogênio (68,49 kg N/ha), foi 412,65% maior que no controle (13,36 kg N/ha). Deduz-se, então, que estas quantidades de N "exportadas" com o grão corresponderam a 53,47% do total extraído pela planta inteira no tratamento NP e a 16,41% do total extraído pela planta inteira na testemunha (P). Estes valores são similares aos encontrados por numerosos autores



TABELA 7 - Quantidades médias de nitrogênio total (kg/ha) extraídas pelas vagens (casca e grãos) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.), na colheita da cultura, com e sem adubação nitrogenada.

| Vagem | NP    | P     | $\Delta'N$<br>(%) | % do Total |       |
|-------|-------|-------|-------------------|------------|-------|
|       |       |       |                   | NP         | P     |
| Casca | 12,11 | 13,25 | -8,60             | 15,0       | 49,8  |
| Grão  | 68,49 | 13,36 | 412,65            | 85,0       | 50,2  |
| Total | 80,60 | 26,61 | 202,89            | 100,0      | 100,0 |

$\Delta'N$  = incremento porcentual por efeito da adubação nitrogenada

(COBRA, 1967; GALLO e MIYASAKA, 1961; HAAG *et alii*, 1963; MALAVOLTA, 1981; MEIRELLES *et alii*, 1980; NEPTUNE e MURAOKA, 1978), sendo os dois últimos em condições de solo similares ao da presente pesquisa. Em experimentos com soluções nutritivas, estes valores podem ser muito mais altos (AMARAL *et alii*, 1981).

#### 4.2.3. Nitrogênio na Planta Proveniente do Fertilizante (NPPF) e Eficiência de Utilização do Fertilizante Nitrogenado (EUFN)

Na Tabela 8 são apresentados os dados médios do teor (%) e quantidade (kg/ha) de nitrogênio na planta (e órgãos) proveniente do fertilizante (NPPF), e os valores médios da eficiência (%) de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN). Inclui-se o resumo das análises estatísticas respectivas.

No que diz respeito à porcentagem de NPPF, foram encontradas diferenças significativas ( $p = 0,01$ ) entre épocas para a planta inteira (total), porém, não para a parte aérea e vagens. Na planta inteira (total), a porcentagem máxima de NPPF (27,33%) ocorreu aos 66 D.A.G., com tendência a diminuir na época final (86 D.A.G.). Observa-se, também, claramente, que a porcentagem de NPPF nos diferentes órgãos foram similares em todas as épocas avaliadas, demonstrando a alta mobilidade e dinâmica do nitrogênio dentro da planta. Resultados similares foram encontrados por MEIRELLES *et alii* (1980) e NEPTUNE e MURAOKA (1978), com a mesma cultura e no mesmo tipo de solo, mas, geralmente, a porcentagem de NPPF aumenta com as doses crescentes de nitrogênio aplicadas, varia com as épocas de aplicação e com o teor de N disponível no solo (CALVACHE, 1981; MEIRELLES *et*

TABELA 8 - Porcentagem e quantidade média (kg/ha) de nitrogênio na planta (e órgãos) proveniente do fertilizante (NPPF), em cinco épocas da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.).

| Época<br>(D.A.G.)               | Órgão                   | N Total Absorvido |                          |       | NPPF    |            | EUFN<br>(%) |
|---------------------------------|-------------------------|-------------------|--------------------------|-------|---------|------------|-------------|
|                                 |                         | (kg/ha)           | <sup>15</sup> N (± Exc.) | (%)   | (kg/ha) | % do Total |             |
| E <sub>1</sub> 06 <sup>a/</sup> | Total                   | 1,96              | -                        | -     | -       | -          | -           |
| E <sub>2</sub> 26 <sup>b/</sup> | P. Aérea <sup>(1)</sup> | 32,42             | 10,119                   | 18,04 | 5,789   | 18,16      | 44,53       |
|                                 | Raízes                  | 3,37              | 8,380                    | 14,94 | 0,489   | 1,53       | 3,76        |
|                                 | Total                   | 35,79             | -                        | 17,54 | 6,278   | 19,70      | 48,29       |
| E <sub>3</sub> 46               | P. Aérea <sup>(1)</sup> | 67,24             | 12,035                   | 21,45 | 14,425  | 45,26      | 34,35       |
|                                 | Raízes                  | 5,42              | 11,923                   | 21,25 | 1,147   | 3,60       | 2,73        |
|                                 | Total                   | 72,66             | -                        | 21,43 | 15,572  | 48,86      | 37,08       |
| E <sub>4</sub> 66               | P. Aérea <sup>(1)</sup> | 46,65             | 14,292                   | 26,07 | 12,138  | 38,24      | 29,02       |
|                                 | Raízes                  | 5,51              | 14,665                   | 27,92 | 1,528   | 4,79       | 3,64        |
|                                 | Vagens                  | 64,44             | 15,803                   | 28,36 | 18,154  | 56,96      | 43,22       |
|                                 | Total                   | 116,60            | -                        | 27,33 | 31,870  | 100,00     | 75,88       |
| E <sub>5</sub> 86               | P. Aérea <sup>(1)</sup> | 43,90             | 13,114                   | 23,37 | 10,242  | 32,14      | 24,38       |
|                                 | Raízes                  | 3,60              | 13,176                   | 23,49 | 0,844   | 2,65       | 2,01        |
|                                 | Vagens                  | 80,60             | -                        | 24,11 | 19,431  | 60,97      | 46,26       |
|                                 | Total                   | 128,10            | -                        | 23,82 | 30,517  | 95,75      | 72,66       |

(1) Ramos + Folhas

a/ e b/ = Aplicação de 14 e 28 kg N/ha (56,476 Átomos % <sup>15</sup>N), respectivamente.

D.A.G. = Dias Após a Germinação

| Média Épocas      | NPPF         |                |                   |                 |                 | EUFN                  |                       |                      |             |
|-------------------|--------------|----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-------------|
|                   | Total<br>(%) | Total<br>kg/ha | P. Aérea<br>kg/ha | Raízes<br>kg/ha | Vagens<br>kg/ha | Total<br>(%)          | P. Aérea<br>%         | Raízes<br>%          | Vagens<br>% |
| E <sub>1</sub>    | -            | -              | -                 | -               | -               | -                     | -                     | -                    | -           |
| E <sub>2</sub>    | 17,54b       | 6,28c          | 5,79c             | 0,49d           | -               | 48,29b <sup>(2)</sup> | 44,53a <sup>(2)</sup> | 3,76a <sup>(2)</sup> | -           |
| E <sub>3</sub>    | 21,43b       | 15,57b         | 14,43a            | 1,15b           | -               | 37,08b                | 34,35a                | 2,73ab               | -           |
| E <sub>4</sub>    | 27,33a       | 31,87a         | 12,19b            | 1,53a           | 18,15a          | 75,88a                | 29,02ab               | 3,64a                | 43,22       |
| E <sub>5</sub>    | 23,82ab      | 30,52a         | 10,24b            | 0,84c           | 19,43a          | 72,66a                | 24,38b                | 2,01b                | 46,26       |
| <u>Teste F</u>    | 5,38*        | 124,82**       | 22,31**           | 55,71**         | 12,81NS         | 21,34**               | 6,58*                 | 6,11*                | 1,06NS      |
| DMS (Tukey 5%)    | 7,71         | 4,99           | 3,52              | 0,27            | -               | 18,48                 | 15,29                 | 1,51                 | -           |
| Coef. Var.<br>(2) | 13,22        | 9,06           | 12,63             | 10,22           | 5,59            | 12,09                 | 17,67                 | 19,02                | 8,09        |

(2) = Cálculo feito na base da aplicação de 14 kg N/ha, 1/3 da adubação total.

\* e \*\* = Significância ao nível de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Os valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade.

EUFN = Eficiência de Utilização do Fertilizante Nitrogenado.

*alii*, 1980; NEPTUNE e MURAOKA, 1978).

A alta mobilidade e dinâmica dos compostos nitrogenados dentro da planta explica a pouca variação na composição isotópica do N nos diferentes órgãos da planta. Segundo Storey e Beevers (1977) e Mckee (1962), citados por HILL (1980), esta alta mobilidade deve-se ao fato de que as proteínas contidas na planta são resultado de contínua síntese e degradações, o que faz com que os aminoácidos e outros compostos sejam trocados dentro do floema e facilmente redistribuídos.

Com relação à quantidade (kg/ha) de nitrogênio na planta, proveniente do fertilizante (NPPF), observa-se que esta variou significativamente ( $p = 0,01$ ) entre épocas para todos os órgãos, exceto vagens. O valor máximo de NPPF foi de 31,87 kg N/ha, aos 66 D.A.G. ( $E_4$ ), coincidindo também com o período de maior desenvolvimento das vagens, e permaneceu assim, sem variação, até a colheita (30,52 kg N/ha). Estas quantidades são similares às encontradas por CALVACHE (1981) e MEIRELLES *et alii* (1980), que trabalharam com milho e feijão, respectivamente, no mesmo tipo de solo (Terra Roxa Estruturada).

Como pode ser observado na Figura 4, as quantidades de NPPF nunca foram maiores que as quantidades de nitrogênio na planta proveniente do solo (NPPS), embora o ritmo de absorção deste nutriente das duas fontes foram semelhantes. Este comportamento foi muito similar ao encontrado por CALVACHE (1981) em cultura de milho, mas diferente do encontrado por MEIRELLES *et alii* (1980) em cultura de feijão, para a qual, a máxima quantidade de NPPF (30 kg N/ha) acumulado na planta ocorreu aos 40 D.A.G., sendo que, nesta época, o NPPS era muito baixo (13,9 kg N/ha), mas continuou cres

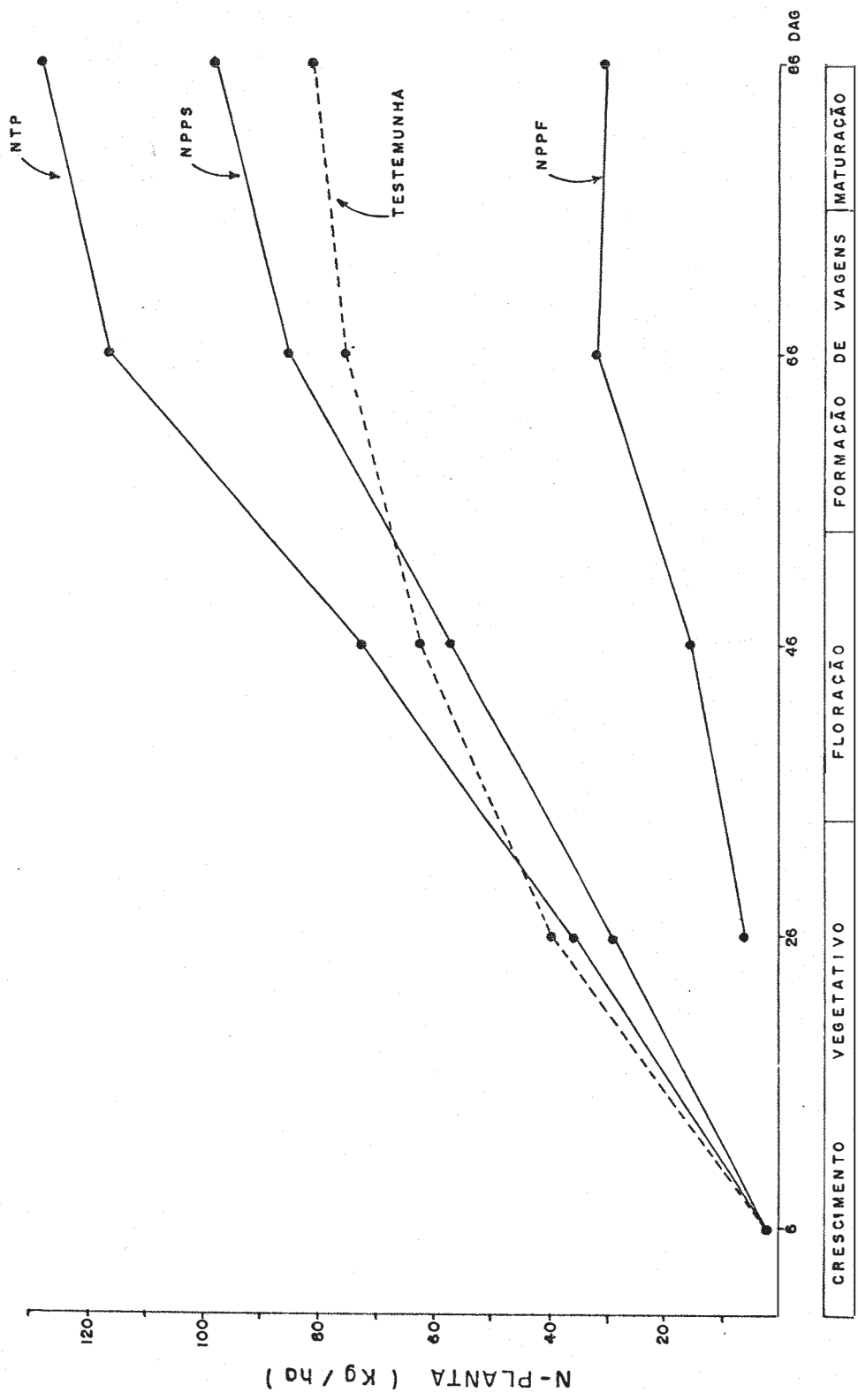


FIGURA 4 - Variação da quantidade de nitrogênio total (kg/ha) na planta (NTP) proveniente do solo (NPPS) e do fertilizante (NPPF), assim como da testemunha, ao longo do desenvolvimento da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.).

cendo até chegar ao máximo (50 kg N/ha), aos 66 D.A.G.

No que diz respeito à eficiência (%) de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN), nota-se que, para a planta inteira, variou sensivelmente ( $p = 0,01$ ) com as épocas de amostragem da seguinte forma: na  $E_2$  (26 D.A.G.), quando a cultura tinha recebido 14 kg N/ha (1/3 do total), a EUFN foi de 48,29%; a partir daí, tendeu a diminuir na  $E_3$  (46 D.A.G.) (37,08%), provavelmente pelo fato de, ao se aplicar os 28 kg N/ha restantes, a cultura pode não ter aproveitado eficientemente o N, no intervalo entre estas épocas (20 dias). A EUFN foi máxima (75,88%) também aos 66 D.A.G.

Pode-se dizer que a EUFN, em nosso caso, foi alta, porque esta dificilmente excede 50% em cereais (ARORA *et alii*, 1980) que normalmente extraem N muito mais que o feijoeiro. A EUFN encontrada é mais do dobro da obtida por MEIRELLES *et alii* (1980) que, aplicando 100 kg N/ha, em solo similar, obteve um aproveitamento pela cultura de 30 kg N/ha, quantidade similar à aproveitada por nossa cultura (30,52 a 31,87 kg N/ha), com aplicação de 42 kg N/ha, também como sulfato de amônio. Deduz-se que a dose de aplicação teve papel importante na variação da EUFN. NEPTUNE e MURAOKA (1978), também em solo similar, mostraram que as mais altas EUFN ocorreram com baixas doses (15-30 kg N/ha) de adubo, aplicadas nas épocas de maior absorção pela planta.

Diversos fatores, tais como, dose, localização e época de aplicação do fertilizante, cultura, solo, clima e manejo podem afetar a EUFN pelas culturas (ARORA *et alii*, 1980; CALVACHE, 1981; MALAVOLTA, 1981; MEIRELLES *et alii*, 1980; NEPTUNE e MURAOKA, 1978).

Na Tabela 9 são apresentados os dados médios da quantidade

TABELA 9 - Porcentagem e quantidade (kg/ha) de nitrogênio proveniente do fertilizante (NPPF) nas vagens (casca e grãos) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.) na colheita da cultura adubada com 42 kg N/ha.

| Vagem | N<br>Total<br>Absorvido<br>(kg/ha) | <sup>15</sup> N<br>(% Exc.) | NPPF <sup>a/</sup> |         | EUFN<br>(%) |
|-------|------------------------------------|-----------------------------|--------------------|---------|-------------|
|       |                                    |                             | (%)                | (kg/ha) |             |
| Casca | 12,11                              | 14,267                      | 25,43              | 3,093   | 7,36        |
| Grão  | 68,49                              | 13,382                      | 23,85              | 16,338  | 38,90       |
| Total | 80,60                              | -                           | 24,11              | 19,431  | 46,26       |

$$\underline{a/} \quad \% \text{ NPPF} = (\% \text{ \AA}t. ^{15}\text{N Excesso}) (56,111 \% \text{ \AA}t. ^{15}\text{N-Fert.})^{-1} \cdot 100$$

% EUFN = Eficiência de Utilização do Nitrogênio Fertilizante  
(em porcentagem)

de NPPF contida nas vagens e seus componentes (casca e grão) na colheita. Observa-se que o grão teve uma EUFN de 38,9%, acumulando 16,338 Kg N/ha, proveniente do fertilizante (23,85% do total de N acumulado pelas sementes, o que significa que mais de 50% do NPPF absorvido pela cultura (30,52 kg N/ha) foi exportado com o grão. Os resultados de CALVACHE (1981) e NEPTUNE e MURAOKA (1978) indicam que aproximadamente 70% do total de NPPF estiveram contidos nos grãos, em experimento com milho e feijão, respectivamente. Este valor pode chegar até 90% no feijoeiro, segundo MEIRELLES *et alii*(1980).

### 4.3. Nitrogênio no Solo

#### 4.3.1. Teor de N no Solo

Na Tabela 10 são apresentados os teores (%) médios de nitrogênio total no perfil do solo, em cinco épocas de desenvolvimento da cultura, assim como um resumo das análises estatísticas respectivas.

As análises estatísticas indicam diferenças significativas entre épocas e entre profundidades ( $p = 0,01$ ), não existindo interação entre estas fontes de variação. Com relação ao efeito das épocas, nota-se, pela Tabela 10, que os teores maiores corresponderam às primeiras épocas ( $E_1$  e  $E_2$ ) quando a cultura tinha pouco desenvolvimento; mas a partir dos 26 D.A.G., o teor médio diminuiu ligeiramente ( $p = 0,05$ ) até a fase final da cultura, coincidindo com a maior absorção de N pela planta (Figura 4). As adubações efetuadas (14 kg N/ha na  $E_1$  e 28 kg N/ha na  $E_2$ ) podem não ter influenciado sensivelmente na concentração média de nitrogênio no solo nas  $E_1$



TABELA 10 - Teor médio de nitrogênio (mg de N por 100 mg de solo), no perfil do solo, em cinco épocas de desenvolvimento da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.).

| Profundidade<br>(cm) | Épocas (D.A.G.) |            |            |            |            | Média   |
|----------------------|-----------------|------------|------------|------------|------------|---------|
|                      | E1<br>(06)      | E2<br>(26) | E3<br>(46) | E4<br>(66) | E5<br>(86) |         |
| 0 - 15               | 0,108           | 0,105      | 0,101      | 0,107      | 0,104      | 0,105a  |
| 15 - 30              | 0,112           | 0,101      | 0,102      | 0,095      | 0,108      | 0,104a  |
| 30 - 45              | 0,094           | 0,093      | 0,091      | 0,092      | 0,095      | 0,093b  |
| 45 - 60              | 0,056           | 0,059      | 0,055      | 0,055      | 0,055      | 0,056c  |
| 60 - 75              | 0,056           | 0,056      | 0,057      | 0,056      | 0,057      | 0,056c  |
| 75 - 90              | 0,056           | 0,052      | 0,056      | 0,056      | 0,056      | 0,055c  |
| 90 - 105             | 0,056           | 0,052      | 0,054      | 0,054      | 0,055      | 0,054cd |
| 105 - 120            | 0,053           | 0,050      | 0,049      | 0,052      | 0,051      | 0,051d  |
| Média                | 0,0738a         | 0,0710ab   | 0,0708b    | 0,0708b    | 0,0727ab   | -       |

Análise da Variância

| Testes            | Fontes de Variação |              |           |
|-------------------|--------------------|--------------|-----------|
|                   | Época              | Profundidade | Ép x Prof |
| F                 | 3,54*              | 679,37**     | 1,48NS    |
| DMS<br>(Tukey 5%) | 0,0029             | 0,0041       | -         |
| Coef. Var.<br>(%) | ----- 4,99 -----   |              |           |

e E<sub>2</sub>, por ser muito pouco em relação ao total de N no perfil do solo. Estes resultados são semelhantes aos obtidos por LIBARDI e REICHARDT (1978). Para estes autores, o teor (%) médio de nitrogênio do solo (Terra Roxa Estruturada) não mostrou variação entre o teor inicial e aos 10 dias antes da colheita, embora tenha se aplicado 0, 40 e 120 kg N/ha à cultura de feijão.

No que diz respeito ao teor (%) de nitrogênio nas diferentes profundidades do perfil, encontrou-se que nas camadas superficiais (0-30 cm) o teor médio foi de 0,104% N, diminuindo (p = 0,05) na camada seguinte para 0,093 % N, decrescendo significativamente na camada de 45-60 cm para 0,056 % N, permanecendo com variações mínimas nas camadas inferiores. Segundo Gargantini *et alii* (1970), citados por MALAVOLTA (1976), os teores (%) de N nas camadas superficiais (0-45 cm) de nosso solo, são considerados médios. Resultados similares para as concentrações (%) de N no perfil deste solo foram reportados por LIBARDI e REICHARDT (1978).

Os teores porcentuais de N e sua variação no perfil do solo em estudo, são semelhantes aos encontrados por vários autores (FASSBENDER, 1975; MALAVOLTA, 1976; SANCHEZ, 1976) para os Alfisols tropicais, entre os quais se inclui a Terra Roxa Estruturada (Paleudalf óxico).

A maior concentração de N nas camadas superficiais do solo, normalmente acompanha o maior teor em matéria orgânica nestes horizontes, produto do acúmulo ou incorporação frequente de resíduos vegetais, que caracteriza o horizonte A da maioria dos solos agrícolas. MALAVOLTA (1976) considera que o nitrogênio é responsável por 5% da fração orgânica do solo e cerca de 98% do elemento no solo está na forma orgânica, e muito pouco

(2%) está na forma mineral, disponível às culturas.

#### 4.3.2. Quantidade Total de Nitrogênio no Solo (kg/ha)

Na Tabela 11 são apresentados os dados médios das quantidades (kg/ha) de nitrogênio no perfil do solo em cinco épocas do desenvolvimento da cultura de feijão e o resumo das respectivas análises estatísticas.

A análise estatística dos resultados mostra que as quantidades (kg/ha) de nitrogênio contidas no perfil do solo variaram significativamente entre épocas ( $p = 0,05$ ), entre profundidades ( $p = 0,01$ ) e pela interação entre estas fontes de variação ( $p = 0,05$ ).

O comportamento das quantidades de nitrogênio no perfil do solo em relação às épocas e profundidades é similar ao do teor (%) de N no solo, anteriormente discutidos. As mesmas considerações lá vistas são também válidas, uma vez que as quantidades de N dependem do teor (%) de nitrogênio e da massa de solo contida nas respectivas camadas.

Do desdobramento da interação (épocas de amostragem por profundidades) mostrado na Tabela 27 do apêndice, observa-se diferenças altamente significativas entre profundidades dentro de todas as épocas (já discutidos anteriormente) e entre épocas unicamente na profundidade de 15-30 cm. A maior variação na quantidade de N nesta camada ocorreu na  $E_4$  (66 D.A.G.), quando seu N total diminui de 144,48 kg N/ha em relação à época anterior ( $E_3$ , 46 D.A.G.), coincidindo com a maior absorção de N pela cultura. Deduz-se, então, que a maior atividade do sistema radicular ocorreu nos primeiros 15-30 cm do perfil do solo. DANCER e PETERSON (1961) localizaram  $N-NO_3$  nas

TABELA 11 - Quantidade total média de nitrogênio (kg/ha) no perfil do solo; em cinco épocas de desenvolvimento da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.).

| Prof.<br>(cm) | D<br>(g . cm <sup>-3</sup> ) | Épocas (D.A.G.) |            |            |            |            | Média    |       |
|---------------|------------------------------|-----------------|------------|------------|------------|------------|----------|-------|
|               |                              | E1<br>(06)      | E2<br>(26) | E3<br>(46) | E4<br>(66) | E5<br>(86) |          |       |
| 0- 15         | 1,434±0,043                  | 2323,080a       | 2251,380a  | 2179,680a  | 2308,740a  | 2260,146a  | 2259,68a | 20,2  |
| 15- 30        | 1,376±0,079                  | 2311,680a       | 2084,640a  | 2112,160a  | 1967,690b  | 2237,040a  | 2147,26b | 19,2  |
| 30- 45        | 1,339±0,030                  | 1887,990b       | 1874,603b  | 1834,430b  | 1854,520b  | 1901,380b  | 1879,58c | 16,7  |
| 45- 60        | 1,314±0,049                  | 1103,761c       | 1156,653c  | 1077,480c  | 1084,050c  | 1090,620c  | 1102,51d | 9,9   |
| 60- 75        | 1,195±0,045                  | 1009,776cd      | 1009,776cd | 1027,700c  | 997,826cd  | 1015,753cd | 1012,17e | 9,1   |
| 75- 90        | 1,195±0,036                  | 1003,803cd      | 938,076d   | 1003,803c  | 997,826cd  | 1009,776cd | 990,66e  | 8,9   |
| 90-105        | 1,159±0,016                  | 967,766cd       | 904,020d   | 938,790cd  | 929,736cd  | 961,973cd  | 940,46e  | 8,4   |
| 105-120       | 1,104±0,068                  | 872,160d        | 828,000d   | 816,960d   | 855,600d   | 850,080d   | 844,56f  | 7,6   |
| Soma          | -                            | 11480,016       | 11047,148  | 10991,003  | 10995,978  | 11326,768  | 11168,18 | 100,0 |
| Média         | -                            | 1435,002a       | 1380,893ab | 1373,875b  | 1374,497b  | 1415,846ab |          |       |

| Análise de Variância | Testes | Fontes de Variação |                        |
|----------------------|--------|--------------------|------------------------|
|                      |        | Época              | Profundidade           |
| F                    |        | 3,47*              | 981,16**               |
| DMS                  |        | 59,07              | 83,28                  |
| (Tukey 5%)           |        |                    | 186,21(1)<br>167,08(2) |
| Coef. Var.           |        | ----- 5,23% -----  |                        |

D.A.G. = Dias Após a Germinação; D = Densidade Global do Solo; (1) e (2) = DMS para profundidades dentro de épocas e para épocas dentro da profundidade de 15-30 cm (significativa), respectivamente; os dados seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (5%).

profundidades de 8, 23, 38, 53 e 69 cm e as espécies *Phaseolus lunatus*, L. e *Phaseolus vulgaris*, L. absorveram a maior parte de N da camada arável do solo. Mais de 39% do N total do solo em estudo encontra-se na camada arável (0-30 cm).

Analisando os resultados das quantidades de N contidas no perfil do solo aos 6 D.A.G. (11480,016 kg N/ha) e 86 D.A.G. (11326,768 kg N/ha), encontra-se uma diminuição de 153,249 kg N/ha durante o ciclo da cultura, a qual, aparentemente, está dentro das variações possíveis, visto que a extração pela cultura foi de 128,1 kg N/ha. LIBARDI e REICHARDT (1978), trabalhando com feijoeiro em solo similar, encontraram que a diminuição de N do solo após a cultura foi de 48 kg N/ha, quando a extração pela mesma mais outras perdas somaram 108 kg N/ha.

Deduz-se, então, que a variação da armazenagem de N no perfil do solo dificilmente pode coincidir com as saídas ou perdas deste nutriente durante uma cultura. Isto pode ser melhor esclarecido observando as variações das quantidades totais de nitrogênio contidas no perfil do solo entre cada época de amostragem. De E<sub>1</sub> (06 D.A.G.) para E<sub>2</sub> (26 D.A.G.), o nitrogênio total do solo diminuiu de 432,868 kg N/ha e a cultura absorveu 35,79 kg N/ha. Na última época de amostragem (86 D.A.G.), o nitrogênio total do solo subiu em relação à época anterior de 330,79 kg N/ha, enquanto a cultura absorveu 11,5 kg N/ha. Deve ser lembrado que, de acordo com LIBARDI e REICHARDT (1978), MEIRELLES *et alii* (1980) e REICHARDT *et alii* (1979), as perdas de nitrogênio, que não pela extração da cultura, que possam ter ocorrido nas condições do presente trabalho, são mínimas em relação à sua extração.

As mudanças contraditórias da variação de armazenagem de nitrogênio do solo, nas diferentes épocas da cultura, podem ser devidas a erros que, inevitavelmente, ocorrem na estimação da quantidade de N no solo. Estes podem ser: erros de laboratório (mínimos, normalmente) e os de campo. Dentre os últimos, ressaltam-se os erros de amostragem para as análises de nitrogênio e para as determinações da densidade global ( $\text{g/cm}^3$ ). Os resultados da densidade global ( $D_g$ ) do solo, apresentados na Tabela 11, mostram grandes variações com as profundidades e dentro das diferentes camadas do solo, variações que, inevitavelmente, afetam o cálculo da massa de solo contida em cada camada do perfil, afetando, dessa forma, também o cálculo das quantidades de N contidas em cada camada do solo. A densidade global, assim como outras propriedades físicas e hídricas do solo, são de muita variação espacial (ou temporal) na camada arável do solo (NIELSEN *et alii*, 1973; REICHARDT *et alii*, 1976).

Finalmente, para o solo em estudo, a quantidade de nitrogênio armazenada no perfil do solo, praticamente, deve sofrer muito pouca variação durante o ciclo da cultura, uma vez que as quantidades extraídas pelas plantas, mais outras perdas (mínimas), foram menores que 1,1% do total, que está dentro dos erros antes mencionados. Desta forma, podemos considerar que a quantidade de N armazenada neste solo foi, em média, de 11168,18 kg N/ha, com mínima variação após a cultura. Resultados semelhantes foram encontrados por LIBARDI e REICHARDT (1978).

#### 4.3.3. Quantidade de Nitrogênio no Solo Proveniente do Fertilizante (NSPF) (kg/ha)

Na Tabela 12 são apresentados os dados médios das quantidades de nitrogênio (kg/ha) no solo proveniente do fertilizante (NSPF), nas diferentes profundidades do perfil, em quatro épocas do desenvolvimento da cultura em estudo. Inclui-se um resumo das análises estatísticas respectivas.

A análise estatística mostra diferenças altamente significativas para todas as fontes de variação consideradas.

As variações das quantidades de NSPF nas diferentes épocas de amostragem acompanham o fracionamento da dose de aplicação de N (42 kg N/ha) e os efeitos da marcha de absorção deste nutriente pelas plantas. Assim, temos que a quantidade mínima de NSPF (5,367 kg/ha) ocorreu aos 26 D.A.G., ou seja, 20 dias após a aplicação de 14 kg N/ha (1/3 da dose total), e a quantidade máxima de NSPF (15,910 kg/ha, ou 37,9% do total aplicado) ocorreu aos 46 D.A.G., quando o solo já tinha recebido toda a dose de N planejada (42 kg N/ha). A partir da quarta época de amostragem (E<sub>4</sub>, 66 D.A.G.), observa-se uma queda significativa no NSPF armazenado, reduzindo-se a 9,174 kg N/ha (21,84% do total fornecido) no final da cultura, coincidindo com o maior desenvolvimento e absorção de nitrogênio pela cultura (Figura 4).

No que diz respeito à variação das quantidades de NSPF, nas diferentes profundidades do perfil do solo, observa-se que se distribuiu por todo o perfil do solo, sendo que, em geral, a maior quantidade (86,2%) esteve na parte superficial (0-45 cm) do perfil. Observa-se também que o NSPF foi diminuindo, quase linearmente, com a profundidade, até os 60 cm do per-

TABELA 12 - Quantidade média de nitrogênio (kg/ha) no perfil do solo proveniente do fertilizante (NSPF) em quatro épocas da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.).

| Prof.<br>(cm) | E <sub>2</sub> (26 D.A.G.) |                | E <sub>3</sub> (46 D.A.G.) |                | E <sub>4</sub> (66 D.A.G.) |                | E <sub>5</sub> (86 D.A.G.) |                | Média Prof.     |                |
|---------------|----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|-----------------|----------------|
|               | NSPF<br>(kg/ha)            | % do<br>Aplic. | NSPF<br>(kg/ha)            | % do<br>Aplic. | NSPF<br>(kg/ha)            | % do<br>Aplic. | NSPF<br>(kg/ha)            | % do<br>Aplic. | NSPF<br>(kg/ha) | % do<br>Aplic. |
| 0 - 15        | 2,861a                     | 20,4           | 7,933a                     | 18,9           | 4,139a                     | 9,85           | 2,977a                     | 7,09           | 4,478a          | 10,66          |
| 15 - 30       | 1,328b                     | 9,5            | 3,889b                     | 9,3            | 2,293b                     | 5,46           | 2,321ab                    | 5,53           | 2,458b          | 5,85           |
| 30 - 45       | 0,813bc                    | 5,8            | 2,083c                     | 5,0            | 1,444b                     | 3,44           | 1,566bc                    | 3,73           | 1,477c          | 3,52           |
| 45 - 60       | 0,213bc                    | 1,5            | 1,049cd                    | 2,5            | 0,205c                     | 0,49           | 0,850cd                    | 2,02           | 0,579d          | 1,38           |
| 60 - 75       | 0,078c                     | 0,6            | 0,626d                     | 1,5            | 0,136c                     | 0,32           | 0,628cd                    | 1,50           | 0,367d          | 0,87           |
| 75 - 90       | 0,027c                     | 0,2            | 0,155d                     | 0,4            | 0,106c                     | 0,25           | 0,371d                     | 0,88           | 0,165d          | 0,39           |
| 90 - 105      | 0,027c                     | 0,2            | 0,111d                     | 0,3            | 0,126c                     | 0,30           | 0,245d                     | 0,58           | 0,127d          | 0,30           |
| 105 - 120     | 0,020c                     | 0,1            | 0,064d                     | 0,2            | 0,122c                     | 0,30           | 0,216d                     | 0,51           | 0,105d          | 0,25           |
| Soma          | 5,367                      | 38,3           | 15,910                     | 37,9           | 8,571                      | 20,41          | 9,174                      | 21,84          | 9,756           | 23,23          |
| Média         | 0,671c                     | -              | 1,989a                     | -              | 1,071b                     | -              | 1,147b                     | -              | -               | -              |

Análise de Variância do NSPF (kg/ha)

| Testes            | Fontes de Variação |              |
|-------------------|--------------------|--------------|
|                   | Época              | Profundidade |
| F                 | 34,33**            | 135,16**     |
| DMS<br>(Tukey 5%) | 0,353              | 0,593        |
| Coef. Var.        | -----              | 37,96% ----- |
|                   |                    | Ép x Prof    |
|                   |                    | 9,79**       |
|                   |                    | 1,185 (1)    |
|                   |                    | 0,999 (2)    |

(1) e (2) = DMS para profundidades dentro de épocas e para épocas dentro da profundidade de 0-45 cm (significativa), respectivamente.



fil; a partir desta profundidade, as quantidades de NSPF mantiveram-se sem maiores variações até o limite inferior do perfil (120 cm) considerado. Estes resultados nos indicam que o nitrogênio fornecido como fertilizante teve uma baixa mobilidade no solo durante o ciclo da cultura, devido, provavelmente, à baixa dose de N aplicada, fracionamento da adubação, tipo de adubo( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), textura argilosa do solo, teor médio em matéria orgânica, cultura altamente extrativa em curto tempo, precipitação pluvial ou irrigação adequadas (Figura 1), etc., que, segundo numerosos autores (BARTOLOMEU, 1971; BLACK, 1965; BIGGAR e NIELSEN, 1976; BIGGAR *et alii*, 1975; BRINK e JOHANSSON, 1980; COOKE, 1981; HAAG e MALAVOLTA, 1967; REICHARDT *et alii*, 1979; SATIRIOU e KORTE, 1981; WILD, 1972; YOUNDAHL *et alii*, 1980), reduzem a mobilidade ou perdas do nitrogênio no solo.

Do desdobramento da interação épocas de amostragem versus profundidades, apresentadas na Tabela 28 do apêndice, encontrou-se, além das variações entre profundidades dentro de cada época, antes discutidas, variações altamente significativas das quantidades de NSPF entre épocas de amostragem dentro da camada de 0-45 cm do perfil. Isto demonstra mais uma vez a grande dinâmica do NSPF na parte superior do solo, ocasionada pela maior atividade do sistema radicular (que varia com o desenvolvimento da cultura), assim como pelo fracionamento da adubação fornecida.

Finalmente, deve ser mencionado que, após a colheita, a quantidade de NSPF foi de 9,174 kg N/ha (21,84% do total fornecido).

#### 4.4. Nitrogênio na Solução do Solo

Na Tabela 13 são apresentados os dados dos teores médios, em ppm, de nitrogênio total (NTSS) e proveniente do fertilizante (NSSPF) na solução do solo, em quatro profundidades do perfil e em cinco épocas do desenvolvimento da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.).

Os resultados são de análises de amostras coletadas a profundidades maiores de 45 cm, a partir da qual a atividade radicular desta cultura diminui, como já se discutiu anteriormente.

Observa-se, em primeiro lugar, que as concentrações de N total, na solução do solo são baixas e diminuem sensivelmente a partir dos 75 cm de profundidade, o que está relacionado com o baixo teor em N total (ou matéria orgânica) nestas camadas (como já foi discutido), não obstante o enriquecimento em nitrogênio total nas camadas superficiais do solo. Deduz-se, então, que o solo apresenta baixo potencial de perdas de N por lixiviação dada a alta capacidade de armazenamento de água e de troca catiônica, que reduzem significativamente a lixiviação de íons.

As concentrações médias de N total na solução do solo, nas profundidades de 105 e 135 cm (15,0 ppm) são similares às encontradas por LIBARDI e REICHARDT (1978) e MEIRELLES *et alii* (1980), trabalhando com feijoeiro, no mesmo tipo de solo (TRE). Estes resultados, porém, são muito altos em relação aos encontrados por REICHARDT *et alii* (1979) que, trabalhando num Latossolo Vermelho Escuro-fase arenosa, em boas condições hídricas, obtiveram uma concentração média de 2,9 ppm de N na profundidade de 120 cm.

No que diz respeito às concentrações (ppm) de nitrogênio na

TABELA 13 - Teor de nitrogênio total (NTSS) e proveniente do fertilizante (NSSPF) na solução do solo, em quatro profundidades do perfil e em cinco períodos de desenvolvimento da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.).

| Prof.<br>(cm) | E P O C A S         |              |                                     |              |                                     |              |                        |              |                      |              |     |       |        |      |
|---------------|---------------------|--------------|-------------------------------------|--------------|-------------------------------------|--------------|------------------------|--------------|----------------------|--------------|-----|-------|--------|------|
|               | E1<br>(0-06 D.A.G.) |              | E2 <sup>a</sup> /<br>(06-26 D.A.G.) |              | E3 <sup>b</sup> /<br>(26-46 D.A.G.) |              | E4<br>(46 - 66 D.A.G.) |              | E5<br>(66-86 D.A.G.) |              |     |       |        |      |
|               | NTSS<br>(ppm)       | NSSPF<br>(%) | NTSS<br>(ppm)                       | NSSPF<br>(%) | NTSS<br>(ppm)                       | NSSPF<br>(%) | NTSS<br>(ppm)          | NSSPF<br>(%) | NTSS<br>(ppm)        | NSSPF<br>(%) |     |       |        |      |
| 45            | 72,36               | -            | 81,69                               | 2,4300       | 0,30                                | 4,250        | 0,0064                 | 0,15         | 28,6                 | 0,6000       | 2,1 | 18,18 | 0,9572 | 5,27 |
| 75            | 59,69               | -            | 40,09                               | 0,0050       | 0,01                                | 4,502        | 0,0361                 | 0,08         | 34,2                 | 0,0688       | 0,2 | 38,00 | 0,1592 | 0,42 |
| 105           | 10,39               | -            | 15,54                               | 0,0050       | 0,03                                | 4,430        | 0,1903                 | 0,43         | 24,2                 | 0,0241       | 0,1 | 29,00 | 0,0434 | 0,15 |
| 135           | 19,05               | -            | 10,57                               | 0,0500       | 0,47                                | 1,356        | 0,0143                 | 0,10         | 17,3                 | 0,0314       | 0,2 | 18,32 | 0,0242 | 0,13 |

NTSS = nitrogênio total na solução do solo

NSSPF = nitrogênio na solução do solo proveniente do fertilizante

a/ = após aplicação de 1/3 de N (14 kg N/ha)

b/ = após aplicação dos 2/3 restantes de N

solução do solo proveniente do fertilizante (NSSPF), pode-se notar que, em todas as épocas esta também foi muito baixa, observando-se que aos 105/135 cm do perfil a concentração média foi de 0,048 ppm (0,32% do total). Dessa forma, pode-se também deduzir que a quantidade lixiviada de N proveniente do fertilizante foi muito baixa, devido provavelmente às boas condições hídricas durante a cultura e o tipo de adubo empregado. O  $N-NH_4$  empregado pode ter ficado retido nas camadas superficiais pela CTC do solo, reduzindo, assim, sua mobilidade. Em nossas condições de trabalho, a imobilização do N aplicado, por ação da matéria orgânica do solo, não pode ser considerada na retenção do N fornecido, uma vez que as relações C/N, em todas as camadas do perfil, não foram maiores que 7 e, nessa situação, a mineralização é o processo dominante na dinâmica da matéria orgânica do solo.

Na Figura 5 pode-se visualizar melhor o que acabamos de discutir. Além disso, pode-se observar claramente as grandes variações na concentração de nitrogênio total e proveniente do fertilizante entre os diferentes períodos de amostragem. Isto está muito relacionado com as variações das quantidades de N absorvidas ao longo do desenvolvimento da cultura, e com o fracionamento da adubação efetuada. Deve se dar ênfase que, ao final da cultura, na profundidade de 45 cm, houve um incremento visível na concentração de NSSPF, o que dá uma idéia da demora do caminhamento do N fornecido. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por GOLDEN (1980), em Sri Lanka, em cultura de chá.

Pelo exposto, pode-se concluir que, no presente trabalho, as perdas de nitrogênio proveniente do fertilizante foram mínimas, uma vez que também em condições similares, outros pesquisadores (LIBARDI e REICHARDT,

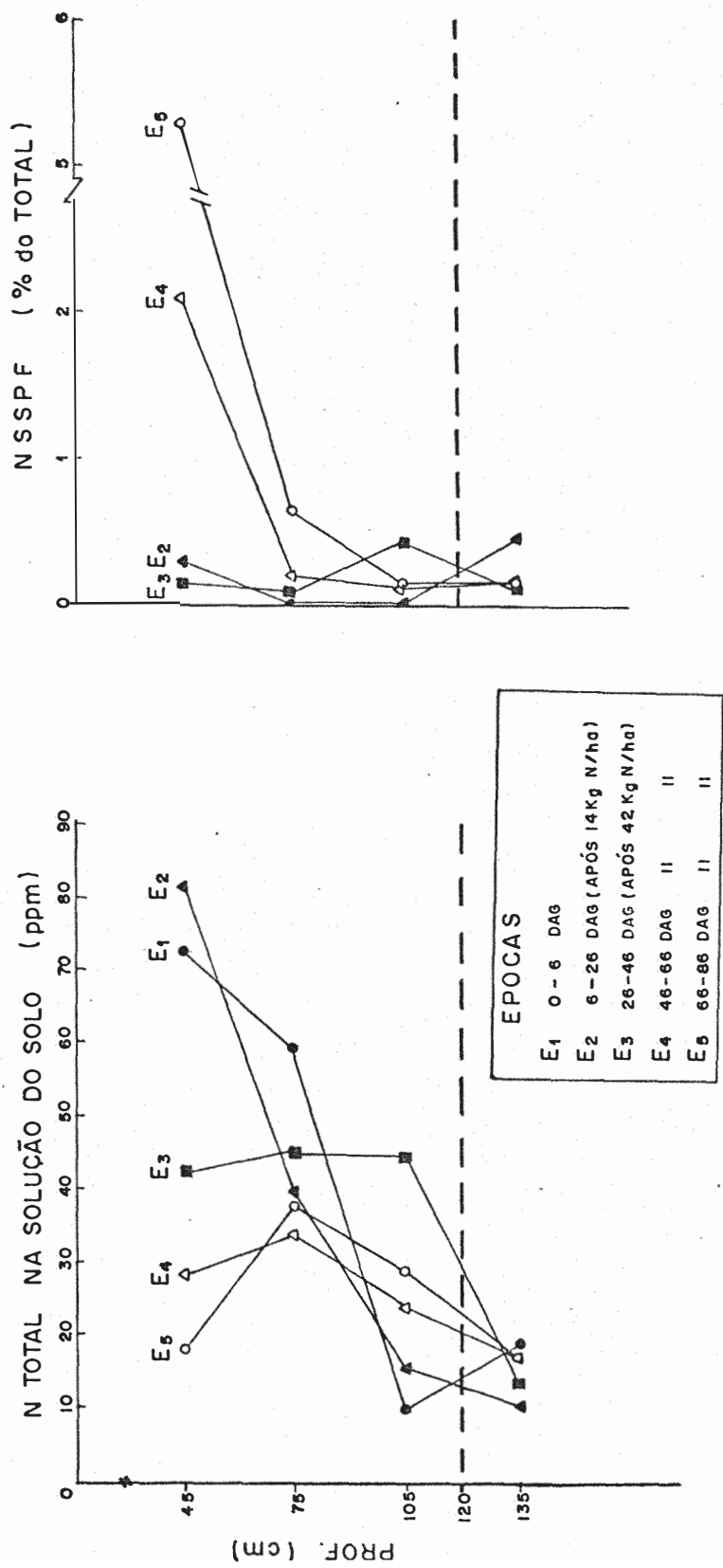


FIGURA 5 - Variação da concentração do N total (NTSS) e da porcentagem de N proveniente do fertilizante na solução do solo, ao longo do perfil do solo, em cinco épocas do desenvolvimento da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.).

1978; MEIRELLES *et alii*, 1980; REICHARDT, 1979) encontraram perdas de N total da ordem de 6 kg/ha, dos quais apenas 0,4 a 0,8 kg N/ha provinha do fertilizante aplicado (80-120 kg N/ha).

#### 4.5. Balanço do Nitrogênio Proveniente do Fertilizante no Sistema Solo-Planta

Na Tabela 14 é apresentado o balanço da quantidade de nitrogênio aplicada como fertilizante ao sistema solo-planta em estudo, em quatro épocas do desenvolvimento da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.).

Observa-se que o presente estudo foi eficiente em medir as quantidades de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante (NSPF), nas diferentes épocas do desenvolvimento da cultura, embora estas quantidades sejam muito pequenas em relação ao total do nitrogênio natural do solo (11168,18 kg/ha). Isto foi muito favorecido pelo uso de um adubo altamente enriquecido em  $^{15}\text{N}$  (56,111 % Át.  $^{15}\text{N}$ ). Em condições similares ao nosso experimento, outros pesquisadores (CERVELLINI *et alii*, 1980; LIBARDI e REICHARDT, 1978; LIBARDI *et alii*, 1981) têm estudado a dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta, usando N enriquecido com teores menores de 3,2% de Átomos de  $^{15}\text{N}$ , mas só puderam avaliar o NSPF até a 2a. colheita ou não conseguiram. Ao que parece, estes resultados são uma consequência do uso de adubo com pouco enriquecimento em  $^{15}\text{N}$ , pois, num solo com grande quantidade de N total (maior que 11000 kg N/ha), o adubo marcado sofre diluição isotópica e fica difícil determinar diferenças nas composições isotópicas do N do solo, em relação ao tratamento controle.

Além disso, observa-se, pela Tabela 14, que na presente pesquisa pôde-se contabilizar de 74,96 a 96,29% do total de nitrogênio fornecido ao sistema solo-planta em estudo, durante o desenvolvimento do feijoeiro. A variação encontrada se deve à desuniforme distribuição do adubo no solo, o qual demora para ficar uniformemente distribuído no perfil.

Finalmente, observa-se que, do adubo fornecido, aproximadamente 9,0 kg N/ha (21,8% do total) ficou no solo como resíduo para as culturas seguintes. Os 5,5% do adubo fornecido que o balanço não deu conta, deve ter ficado no solo ou lixiviado, mas a última possibilidade não deve ter significado, como se discutiu anteriormente.

Não foi possível fazer o balanço do nitrogênio do solo original, pois, como se viu, não foi possível detectar variações lógicas da armazenagem de N durante a cultura, e não se determinou as quantidades de N lixiviadas. Só ao final da cultura encontrou-se que a planta extraiu do solo 97,583 kg N/ha.

TABELA 14- Balanço de nitrogênio em quatro épocas da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.) da quantidade deste nutriente fornecido ao sistema solo-planta em estudo.

| Épocas<br>(D.A.G.)  | N<br>Aplicado<br>Acumulado<br>(kg/ha) | N no Sistema Solo-Planta      |                               |                  | % do<br>N Apli-<br>cado |
|---------------------|---------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|-------------------------|
|                     |                                       | N - Planta<br>NPPF<br>(kg/ha) | NSPF<br>(residual)<br>(kg/ha) | Total<br>(kg/ha) |                         |
| E <sub>2</sub> (26) | 14,0                                  | 6,278                         | 5,367±0,194                   | 11,915           | 85,11                   |
| E <sub>3</sub> (46) | 42,0                                  | 15,572                        | 15,910±0,584                  | 31,482           | 74,96                   |
| E <sub>4</sub> (66) | 42,0                                  | 31,870                        | 8,571±0,384                   | 40,441           | 96,29                   |
| E <sub>5</sub> (86) | 42,0                                  | 30,517                        | 9,174±0,355                   | 39,691           | 94,50                   |

D.A.G. = Dias Após a Germinação

NPPF = Nitrogênio na Planta Proveniente do Fertilizante

NSPF = Nitrogênio no Solo Proveniente do Fertilizante



## 5. CONCLUSÕES

Da discussão dos resultados encontrados no presente trabalho, pode-se concluir que:

1) A adubação nitrogenada aumentou significativamente a produção da parte aérea (ramos+folhas) (22%), das vagens (209%) e dos grãos (472,28%) do feijoeiro.

2) A adubação nitrogenada aumentou significativamente a quantidade de nitrogênio acumulada pelas vagens (183,9%) e grãos (412,65%) da cultura.

3) O acúmulo de matéria seca total e de nitrogênio absorvido aumentou significativamente, em cada época de desenvolvimento da cultura, sendo este acúmulo sensivelmente maior no período de desenvolvimento das vagens (66 D.A.G.).

4) Na colheita, as quantidades totais de nitrogênio extraídas pela cultura foram de 81,40 kg N/ha na testemunha e 128,10 kg N/ha no

tratamento adubado com N, sendo exportados com os grãos 16,4% e 53,46%, respectivamente.

5) A porcentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante variou sensivelmente ( $p = 0,05$ ) entre as épocas de desenvolvimento das plantas, mas não variou ( $p = 0,05$ ) dentro de cada época, em todos os órgãos avaliados da cultura.

6) A porcentagem máxima de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante, 27,33% (31,87 kg N/ha) e a eficiência máxima de utilização do fertilizante nitrogenado, 75,88%, ocorreram aos 66 D.A.G., coincidindo com o estágio de maior desenvolvimento das vagens.

7) A quantidade de nitrogênio nos grãos proveniente do fertilizante foi de 16,338 kg/ha, sendo sua eficiência de utilização 38,90%.

8) A variação ( $p = 0,05$ ) das quantidades de nitrogênio contidas no perfil do solo foi sensivelmente maior que a das extraídas pelas plantas, durante o desenvolvimento da cultura.

9) Ao final da cultura, ficaram no solo 9,174 kg/ha (21,84%) do nitrogênio proveniente do fertilizante, como efeito residual, sendo que mais de 86% ficaram acumulados nas camadas superficiais (0-45 cm) do perfil do solo.

10) Na solução do solo, a concentração média de N total e a proveniente do fertilizante diminuíram marcadamente com a profundidade do solo, sendo que, no limite inferior do perfil (105/135 cm), a concentração de N total (15 ppm) e a do N proveniente do fertilizante

(0,048 ppm) foram muito baixas.

11) Pelo uso de um adubo altamente enriquecido em  $^{15}\text{N}$  (56,111%) p $\hat{o}$ de-se contabilizar um m $\acute{a}$ ximo de 96,29% da quantidade de nitrog $\hat{e}$ nio fornecido ao sistema solo-planta.

## 6. LITERATURA CITADA

ADRIANO, D.C.; F.H. TAKATORI; P.F. PRATT e O.A. LORENZ, 1972. Soil nitrogen balance in selected row-crop sites in Southern California. *J. Environ. Qual.*, Maryland, 1: 279-283.

AINA, P.O.; R. LAL e G.S. TAYLOR, 1979. Effects of vegetal cover on soil erosion on an Alfisol. In: LAL, R. e D.J. GREENLAND, eds. *Soil physical properties and crop production in the tropics*. New York, John Wiley. p. 501-508.

ALMEIDA, D.L.; G.G.S. PESSANHA e A.F. PENTEADO, 1973. Efeito da calagem e da adubação fosfatada na nodulação e produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.). *Pesq. Agropec. Bras.*, Rio de Janeiro, 8(7): 127-130.

AMARAL, F.A.L.; H.E.C. REZENDE; M.O.C. BRASIL SOBRINHO e E. MALAVOLTA, 1980. Exigência de nitrogênio, fósforo e potássio de alguns cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.). *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, Piracicaba, 37: 223-239.

ANDERSON, F.N.; G.A. PETERSON e R.A. OLSON, 1972. Uptake patterns of N

- tagged nitrate by sugarbeets related to soil nitrate level and time.  
*J. Am. Soc. Sugar Beet Technol.*, 17: 42-48.
- ANDREW, C.S., 1978. Legumes and acid soils. In: DÖBEREINER, J. *et alii*. eds. *Limitations and potentials for biological nitrogen fixation in the tropics*. New York, Plenum Press. p. 135-160.
- ANJOS, J.T. e M.J. TEDESCO, 1976. Volatilização de amônia proveniente de dois fertilizantes nitrogenados aplicados em solos cultivados. *Científica*, Jaboticabal, 4(1): 49-55
- ARONDEL DE HAYES, J. e M. HUYEZ, 1973. Les essais maraichers à Farako-Ba (Haute-Volta) i synthèse de dix ans de travaux. *Agronomie Tropicale*, Paris, 28(8): 717-750.
- ARORA, R.P.; M.S. SACHDEV; Y.K. SUD; V.K. LUTHRA e B.V. SUBBIAH, 1980. Fate of fertilizer nitrogen in a multiple cropping system. In: IAEA. *Soil nitrogen as fertilizer or pollutant*. Piracicaba, S.P. 1978. Vienna. p. 3-22.
- BAINS, K.S., 1967. Effect of applied nutrients on soil fertility, chemical composition and yield of field beans. *Indian Journal of Agronomy*, Delhi, 12(2): 200-206.
- BARTHOLOMEW, W.V., 1971. <sup>15</sup>N in research on the availability and crop use of nitrogen. In: IAEA. *Nitrogen-15 in soil-plant studies*. Vienna. p. 1-19.
- BARTHOLOMEW, W.V., 1975. El nitrógeno y la materia orgánica de los suelos. In: DROSDOFF, M. *et alii*, eds. *Suelos de las regiones tropicales*

*húmedas*. Buenos Aires, Ed. Marymar. p. 81-107.

BARRIOS, A., *et alii*, 1970. Resultados de ensayos de fertilización en caraota (*Phaseolus vulgaris*, L.). *Agronomia Tropical*, Maracay, 20(5): 355-369.

BERTONI, S., I. PASTANA; F. LOMBARDI e R. BENATTI, 1972. Conclusões gerais das pesquisas sobre conservação de solos no Instituto Agronômico. Campinas, Instituto Agronômico. 56 p. (Circular, nº 20).

BERTONI, S.; F. LOMBARDI e R. BENATTI, 1975. Equação de perdas de solo. Campinas, Instituto Agronômico. 24 p. (Boletim Técnico, nº 21).

BIGGAR, J.W., 1978. Spatial variability of nitrogen in soils. *In*: NIELSEN, D.R. e J.G. MACDONALS, eds. *Nitrogen in the environment*. New York, Academic Press, vol. 1. p. 201-221.

BIGGAR, J.W. e D.R. NIELSEN, 1976. The spatial variability of the leaching characteristics of a field soil. *Water Resources Research*, Washington, 12: 78-84.

BIGGAR, J.W.; D.R. NIELSEN e J.L. MACINTYRE, 1975. Measurement of water and nitrogen fluxes in soil profiles planted to maize. *In*: IAEA. *Isotope ratios as pollutant source and behaviour indicators*. Vienna. p. 417-428. (IAEA-SM-191).

BLACK, C.A., 1965. Crop yields in relation to water supply and soil fertility. *In*: PIERRE, W.H. *et alii*, eds. *Plant environment and efficient water use*. Madison, American Society of Agronomy. p. 3-22.

- BRAGA, J.M.; B.V. DEFELIPO; C. VIEIRA e L.A.N. FONTES, 1973. Vinte ensaios de adubação N-P-K da cultura do feijão na Zona da Mata de Minas Gerais. *Revista Ceres*, Viçosa, 20(111): 370-380.
- BREMNER, J.M., 1965a. Total nitrogen. In: BLACK, C.A. *et alii*, eds. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy. Part 2. p. 1149-1178.
- BREMNER, J.M., 1965b. Isotope ratio analysis of nitrogen in nitrogen-15. Tracer investigation. In: BLACK, C.A. *et alii*, eds. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy. Part 2. p. 1256-1286.
- BRILL, W.V., 1977. Biological nitrogen fixation. In: *Scientific American Magazine*, New York, 236: 68-81
- BRINK, N. e R. JOHANSSON, 1980. Leaching of nitrogen. In: SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET. *Ecological systems of arable land*. Uppsala, p. 95-96.
- BUCKMAN, H.O. e N.C. BRADY, 1969. *The nature and properties of soils*. 7a. ed. Toronto, MacMillan. 653 p.
- CALVACHE, A.M., 1981. Absorção, translocação e eficiência de utilização do nitrogênio fertilizante  $CO(^{15}NH_2)_2$  por dois cultivares de milho (*Zea mays*, L.). Piracicaba, ESALQ/USP. 85 p. (Dissertação de Mestrado).
- CAMERON, K.C. e A. WILD, 1980. Comparative appraisal of simple equations or models for predicting nitrate movement in the soil profile. In: IAEA. *Studies of the useful conservation and the pollutant potential*

- of agricultural nitrogen residues*. Vienna, 25-29 August 1980. *Abstracts*. Vienna. p. 17. (IAEA-SR-48).
- CARDOSO, A.A.; L.A.N. FONTES e C. VIEIRA, 1978. Efeito de fontes e doses de adubo nitrogenado sobre a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.). *Revista Ceres*, Viçosa, 25(139): 292-295.
- CARVELLO, H.O.; D.K. CASSEL; J. HAMMOND e A. BAUER, 1976. Spatial variability of in situ unsaturated hydraulic conductivity of Maddock sandy loam. *Soil Sci.*, Baltimore, 121: 1-8.
- CATANI, R.A. e A.O. JACINTHO, 1974. Análise química para avaliar a fertilidade do solo. Piracicaba, ESALQ/USP. 54 p. (Boletim Técnico-Científico, nº 37).
- CERVELLINI, A.; A.P. RUSCHEL; E. MATSUI; E. SALATI; E.A.G. ZAGATTO; H.F.F. FERREYRA; F.J. KRUG; H. BERGAMIN Fº; K. REICHARDT; N.M.F. MEIRELLES, P.L. LIBARDI; R.L. VICTORIA; S.M.T. SAITO e V.F. NASCIMENTO FILHO, 1980. Fate of <sup>15</sup>N applied as ammonium sulphate to a bean crop. In: IAEA. *Soil nitrogen as fertilizer or pollutant*. Vienna. p. 23-38. (Panel Proceedings Series).
- CERVELLINI, A.; E. SALATI; E.S. BARROS FERRAZ; N.A. VILLA NOVA; K. REICHARDT; A. DECICO; J.C. OMETTO e M.J. PEDRO JUNIOR, 1973. Análise dos dados meteorológicos de Piracicaba (SP). Piracicaba, ESALQ/USP. 26 p. (Boletim Científico, nº 36).
- CHENG, B.T., 1977. Soil organic matter as a plant nutrient. In: IAEA. *Soil organic matter studies*. Braunschweig, 1976. Vienna. p. 31-39.



- CLARK, F.E.; W.E. BEARD e D.H. SMITH, 1960. Dissimilar nitrifying capacities of soils in relation to losses of applied nitrogen. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Madison, 24: 50.
- COBRA, N.A., 1967. Absorção e deficiência dos macronutrientes pelo feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L., var. roxinho). Piracicaba, ESALQ/USP. 67 p. (Dissertação de Mestrado).
- COOKE, G.W., 1981. The fate of fertilizers. In: GREENLAND, D.J. e M.H.B. HAYES, eds. *The chemistry of soil processes*. New York, John Wiley. p. 563-592.
- DANCER, W.S. e L.A. PETERSON, 1961. Recovery of differentially placed  $\text{NO}_3\text{-N}$  in a silt loam soil by five crops. *Agronomy Journal*, Madison, 61(6): 893-895.
- DE BOODT, M.; C. VAN DER BERGHE e D. GABRIELS, 1979. Fertilizer losses associated with soil erosion. In: LAL, R. e D.J. GREENLAND, eds. *Soil physical properties and crop production in the tropics*. New York, John Wiley. p. 455-464.
- DE MEESTER, T.; A.C. IMESON e P.D. JUNGRIUS, 1979. Some problems in assessing soil loss from small-scale field measurement. In: LAL, R. e D.J. GREENLAND, eds. *Soil physical properties and crop production in the tropics*. New York, John Wiley. p. 465-473.
- DÖBEREINER, J., 1968. Non symbiotic fixation in tropical soils. *Pesq. Agropec. Bras.*, Rio de Janeiro, 3: 1-6.
- DÖBEREINER, J., 1978. Potential for ~~nitrogen~~ fixation in tropical legumes

and grasses. In: DÖBEREINER, J. *et alii*, eds. *Limitations and potentials for biological nitrogen fixation in the tropics*. New York, Plenum Press. p. 13-24.

DÖBEREINER, J. e J.M. DAY, 1975a. Associative symbiosis in tropical grasses: characterization of microorganisms and dinitrogen fixing sites. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON N<sub>2</sub> FIXATION, 19, Pulman, June 3-7, 1975. *Proceedings*. Pulmann, Washington State University. p. 27 - 38.

DÖBEREINER, J. e J.M. DAY, 1975b. Potential significance of nitrogen fixation in rhizosphere association of tropical grasses. In: BORNEMISZA e A. ALVARADO, eds. *Soil management in tropical America*. Raleigh, North Carolina State University. p. 197-210.

DÖBEREINER, J.; J.M. DAY e P.J. DART, 1972. Nitrogenase activity in the rhizosphere of sugar cane and some other tropical grasses. *Plant and Soil*, The Hague, 37: 191-196.

EIRA, P.A.; G.G. PESSANHA; D.P.P.S. BRITTO e A.R. CARVAJAL, 1973. Comparação de esquemas experimentais em experimentos de adubação mineral de nitrogênio e fósforo na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.). *Pesq. Agropec. Bras.* - Ser. Agron., Rio de Janeiro, 8: 121-125.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Arroz e Feijão, 1981. *Recomendações técnicas para a cultura do feijão com irrigação suplementar*. Goiânia. 15 p.

ENO, C.F. e W.G. BLUE, 1957. The comparative rate denitrification of anhydrous ammonia, urea and ammonia sulphate in sandy soils. *Soil Sci.*

*Soc. Amer. Proc.*, Madison, 21: 392.

EPSTEIN, E., 1975. *Nutrição mineral das plantas. Princípios e Perspectivas*. Trad. de E. MALAVOLTA. São Paulo, Livros Técnicos e Científicos e EDUSP. p. 286-324.

ERNST, J.W. e H.F. MASSEY, 1960. The effects of several factors on volatilization of ammonia formed from urea in the soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Madison, 24: 87-92.

FASSBENDER, H., 1975. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Turrialba, IICA. 398 p.

FELIPE-MORALES, C.; R. MEYER; C. ALEGRE e C. VITTORELLI, 1979. Losses of water and soil under different cultivation systems in two Peruvian locations, Santa Ana (Central Highlands) and San Ramon (Central High Jungle) 1975-1976. In: LAL, R. e D.J. GREENLAND, eds. *Soil physical properties and crop production in the tropics*. New York, John Wiley. p. 489-499.

FRANCO, A., 1978. Micronutrient requirements of legume-*Rhizobium* symbiosis in the tropics. In: DÖBEREINER, J. *et alii*, eds. *Limitations and potentials for biological nitrogen fixation in the tropics*. New York, Plenum Press. p. 161-171.

FRANCO, A.A. e S. DÖBEREINER, 1967. Especificidade hospedeira na simbiose com *Rhizobium*. Feijão e influência de diferentes nutrientes. *Pesq. Agropec. Bras.*, Rio de Janeiro, 2: 467-474.

FRIED, M.; K.K. TANJI e R.M. VAN DE POL, 1976. Simplified long term concept

- for evaluating leaching of nitrogen from agricultural land. *J. Environ. Qual.*, Maryland, 5: 197-200.
- FRISSEL, M.J. e J.A. VAN VEEN, 1980. Review of mathematical models on the behaviour of nitrogen in soil, its uptake by plants and release to the environment. *In: IAEA. Seminar on isotope techniques in studies of the useful conservation and the pollutant potential of agricultural nitrogen residues. Vienna, 25-29 August 1980. Abstracts. Vienna, p. 16 (IAEA-SR-48).*
- GALLO, J.R. e S. MIYASAKA, 1961. Composição química do feijoeiro e absorção de elementos nutritivos, do florescimento à maturação. *Bragantia*, Campinas, 20: 867-884.
- GASSER, J.K.R., 1964. Fertilizer urea. *World Crops*, London, (3): 1-8.
- GASSER, J.K.R., 1970. Nitrification inhibitors. Their occurrence, production and effects of their use on yields and composition. *Soil Fertil.*, London, 33(6): 547-554.
- GILES, J.F.; J.O. REUSS e A.E. LUDWICK, 1975. Prediction of nitrogen status of sugarbeets by soil analysis. *Agron. J.*, Madison, 67: 454-459.
- GLÓRIA, N.A.; R.A. CATANI e T. MATUO, 1965. O método de EDTA na determinação de cálcio e magnésio trocável do solo. *R. Agric.*, Piracicaba, 40: 47-74.
- GOLDEN, D.C., 1980. Nitrification and movement of the nitrate after application of ammonium sulphate in a red-yellow podzolic tea soil in Sri Lanka. *In: IAEA. Seminar on isotope techniques in studies of the*

- useful conservation and the pollutant potential of agricultural nitrogen residues. Vienna, 25-29 August 1980. *Abstracts*. Vienna, p. 27 (IAEA-SR-48).
- GREENLAND, D.J., 1958. Nitrate fluctuations in tropical soils. *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, 50: 82-91.
- GREENWOOD, D.J.; A. BARNES; K. LIU; J. HUNT; T.J. CLEAVER e S.M.H. LOQUENS, 1980. Relationships between the critical concentrations of nitrogen, phosphorus and potassium in 17 different vegetable crops and duration of growth. *J. Sci. Food Agric.*, London, 31: 1343-1353.
- GROSS BRAUN, W.A., 1981. Nitrogênio: limitações, opções e perspectivas para a agricultura. *Fertilizantes*, São Paulo, 3(1).
- GUAZELLI, R.J.; J.F. MENDES; G.R. BAUWIN e S.E. MILLER, 1973. Efeitos agronômicos e econômicos do calcário, nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre e micronutrientes nos rendimentos de soja, feijão e arroz em Uberaba, Minas Gerais. *Pesq. Agropec. Bras. - Sér. Agron.*, Rio de Janeiro, 8: 29-37.
- GUSS, A. e J. DÖBEREINER, 1972. Efeito da adubação e da temperatura do solo na fixação do nitrogênio em feijão. *Pesq. Agropec. Bras. - Sér. Agron.*, Rio de Janeiro, 7: 87-92.
- HAAG, H.P. e E. MALAVOLTA, 1967. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. *Bragantia*, Campinas, 26: 381-391.
- HENZEL, E.F. e D.O. NORRIS, 1962. Processes by which nitrogen is added to the soil-plant. In: COMMONWEALTH BUREAU PASTURES FIELD CROPS. *A review*

*of nitrogen in the tropics with particular reference to pastures.*

Aberysthyt. p. 1-18. (Bulletin, nº 46).

HERRERA B., M.A., 1964. Ensayos de fertilización en frijoles (*Phaseolus vulgaris*, L.) en cinco distintas localidades de los cantones de Acosta y Aserri. Universidad de Costa Rica, San José. Facultad de Agronomía. (Tese).

HERRON, G.M.; A.F. DREIER; A.D. FLOWERDAY; W.L. COLVILLE e R.A. OLSON, 1971. Residual mineral N accumulation in soil and its utilization by irrigated corn (*Zea mays*, L.). *Agron. J.*, Madison, 63: 322-327.

HERRON, G.M.; G.L. TERMAN; A.F. DREIER e R.A. OLSON, 1968. Residual nitrate nitrogen in fertilized deep loess-derived soils. *Agron. J.*, Madison, 60: 477-482.

HILL, J., 1980. The remobilization of nutrients from leaves. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 2(4): 407-444.

JACKSON, M.L., 1976. *Análisis químico de suelos*. 3a. ed. Barcelona, Omega. 662 p.

JAMES, D.W.; D.C. KIDMAN; W.H. WEAVER e R.L. REEDER, 1968. *Predicting the nitrogen fertilizer requirements of sugar beets grown in Central Washington*. Pulman, Agricultural Experiment Station. 11 p. (Circular, nº 488).

JENNY, H.A. e S.P. RAUCHAUDHURI, 1960. *Effect of climate and cultivation on nitrogen and organic matter reserves in Indian soils*. New Delhi, Indian Council of Agricultural Research. 130 p.

- JUNGERIUS, P.O., 1975. The properties of volcanic ash soils in dry parts of the Colombian Andes and their relation to soil erodability. *Catena*, Giessen, 2: 69-80.
- KANDIAH, A., 1979. Influence of soil properties and crop cover on the erodibility of soils. In: LAL, R. e D.J. GREENLAND, eds. *Soil physical properties and crop production in the tropics*. New York, John Wiley. p. 474-487.
- KILMER, V.J. e V.T. ALEXANDER, 1949. Methods of making mechanical analysis of soils. *Soil Sci.*, Baltimore, 68: 15-26.
- KINJO, T. e P.F. PRATT, 1971. Nitrate adsorption. I. In some acid soils of Mexico and South America. II. In competition with chloride, sulphate and phosphate. III. Desorption, movement and distribution in Andepts. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Madison, 35: 722-732.
- KOLLMAN, G.E.; J.C. STREETER; D.L. JEFFERS e R.B. CURRY, 1974. Accumulation and distribution of mineral nutrients, carbohydrate and dry matter in soybean plants as influenced by reproductive sink size. *Agron. J.*, Madison, 66: 549-554.
- KORNELIUS, E.; L.F. SOBRAL; J.C. GOMES e E.M. RODRIGUES, 1976. Efeito de doses e épocas de aplicação de nitrogênio na produção de feijão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15º, Campinas, 1975. *Anais*. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 225-228.
- KORTE, F., 1980. Chemical control of nitrification in soil nitrogen management. In: IAEA. *Seminar on isotope techniques in studies of the*

*useful conservation and the pollutant potential of agricultural nitrogen residues.* Vienna, 25-29 August 1980. *Abstracts.* Vienna. p. 19. (IAEA-SR-48).

LAL, R.; 1974. Soil erosion and shifting agriculture. *FAO Soils Bulletin*, Rome, 24: 48-71.

LAL, R.; B.T. KANG; F.R. MOORMAN; A.S.R. JUO e J.C. MOOMAW, 1975. Soil management problems and possible solutions in Western Nigeria. In: BORNEMISZA, E. e A. ALVARADO, eds. *Soil management in tropical America.* Raleigh, North Carolina State University. p. 372-408.

LA RUE, M.E.; D.R. NIELSEN e R.M. HAGAN, 1968. Soil water below a ryegrass root zone. *Agron. J.*, Madison, 60: 625-629.

LEAL, J.R. e R. ALVAHYDO, 1961. Transformação e deslocamento do íon amônio em solo da Série Itaguaí. *Pesq. Agropec. Bras.*, Sér. Agron., Rio de Janeiro, 6: 129-135.

LIBARDI, P.L. e K. REICHARDT, 1978. Destino da uréia aplicada a um solo tropical. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 2: 40-44.

LIBARDI, P.L.; R.L. VICTÓRIA; K. REICHARDT e A. CERVELLINI, 1981. The fate of urea applied to tropical bean (*Phaseolus vulgaris*, L.) crop. In: WORKSHOP ON NITROGEN CYCLING IN ECOSYSTEMS OF LATIN AMERICA AND CARIBBEAN, Cali, 16-21 março 1981, Cali, CIAT.

LIKENS, G.E.; F.H. BORMANN; N.M. JOHNSON; D.W. FISHER e R.S. PIERCE, 1970. Effects of forest cutting and herbicide treatment on nutrient budgets in the hubbard brook watershed-ecosystem. *Ecol. Monog.*, Durhan, 40: 23-47.



- LUDWICK, A.E.; J.O. REUSS e E.J. LANGIN, 1976. Soil nitrates following four years continuous corn and as surveyed in irrigated farm fields of Central and Eastern Colorado. *J. Environ. Qual.*, Maryland, 5(1): 82-86.
- LUDWICK, A.E.; P.N. SOLTANPOUR e J.O. REUSS, 1977. Nitrate distribution and variability in irrigated fields of Northeastern Colorado. *Agronomy Journal*, Madison, 69: 710-713.
- LUND, J.W.G., 1967. Soil algae. In: BURGESS, A. e F. RAW, eds. *Soil biology*. London, Academic Press. p. 129-147.
- LUND, L.J.; D.C. ADRIANO e P.F. PRATT, 1974. Nitrate concentrations in deep soil cores as related to soil profile characteristics. *J. Environ. Qual.*, Maryland, 3: 78-82.
- MALAVOLTA, E., 1972. Nutrição e adubação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FEIJÃO, 19, Campinas, 22-29 agosto 1971. *Anais*. Viçosa, Imprensa Universitária. p. 211-242.
- MALAVOLTA, E., 1976. *Manual de química agrícola. Nutrição de plantas e fertilidade do solo*. São Paulo, Ceres. p. 203-252.
- MALAVOLTA, E., 1980. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo, Ceres. 252 p.
- MALAVOLTA, E., 1981. *Manual de química agrícola. Adubos e adubação*. 3a. ed. São Paulo, Ceres. p. 31-95.
- MARCOS, Z.Z., 1971. Morphologic and physical properties of fine-textured Oxisols, State of São Paulo. Columbus, Ohio State University. 272 p. (Tese)

MASCARENHAS, H.A.A.; S. MIYASAKA; T. IGUE; A.A. VIEGA e S. ALVES, 1966.

Influência das formas de fertilizantes nitrogenados e suas épocas de aplicação na cultura do feijoeiro. *Bragantia*, Campinas, 25: 41-42.

MATSUI, E.; P.B. VOSE; N.S. RODRIGUES e A.P. RUSCHEL, 1981. Use of  $^{15}\text{N}$

enriched gas to determine  $\text{N}_2$ -fixation by undisturbed sugarcane plant in the field. In: VOSE, P.B. e A.P. RUSCHEL, eds. *Associate dinitrogen fixation*. Boca Raton, CRC Press. p. 153-161.

MEIRELLES, N.M.F., 1979. Absorção e lixiviação de nitrogênio em cultura

de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.). Piracicaba, ESALQ/USP. 69 p.

(Dissertação de Mestrado).

MEIRELLES, N.M.F.; P.L. LIBARDI e K. REICHARDT, 1980. Absorção e lixiviação

de nitrogênio em cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.). *R. bras.*

*Ci. Solo*, Campinas, 4: 83-88.

MELLO, F.A.F.; E.L. POSSÍDIO; J.R. PEREIRA; P.P. ARAÚJO; L. ABRAMOF e O.A.

COSTA, 1980. Efeito da adição de uréia e sulfato de amônio sobre o pH e nitrificação em um solo ácido. *Anais da Escola Superior de Agricultura*

"Luiz de Queiroz", Piracicaba, 37: 1-10.

MEYER, R.D.; R.A. OLSON e H.F. RHOADES, 1961. Ammonia losses from fertilized

Nebraska soils. *Agron. J.*, Madison, 53: 241.

MEKARU, T. e G. UEHARA, 1972. Anion adsorption in ferruginous tropical

soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Madison, 36: 296-300.

MIKKELSEN, D.S. e W.H. PATRICK, 1968. Fertilizer use on rice. In: DINAUER,

R.C., ed. *Changing patterns in fertilizer use*. *Soil Sci. Soc. Amer.*

*Proc.*, Madison. p. 417.

MIYASAKA, S.; L.D. ALMEIDA e E.A. BULISANI (s.d.p.). *Cultura do feijão*.  
s.l.p. 48 p.

MIYASAKA, S.; E.S. FREIRE e H.A.A. MASCARENHAS, 1963. Modo e época da  
aplicação de nitrogênio na cultura do feijoeiro. *Bragantia*, Campinas,  
22: 511-519.

MONIZ, A.C. e M.L. JACKSON, 1967. *Quantitative mineralogical analysis of  
Brazilian soils derived from basic rocks and slate*. Madison, University  
of Wisconsin. 74 p. (Wisconsin Soil Science Report, nº 212).

MURPHY, L.S., 1979. *Nitrogen materials - what, when and where*. Manhattan,  
Kansas State University/Farmland Industries Fieldman's School. 19 p.  
(Mimeografado).

NELSON, L.B., 1972. Agricultural chemicals in relation to environment  
quality: chemical fertilizer, present and future. *J. Environ. Qual.*,  
Maryland, 1: 2-6.

NEPTUNE, A.M.L. e T. MURAOKA, 1978. Aplicação de uréia -  $^{15}\text{N}$  em feijoeiro  
(*Phaseolus vulgaris*, L.) cultivar carioca. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas,  
2: 51-55.

NEYRA, C.A., 1978. Interactions of plant photosynthesis with dinitrogen  
fixation and nitrate assimilation. In: DÖBEREINER, J. *et alii*, eds.  
*Limitations and potentials for biological nitrogen fixation in the  
tropics*. New York, Plenum Press. p. 111-122.

- NEYRA, C.A. e J. DÖBEREINER, 1977. Nitrogen fixation in grass. *In*: BRADY, L.S., ed. *Advances in Agronomy*, New York, Academic Press. p. 1-38.
- NIELSEN, D.R.; J.W. BIGGAR e K.T. ERH, 1973. Spatial variability of field-measured soil-water properties. *Hilgardia*, Berkeley, 45: 125-159.
- NIELSEN, D.R.; P.J. WIERENGA e J.W. BIGGAR, 1980. Movement of nitrate in the soil profile. *In*: IAEA. *Seminar on isotope techniques in studies of the useful conservation and the pollutant potential of agricultural nitrogen residues*. Vienna, 25-29 August 1980. *Abstracts*. Vienna. p. 15. (IAEA-SR-48).
- NOVAIS, R.F. e L.J. BRAGA, 1971. Aplicação de "tufito" e NPK na adubação do feijão em um solo de Patos de Minas. *Revista Ceres*, Viçosa, 18(98): 308-314.
- NUTMAN, P.S., 1975. Symbiotic nitrogen fixation in plants. Cambridge University Press. 584 p. (International Biology, Program, v. 7).
- NYE, P.H. e D.J. GREENLAND, 1960. *The soil under shifting cultivation*. Bucks, Commonwealth Agricultural Bureaux. 156 p. (Technical Communication, nº 51).
- OLIVEIRA, I.P.; H. AIDAR e J.R.P. CARVALHO, 1982. Efeitos de adubação, população de plantas e hábito de crescimento na cultura do feijão. *In*: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, Goiânia, 1982. *Anais*. (No prelo).
- PALANIYANDI, R., 1976. Nutrient interaction studies in snap beans (*Phaseolus vulgaris*, L.). University Park, Pennsylvania State University (Thesis). *In*: CIAT. *Resumenes analiticos sobre frijól (Phaseolus vulgaris, L.)*.

Cali. v.5. p. 30 (Resumen, nº 0068).

PIMENTEL GOMES, F., 1975. *Curso de estatística experimental*. 7a. ed. São Paulo, Nobel. 430 p.

PONS, A.L. e C.F. GOEPFERT, 1975. Efeito da adubação nitrogenada em feijoeiro. I. Solo Camaquã. *Agron. Sulriograndense*, Porto Alegre, 11 (2): 259-266.

PONS, A.L.; C.F. GOEPFERT e F.C. OLIVEIRA, 1976. Efeito da adubação nitrogenada em feijoeiro. II. Solo Vila. *Agron. Sulriograndense*, Porto Alegre, 12(2): 201-206.

POPENOE, H.L., 1957. The influence of the shifting cultivation cycle on soil properties in Central America. In: PACIFIC SCIENCE CONGRESS, 9º, Bangkok. *Proceedings*, 7: 72-77.

POSTGATE, J.R. e S. HILL, 1979. Nitrogen fixation. In: LYNCH, J.M. e N.J. POOLE, eds. *Microbial ecology: a conceptual approach*. Oxford, Blackwel. p. 91-213.

PRATT, P.F.; W.W. JONES e V.E. HUNSAKER, 1972. Nitrate in deep soil profiles in relation to fertilizer rates and leaching volume. *J. Environ. Qual.*, Maryland, 1: 97-102.

PRATT, P.F.; LUND, L.J. e J.M. RIBLE, 1978. An approach to measuring leaching of nitrate from freely drained irrigated fields. In: NIELSEN, D.R. e J.G. MACDONALD, eds. *Nitrogen in the environment*. New York, Academic Press. v.1. p. 223-256.

- PRATT, P.F.; L.J. LUND e J.E. WARNEKE, 1980. Nitrogen losses in relation to soil profile characteristics. In: IAEA. *Seminar on isotope techniques in studies of the useful conservation and the pollutant potential of agricultural nitrogen residues*. Vienna, 25-29 August 1980. *Abstracts*. Vienna. p. 22 (IAEA-SR-48).
- PROKSCH, G., 1969. Routine analysis of  $^{15}\text{N}$  in plant material by mass-spectrometry. *Plant and Soil*, The Hague, 31(2): 380-384.
- RANZANI, G.; O. FREIRE e T. KINJO, 1966. Levantamento da Carta de Solos do município de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ/USP. 85 p. (Mimeografado).
- RAWITZ, E.; D. HILLEL; R. TERKELTOUB; M. MARGOLIN; G. LIPERMAN e M. KRAUS, 1975. The fate of fertilizer nitrogen in irrigated fields under semi-arid conditions. IAEA Progress Report Contract nº 1592 GS.
- REEVE, R.C. e E.J. DOERING, 1965. Sampling the soil solution for salinity appraisal. *Soil Sci.*, Baltimore, 99(5): 339-344.
- REICHARDT, K.; F. GROHMANN; P.L. LIBARDI e S.V. QUEIROZ, 1976. Spatial variability of physical properties of a tropical soil. II. Soil water retention curves and hydraulic conductivity. Piracicaba, CENA. 24 p. (Boletim Técnico, nº 5).
- REICHARDT, K.; P.L. LIBARDI; N.M.F. MEIRELLES; F.F. FERREYRA H.; E.A.G. ZAGATTO e E. MATSUI, 1977. Extração e análise de nitratos em solução do solo. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 1: 130-132.
- REICHARDT, K.; P.L. LIBARDI; R.L. VICTÓRIA e G.P. VIEGAS, 1979. Dinâmica do nitrogênio num solo cultivado com milho. *R. bras. Ci. Solo*,

Campinas, 3: 17-20.

REIS, M.S.; C. VIEIRA e J.M. BRAGA, 1972. Efeito de fontes, doses e épocas de aplicação de adubos nitrogenados sobre a cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.). *Revista Ceres*, Viçosa, 19: 25-42.

ROLSTON, D.E.; D.A. GOLDHAMMER e J.W. BIGGAR, 1974. Nitrogen balance of a fertilized field plot cropped with rye grass. Grant, National Science Foundation. p. 75-84. (Annual Report, nº 134733X).

ROSE, C.W., 1980. Nitrate movement in the soil profile resulting from successive irrigation/Rainfall and drying events. In: IAEA. *Seminar on isotope techniques in studies of useful conservation and the pollutant potential of agricultural nitrogen residues*. Vienna, 25-29 August 1980. *Abstracts*. Vienna. p. 18. (IAEA-SR-48).

RUSCHEL, A.P., 1979. Fixação biológica do nitrogênio. In: GUIMARÃES FERRI, M., ed. *Fisiologia vegetal*. São Paulo, EDUSP. v.1. p. 167-178.

RUSCHEL, A.P.; Y. HENIS e E. SALATI, 1975. Nitrogen-15 tracing of N-fixation with soil-grown sugar cane seedlings. *Soil Biol. Biochem.*, England, 7: 181-182.

RUSCHEL, A.P.; R.L. VICTÓRIA; E. SALATI e Y. HENIS, 1978. Nitrogen fixation in sugar cane (*Saccharum officinarum*, L.). *Ecol. Bull.*, Estocolmo, 26: 297-303.

RUSSEL, E.W., 1973. *Soil conditions and plant growth*. 10a. ed. London, Longman. p. 327-385.

- SANCHEZ, P.A., 1976. *Properties and management of soils in the tropics*. New York, John Wiley. p. 184-222.
- SANTA CECÍLIA, F.C. e E.C. PRADO, 1977. Efeito de níveis de nitrogênio na nodulação de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.). *Ciência Prática*, Lavras, 1(1): 17-21:
- SATIRIOU, N. e F. KORTE, 1980. Balance and fate of nitrogen-15-fertilizer in soil/plant systems under outdoor condition. In: IAEA. *Seminar on isotope techniques in studies of the useful conservation and the pollutant potential of agricultural nitrogen residues*. Vienna, 25-29 August 1980. *Abstracts*. Vienna. p. 24. (IAEA-SR-48).
- SAYRE, J.D., 1948. Mineral accumulation in corn. *Plant Physiology*, Lancaster, 23: 267-281.
- SCOTTER, D.R., 1978. Preferential and solute movement through larger soil voids. I. Some computations using simple theory. *Aust. J. Soil Res.*, Melbourne, 16: 257-267.
- SNPA - Servicio Nacional de Pesquisa Agronômica, 1960. *Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo*. Rio de Janeiro. 634 p. (Boletim, nº 12).
- SILVA, M.I.; T. DARIVA; J. KAMINSKI e F.M. XAVIER, 1977. Efeito de níveis e épocas de aplicação de nitrogênio na produção do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.). *R. Centro Ci. Rurais*, Santa Maria, 7(4): 395-401.
- SIMS, J.R. e G.D. JACKSON, 1971. Rapid analysis of soil nitrate with chromotropic acid. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 35: 603-606.



- SINGH, R.N., 1961. *Role of blue-green algae in nitrogen economy of Indian agriculture*. New Delhi, Indian Council of Agricultural Research. 175 p.
- SOULIDES, D.A. e F.E. CLARK, 1958. Nitrification in grassland soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Madison, 22: 308.
- STOUT, P.R. e R.G. BURAU, 1967. The extent and significance of fertilizer buildup in soils as revealed by vertical distributions of nitrogenous matter between soils and underlying water reservoirs. In: BRADY, N.C., ed. *Agriculture and the quality of our environment*. Norwood, Plimpton Press. p. 283-310.
- SUAREZ DE CASTRO, F., 1957. Las quemas como práctica agrícola y sus efectos. Federación Nacional de Cafetaleros de Colombia. (Boletim Técnico, nº 2).
- SUAREZ DE CASTRO, F. e G. RODRIGUEZ, 1962. Investigaciones sobre la erosión y la conservación de los suelos en Colombia. Federación Nacional de Cafetaleros de Colombia.
- TERMAN, G.L., 1979. Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments and crop residues. *Advances in Agronomy*, New York, 31: 189-223.
- TERRY, D.L. e C.B. McCANTS, 1970. Quantitative prediction of leaching in field soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Madison, 34: 271-276.
- THENABADU, M.W., 1980. Pollution of the environment due to nitrogen fertilization in Sri Lanka. In: IAEA. *Seminar on isotope techniques in studies of the useful conservation and the pollutant potential of agricultural nitrogen residues*. Vienna, 25-29 August 1980. *Abstracts*.

Vienna. p. 8. (IAEA-SR-48).

TRIVELIN, P.C.O.; E. SALATI e E. MATSUI, 1973. *Preparo de amostras para análise de  $^{15}N$  por espectrometria de massa*. Piracicaba, CENA. 41 p. (Boletim Técnico, nº 2).

USDA, 1975. *Soil taxonomy: a basic system of soil classification to making and interpreting soil surveys*. Washington. 754 p. (Agriculture Handbook, nº 436).

VAN RAIJ, B., 1981. *Avaliação da fertilidade do solo*. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato e, Instituto Internacional da Potassa. 142 p.

VAN WAMBEKE, A., 1975. Propiedades que influyen en el manejo de los oxisoles en ecosistemas de sabana. In: BORNEMISZA, E. e A. ALVARADO, eds. *Manejo de suelos en la America tropical*. Cali, 10-14 febrero 1974. Raleigh, North Carolina State University. p. 371-378.

VERDADE, F.C., 1951. Estudo da variabilidade dos nitratos num solo tipo Terra Roxa Misturada. *Bragantia*, Campinas, 11: 269-276.

VICENTE-CHANDLER, F.; F. ABRUÑA; R. CARO-COSTAS; J. FIGARELLA; S. SILVA e R.W. PEARSON, 1974. Intensive grasslands management in the humid tropics of Puerto Rico. Rio Piedras, Estación Experimental de Agricultura de la Universidad de Puerto Rico. (Boletim, nº 223).

VIEIRA, C., 1974. *Instruções práticas sobre a cultura do feijão em Minas Gerais*. Viçosa, Imprensa Universitária. 8 p. (Sér. Técn. - Boletim, nº 46).

VIETS, F.G. Jr., 1970. Soil use and water quality - a look to the future.

*J. Agric. Food Chem.*, Washington, 18: 789-792.

VOSE, P.B., 1980. *Introduction to nuclear technique in agronomy and plant biology*. Oxford, Pergamon Press. p. 328-360.

WEBSTER, C.E. e P.N. WILSON, 1966. *Agriculture in the tropics*. London, Longman.

WETSELAAR, R. e G.D. FARQUHAR, 1980. Nitrogen losses from tops of plants. *Adv. Agron.*, New York, 33: 263-301.

WILD, A., 1972. Nitrate leaching under bare fallow at a site in Northern Nigeria. *J. Soil Sci.*, Oxford, 23: 315-324.

YOUNGDAHL, L.J.; E.R. AUSTIN; P.L.G. VLEK e E.T. CRASWELL, 1980. The evaluation of the loss potential of modified urea fertilizers for rice using  $^{15}\text{N}$ . In: IAEA. *Seminar on isotope techniques in studies of the useful conservation and the pollutant potential of agricultural nitrogen residues*. Vienna, 25-29 August 1980. *Abstracts*. Vienna, p. 23. (IAEA-SR-48).

ZINGG, P.W., 1940. Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. *Agricultural Engineering*, St. Joseph, 21: 59.

A P È N D I C E

TABELA 15- Resultados das análises estatísticas dos rendimentos de matéria seca (kg/ha), das plantas inteiras (total), em cinco épocas de desenvolvimento da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), com e sem adubação nitrogenada.

## Análise da Variância

| Causa da Variação | G.L | S.Q       | Q.M       | F         | Nível |
|-------------------|-----|-----------|-----------|-----------|-------|
| Adubação (Ad)     | 1   | 40004,00  | 40004,00  | 417,54**  | 0,00  |
| Épocas (Ep)       | 4   | 432549,73 | 108137,43 | 1128,70** | 0,00  |
| Interação Ad x Ep | 4   | 43825,53  | 10956,38  | 114,35**  | 0,00  |
| Resíduo           | 20  | 1916,13   | 95,80     |           |       |
| Total             | 29  | 518295,41 |           |           |       |

## Desdobramento

|                       |   |           |          |          |       |
|-----------------------|---|-----------|----------|----------|-------|
| Épocas den. Ad 1 (P)  | 4 | 110243,04 | 27560,76 | 287,67** | 0,00  |
| Épocas den. Ad 2 (NP) | 4 | 366132,22 | 91533,05 | 955,39** | 0,00  |
| Adubação den. Ep 1    | 1 | 1461,11   | 1461,11  | 15,25**  | 0,08  |
| Adubação den. Ep 2    | 1 | 241,32    | 241,32   | 2,51NS   | 12,81 |
| Adubação den. Ep 3    | 1 | 1433,76   | 1433,76  | 14,96**  | 0,09  |
| Adubação den. Ep 4    | 1 | 29365,01  | 29365,01 | 306,50** | 0,00  |
| Adubação den. Ep 5    | 1 | 52969,01  | 52969,01 | 552,87** | 0,00  |

Coef. Var. = 5,49%

DMS(0,05): Épocas = 169,03

Épocas x Adubação = 239,04

TABELA 16 - Resultados das análises estatísticas dos rendimentos de matéria seca (kg/ha), da parte aérea (ramos + folhas), em quatro épocas de desenvolvimento da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), com e sem adubação nitrogenada.

## Análise da Variância

| Causa da Variação | G.L | S.Q      | Q.M      | F        | Nível |
|-------------------|-----|----------|----------|----------|-------|
| Adubação (Ad)     | 1   | 4190,34  | 4190,34  | 41,63**  | 0,00  |
| Épocas (Ep)       | 3   | 32224,01 | 10741,33 | 106,72** | 0,00  |
| Interação Ad x Ep | 3   | 1005,60  | 335,20   | 3,33*    | 4,62  |
| Resíduo           | 16  | 1610,30  | 100,64   |          |       |
| Total             | 23  | 39030,26 |          |          |       |

## Desdobramento

|                       |   |          |         |         |      |
|-----------------------|---|----------|---------|---------|------|
| Épocas den. Ad 1 (P)  | 3 | 11191,67 | 3730,55 | 37,06** | 0,00 |
| Épocas den. Ad 2 (NP) | 3 | 22037,94 | 7345,98 | 72,98** | 0,00 |
| Adubação den. Ep 2    | 1 | 893,65   | 893,65  | 8,87**  | 0,88 |
| Adubação den. Ep 3    | 1 | 1437,62  | 1437,62 | 14,28** | 0,16 |
| Adubação den. Ep 4    | 1 | 2360,16  | 2360,16 | 23,45** | 0,01 |
| Adubação den. Ep 5    | 1 | 1361,27  | 1361,27 | 13,52** | 0,20 |

Coef. Var. = 7,54%

DMS (0,05): Épocas = 165,87

Épocas/Adubação = 234,58

TABELA 17 - Resultados das análises estatísticas dos rendimentos de matéria seca (kg/ha), das raízes, por efeito da adubação nitrogenada em quatro épocas de desenvolvimento da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), com e sem adubação nitrogenada.

## Análise da Variância

| Causa da Variação | G.L | S.Q    | Q.M    | F        | Nível |
|-------------------|-----|--------|--------|----------|-------|
| Adubação (Ad)     | 1   | 2,66   | 2,66   | 2,04NS   | 17,21 |
| Épocas (Ep)       | 3   | 427,98 | 142,66 | 109,29** | 0,00  |
| Interação Ad x Ep | 3   | 1,70   | 0,56   | 0,43NS   | 73,11 |
| Resíduo           | 16  | 20,88  | 1,30   |          |       |
| Total             | 23  | 453,23 |        |          |       |

Coef. Var. = 4,42%

DMS (0,05): Época = 18,89

TABELA 18 - Resultados das análises estatísticas dos rendimentos de matéria seca (kg/ha), das vagens, em duas épocas de desenvolvimento da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), com e sem adubação nitrogenada.

## Análise da Variância

| Causa da Variação | G.L | S.Q      | Q.M      | F         | Nível |
|-------------------|-----|----------|----------|-----------|-------|
| Adubação (Ad)     | 1   | 49456,47 | 49456,47 | 3106,45** | 0,00  |
| Épocas (Ep)       | 1   | 3262,87  | 3262,87  | 204,94**  | 0,00  |
| Interação Ad x Ep | 1   | 2490,47  | 2490,47  | 156,43**  | 0,00  |
| Resíduo           | 8   | 127,36   | 15,92    |           |       |
| Total             | 11  | 55337,19 |          |           |       |

## Desdobramento

|                       |   |          |          |           |       |
|-----------------------|---|----------|----------|-----------|-------|
| Épocas den. Ad 1 (P)  | 1 | 26,04    | 26,04    | 1,63NS    | 23,67 |
| Épocas den. Ad 2 (NP) | 1 | 5727,31  | 5727,31  | 359,74**  | 0,00  |
| Adubação den. Ep 4    | 1 | 14875,26 | 14875,26 | 934,34**  | 0,00  |
| Adubação den. Ep 5    | 1 | 37071,69 | 37071,69 | 2328,54** | 0,00  |

Coef. Var. = 3,16%



TABELA 19 - Resultados das análises estatísticas das quantidades de nitrogênio total (kg/ha), extraídas pelas plantas inteiras (total), em cinco épocas de desenvolvimento da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), com e sem adubação nitrogenada.

## Análise da Variância

| Causa da Variação | G.L       | S.Q               | Q.M        | F        | Nível |
|-------------------|-----------|-------------------|------------|----------|-------|
| Adubação (Ad)     | 1         | 3044,5644         | 3044,5644  | 207,53** | 0,00  |
| Épocas (Ep)       | 4         | 44847,6396        | 11211,9099 | 764,26** | 0,00  |
| Interação Ad x Ep | 4         | 3939,8931         | 984,9732   | 67,14**  | 0,00  |
| Resíduo           | 20        | 293,4047          | 14,6702    |          |       |
| <b>Total</b>      | <b>29</b> | <b>52125,5019</b> |            |          |       |

## Desdobramento

|                        |   |            |           |          |       |
|------------------------|---|------------|-----------|----------|-------|
| Épocas den. Ad 1, (P)  | 4 | 12475,7865 | 3118,9466 | 212,60** | 0,00  |
| Épocas den. Ad 2, (NP) | 4 | 36311,7462 | 9097,9365 | 618,79** | 0,00  |
| Adubação den. Ep 1     | 1 | 20,4222    | 20,4222   | 1,39NS   | 25,18 |
| Adubação den. Ep 2     | 1 | 35,2455    | 35,2455   | 2,40NS   | 13,68 |
| Adubação den. Ep 3     | 1 | 156,9793   | 156,9793  | 10,70**  | 0,38  |
| Adubação den. Ep 4     | 1 | 2585,8656  | 2585,8656 | 176,26** | 0,00  |
| Adubação den. Ep 5     | 1 | 4217,2108  | 4217,2108 | 287,46** | 0,00  |

Coef. Var. = 6,16%

DMS (0,05): Épocas = 6,614

Épocas/Adubação = 9,354

TABELA 20 - Resultados das análises estatísticas das quantidades de nitrogênio total (kg/ha), extraídas pela parte aérea (ramos + folhas), em quatro épocas de desenvolvimento da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), com e sem adubação nitrogenada.

## Análise da Variância

| Causa da Variação | G.L | S.Q       | Q.M      | F       | Nível |
|-------------------|-----|-----------|----------|---------|-------|
| Adubação (Ad)     | 1   | 6,0702    | 6,0702   | 0,42NS  | 52,22 |
| Épocas (Ep)       | 3   | 2369,5887 | 789,8629 | 55,69** | 0,00  |
| Interação Ad x Ep | 3   | 202,8065  | 67,6021  | 4,76*   | 1,46  |
| Resíduo           | 16  | 226,9309  | 14,1831  |         |       |
| Total             | 23  | 2805,3965 |          |         |       |

## Desdobramento

|                       |   |           |          |         |       |
|-----------------------|---|-----------|----------|---------|-------|
| Épocas den. Ad 1 (P)  | 3 | 680,9643  | 226,9881 | 16,00** | 0,00  |
| Épocas den. Ad 2 (NP) | 3 | 1891,4309 | 630,4769 | 44,45** | 0,00  |
| Adubação den. Ep 2    | 1 | 376,5341  | 376,5341 | 26,54** | 0,00  |
| Adubação den. Ep 3    | 1 | 162,1360  | 162,1360 | 11,43** | 0,38  |
| Adubação den. Ep 4    | 1 | 2,3562    | 2,3562   | 0,16NS  | 68,89 |
| Adubação den. Ep 5    | 1 | 27,9504   | 27,9504  | 1,97NS  | 17,94 |

Coef. Var. = 8,00%

DMS (0,05): Épocas = 6,227

Adubação/Épocas = 8,806

TABELA 21 - Resultados das análises estatísticas das quantidades de nitrogênio total (kg/ha), extraídas pelas raízes, em quatro épocas de desenvolvimento da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), com e sem adubação nitrogenada.

## Análise da Variância

| Causa da Variação | G.L | S.Q     | Q.M    | F       | Nível |
|-------------------|-----|---------|--------|---------|-------|
| Adubação (Ad)     | 1   | 4,7082  | 4,7082 | 13,19** | 0,22  |
| Épocas (Ep)       | 3   | 11,8024 | 3,9341 | 11,02** | 0,03  |
| Interação Ad x Ep | 3   | 9,5000  | 3,1666 | 8,87**  | 0,10  |
| Resíduo           | 16  | 5,7111  | 0,3569 |         |       |
| Total             | 23  | 31,7218 |        |         |       |

## Desdobramento

|                       |   |         |         |         |       |
|-----------------------|---|---------|---------|---------|-------|
| Épocas den. Ad 1 (P)  | 3 | 9,4672  | 3,1557  | 8,84**  | 0,10  |
| Épocas den. Ad 2 (NP) | 3 | 11,8352 | 3,9450  | 11,05** | 0,03  |
| Adubação den. Ep 2    | 1 | 1,1130  | 1,1130  | 3,11NS  | 9,64  |
| Adubação den. Ep 3    | 1 | 0,0416  | 0,0416  | 0,11NS  | 73,70 |
| Adubação den. Ep 4    | 1 | 0,1504  | 0,1504  | 0,42NS  | 52,54 |
| Adubação den. Ep 5    | 1 | 13,2313 | 13,2313 | 37,06** | 0,00  |

Coef. Var. = 12,15%

DMS (0,05): Épocas = 0,988

Épocas/Adubação = 1,397

TABELA 22 - Resultados das análises estatísticas das quantidades de nitrogênio total (kg/ha), extraídas pelas vagens, em duas épocas de desenvolvimento da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), com e sem adubação nitrogenada.

## Análise da Variância

| Causa da Variação | G.L | S.Q       | Q.M       | F         | Nível |
|-------------------|-----|-----------|-----------|-----------|-------|
| Adubação (Ad)     | 1   | 6621,3612 | 6621,3612 | 1463,76** | 0,00  |
| Épocas (Ep)       | 1   | 251,7168  | 251,7168  | 55,64**   | 0,00  |
| Interação Ad x Ep | 1   | 148,2626  | 148,2626  | 32,77**   | 0,04  |
| Resíduo           | 8   | 36,1880   | 4,5235    |           |       |
| Total             | 11  | 7057,5287 |           |           |       |

## Desdobramento

|                       |   |           |           |          |       |
|-----------------------|---|-----------|-----------|----------|-------|
| Épocas den. Ad 1 (P)  | 1 | 6,8053    | 6,8053    | 1,50NS   | 25,48 |
| Épocas den. Ad 2 (NP) | 1 | 393,1740  | 393,1740  | 86,91**  | 0,00  |
| Adubação den. Ep 4    | 1 | 2394,0037 | 2394,0037 | 529,23** | 0,00  |
| Adubação den. Ep 5    | 1 | 4375,6201 | 4375,6201 | 967,30** | 0,00  |

Coef. Var. = 4,34%

TABELA 23 - Resultados das análises estatísticas do teor de nitrogênio (%) proveniente do fertilizante (NPPF), nos diferentes órgãos e nas diferentes épocas de desenvolvimento da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), adubada com 42 kg N/ha.

1) NPPF (%) NA PLANTA INTEIRA (TOTAL)

Análise da Variância

| Causa da Variação | G.L | S.Q      | Q.M        | F       |
|-------------------|-----|----------|------------|---------|
| Épocas            | 3   | 140,0657 | 46,6885666 | 5,375** |
| Resíduo           | 8   | 69,4852  | 8,68565    |         |
| Total             | 11  | 209,5509 |            |         |

C.V. (%) = 13,75

DMS (0,05) = 4,99

2) NPPF (%) NA PARTE AÉREA

Análise da Variância

| Causa da Variação | G.L | S.Q      | Q.M     | F       |
|-------------------|-----|----------|---------|---------|
| Épocas            | 3   | 102,5523 | 34,1841 | 3,375** |
| Resíduo           | 8   | 81,0240  | 10,1280 |         |
| Total             | 11  | 183,5763 |         |         |

C.V. (%) = 14,31

DMS (0,05) = 3,52

3) NPPF (%) NAS RAÍZES

Análise da Variância

| Causa da Variação | G.L | S.Q      | Q.M     | F       |
|-------------------|-----|----------|---------|---------|
| Épocas            | 3   | 257,8878 | 85,9626 | 7,408** |
| Resíduo           | 8   | 92,8327  | 11,6041 |         |
| Total             | 11  | 350,7205 |         |         |

C.V. (%) = 15,53

DMS (0,05) = 0,27

4) NPPF (%) NAS VAGENS

Análise da Variância

| Causa da Variação | G.L | S.Q     | Q.M     | F        |
|-------------------|-----|---------|---------|----------|
| Épocas            | 1   | 27,5633 | 27,5633 | 12,809NS |
| Resíduo           | 4   | 8,6073  | 2,1518  |          |
| Total             | 5   | 36,1706 |         |          |

C.V. (%) = 5,59

TABELA 24 - Resultados das análises estatísticas das quantidades de nitrogênio (kg/ha) proveniente do fertilizante (NPPF) nos diferentes órgãos e nas diferentes épocas de desenvolvimento da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.) adubada com 42 kg N/ha.

1) NPPF (kg/ha) NA PLANTA INTEIRA

Análise da Variância

| Causa da Variação | G.L | S.Q       | Q.M      | F         |
|-------------------|-----|-----------|----------|-----------|
| Épocas            | 3   | 1364,5097 | 454,8366 | 124,822** |
| Resíduo           | 8   | 29,1511   | 3,6439   |           |
| Total             | 11  | 1393,6608 |          |           |

C.V.(%) = 9,06

DMS (0,05) = 4,99

2) NPPF (kg/ha) NA PARTE AÉREA (RAMOS+FOLHAS)

Análise da Variância

| Causa da Variação | G.L | S.Q      | Q.M     | F        |
|-------------------|-----|----------|---------|----------|
| Épocas            | 3   | 121,3244 | 40,4415 | 22,306** |
| Resíduo           | 8   | 14,5045  | 1,8130  |          |
| Total             | 11  | 135,8289 |         |          |

C.V.(%) = 12,63

DMS (0,05) = 3,52

3) NPPF (kg/ha) NAS RAÍZES

Análise da Variância

| Causa da Variação | G.L | S.Q    | Q.M   | F        |
|-------------------|-----|--------|-------|----------|
| Épocas            | 3   | 1,7506 | 0,584 | 55,706** |
| Resíduo           | 8   | 0,0838 | 0,010 |          |
| Total             | 11  | 1,8344 |       |          |

C.V.(%) = 10,22

DMS (0,05) = 0,27

4) NPPF (kg/ha) NAS VAGENS

Análise da Variância

| Causa da Variação | G.L | S.Q     | Q.M    | F       |
|-------------------|-----|---------|--------|---------|
| Épocas            | 1   | 2,4576  | 2,4576 | 1,063NS |
| Resíduo           | 4   | 9,2477  | 2,3119 |         |
| Total             | 5   | 11,7053 |        |         |

C.V.(%) = 8,09

TABELA 25 - Resultados das análises estatísticas da eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN) pelos diferentes órgãos, nas diferentes épocas de desenvolvimento da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.) adubada com 42 kg N/ha.

1) EUFN (%) PELA PLANTA INTEIRA (TOTAL)

Análise da Variância

| Causa da Variação | G.L | S.Q      | Q.M      | F       |
|-------------------|-----|----------|----------|---------|
| Épocas            | 3   | 3197,517 | 1065,839 | 21,34** |
| Resíduo           | 8   | 399,608  | 49,951   |         |
| Total             | 11  | 3597,125 |          |         |

C.V. (%) = 12,09

DMS (0,05) = 18,48

2) EUFN (%) PELA PARTE AÉREA (RAMOS+FOLHAS)

Análise da Variância

| Causa da Variação | G.L | S.Q      | Q.M      | F    |
|-------------------|-----|----------|----------|------|
| Épocas            | 3   | 674,4920 | 224,8307 | 6,58 |
| Resíduo           | 8   | 273,3289 | 34,1661  |      |
| Total             | 11  | 947,8209 |          |      |

C.V. (%) = 17,67

DMS (0,05) = 15,29

3) EUFN (%) PELAS RAÍZES

Análise da Variância

| Causa da Variação | G.L | S.Q    | Q.M    | F      |
|-------------------|-----|--------|--------|--------|
| Épocas            | 3   | 6,1059 | 2,0355 | 6,11** |
| Resíduo           | 8   | 2,6646 | 0,3331 |        |
| Total             | 11  | 8,7705 |        |        |

C.V. (%) = 19,02

DMS (0,05) = 1,51

4) EUFN (%) PELAS VAGENS

Análise da Variância

| Causa da Variação | G.L | S.Q     | Q.M     | F      |
|-------------------|-----|---------|---------|--------|
| Épocas            | 1   | 13,9233 | 13,9233 | 1,06NS |
| Resíduo           | 4   | 52,4081 | 13,1020 |        |
| Total             | 5   | 66,3313 |         |        |

C.V. (%) = 8,09

TABELA 26 - Resultados das análises estatísticas da porcentagem de nitrogênio total, nas diferentes profundidades do perfil do solo, em cinco épocas de desenvolvimento da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), adubada com 42 kg N/ha.

## Análise da Variância

| Causa da Variação  | G.L | S.Q        | Q.M         | F        | Nível |
|--------------------|-----|------------|-------------|----------|-------|
| Épocas (Ep)        | 4   | 0,00018246 | 0,000045616 | 3,54*    | 1,02  |
| Profundidades (Pr) | 7   | 0,06118896 | 0,008741280 | 679,37** | 0,00  |
| Interação Ep x Pr  | 28  | 0,00053653 | 0,000019161 | 1,48NS   | 8,62  |
| Resíduo            | 80  | 0,00102933 | 0,000012866 |          |       |
| Total              | 119 | 0,06293729 |             |          |       |

Coef. Var. = 4,99%

DMS (0,05): Épocas = 2,899

Profundidades = 4,087



TABELA 27 - Resultados das análises estatísticas das quantidades totais de nitrogênio (kg/ha), nas diferentes profundidades do perfil do solo, em cinco épocas de desenvolvimento da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), adubada com 42 kg N/ha.

## Análise da Variância

| Causa da Variação  | G.L | S.Q        | Q.M       | F        | Nível |
|--------------------|-----|------------|-----------|----------|-------|
| Épocas (Ep)        | 4   | 742,816    | 185,704   | 3,47*    | 1,13  |
| Profundidades (Pr) | 7   | 366819,453 | 52402,779 | 981,16** | 0,00  |
| Interação Ep x Pr  | 28  | 2439,106   | 87,110    | 1,63*    | 4,70  |
| Resíduo            | 80  | 4272,683   | 53,408    |          |       |
| Total              | 119 | 374274,060 |           |          |       |

## Desdobramento

|                         |   |           |           |          |       |
|-------------------------|---|-----------|-----------|----------|-------|
| Profundidades den. Ep 1 | 7 | 83220,419 | 11888,631 | 222,59** | 0,00  |
| Profundidades den. Ep 2 | 7 | 72418,588 | 10345,512 | 193,70** | 0,00  |
| Profundidades den. Ep 3 | 7 | 67517,723 | 9645,389  | 180,59** | 0,00  |
| Profundidades den. Ep 4 | 7 | 68708,535 | 9815,505  | 183,78** | 0,00  |
| Profundidades den. Ep 5 | 7 | 77393,293 | 11056,184 | 207,01** | 0,00  |
| Épocas den. Pr 1        | 4 | 402,222   | 100,555   | 1,88NS   | 12,15 |
| Épocas den. Pr 2        | 4 | 2315,387  | 578,846   | 10,83**  | 0,00  |
| Épocas den. Pr 3        | 4 | 84,980    | 21,245    | 0,39NS   | 80,96 |
| Épocas den. Pr 4        | 4 | 121,251   | 30,312    | 0,56NS   | 68,68 |
| Épocas den. Pr 5        | 4 | 14,136    | 3,534     | 0,06NS   | 99,18 |
| Épocas den. Pr 6        | 4 | 105,819   | 26,454    | 0,49NS   | 73,91 |
| Épocas den. Pr 7        | 4 | 79,623    | 19,905    | 0,37NS   | 82,74 |
| Épocas den. Pr 8        | 4 | 58,503    | 14,625    | 0,27NS   | 89,40 |

Coef. Var. = 5,23%

DMS (0,05): Épocas = 59,07

Profundidades = 83,28

Profundidades/Épocas = 186,21

Épocas/Profundidades = 167,09

TABELA 28 - Resultados das análises estatísticas das quantidades de nitrogênio (kg/ha) no solo, proveniente do fertilizante (NSPF), nas diferentes profundidades do perfil e em quatro épocas de desenvolvimento da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), adubada com 42 kg N/ha.

## Análise da Variância

| Causa da Variação  | G.L | S.Q         | Q.M        | F        | Nível |
|--------------------|-----|-------------|------------|----------|-------|
| Épocas (Ep)        | 3   | 22,0770609  | 7,3590203  | 34,33**  | 0,00  |
| Profundidades (Pr) | 7   | 202,7786370 | 28,9683767 | 135,16** | 0,00  |
| Interação Ep x Pr  | 21  | 44,0896825  | 2,0995086  | 9,79**   | 0,00  |
| Resíduo            | 64  | 13,7165018  | 0,2143203  |          |       |
| Total              | 95  | 282,6618820 |            |          |       |

## Desdobramento

|                  |   |             |            |          |       |
|------------------|---|-------------|------------|----------|-------|
| Prof. den. Ep 2  | 7 | 21,1938934  | 3,0276990  | 14,12**  | 0,00  |
| Prof. den. Ep 3  | 7 | 156,8625880 | 22,4089412 | 104,55** | 0,00  |
| Prof. den. Ep 4  | 7 | 46,1811176  | 6,5973025  | 30,78**  | 0,00  |
| Prof. den. Ep 5  | 7 | 22,6307253  | 3,2329607  | 15,08**  | 0,00  |
| Épocas den. Pr 1 | 3 | 50,7646367  | 16,9215456 | 78,95**  | 0,00  |
| Épocas den. Pr 2 | 3 | 10,1093756  | 3,3697918  | 15,72**  | 0,00  |
| Épocas den. Pr 3 | 3 | 2,4514230   | 0,8171410  | 3,81*    | 1,40  |
| Épocas den. Pr 4 | 3 | 1,7045182   | 0,5681727  | 2,65NS   | 5,61  |
| Épocas den. Pr 5 | 3 | 0,8151526   | 0,2717175  | 1,26NS   | 29,29 |
| Épocas den. Pr 6 | 3 | 0,1951822   | 0,0650607  | 0,30NS   | 82,27 |
| Épocas den. Pr 7 | 3 | 0,0729816   | 0,0243272  | 0,11NS   | 95,18 |
| Épocas den. Pr 8 | 3 | 0,0647662   | 0,0215887  | 0,10NS   | 95,93 |

Coef. Var. = 37,96%

DMS (0,05): Épocas = 0,353  
 Profundidades = 0,593  
 Profundidades/Épocas = 1,185  
 Época/0-45cm = 0,999

TABELA 29- Valores dos rendimentos de matéria seca acumulados pelos diferentes órgãos da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), em cinco épocas de amostragem, com e sem adubação nitrogenada (kg/ha).

| Épocas<br>(D.A.G.) | Órgãos                 | Adubação NP |         |         | Adubação P |         |         |
|--------------------|------------------------|-------------|---------|---------|------------|---------|---------|
|                    |                        | I           | II      | III     | I          | II      | III     |
| E <sub>1</sub> 06  | Total                  | 46,99       | 46,84   | 41,60   | 46,99      | 46,84   | 41,60   |
| E <sub>2</sub> 26  | P. Aérea               | 752,50      | 727,50  | 681,25  | 700,00     | 562,50  | 750,00  |
|                    | Raízes                 | 200,00      | 193,75  | 183,75  | 188,75     | 146,25  | 198,75  |
|                    | Total                  | 952,50      | 921,25  | 865,00  | 888,75     | 708,75  | 948,75  |
| E <sub>3</sub> 46  | P. Aérea               | 1757,50     | 1677,50 | 1712,50 | 1481,25    | 1400,00 | 1337,50 |
|                    | Raízes                 | 285,00      | 287,50  | 276,25  | 286,25     | 283,75  | 280,00  |
|                    | Total                  | 2042,50     | 1965,00 | 1988,75 | 1767,50    | 1683,75 | 1617,50 |
| E <sub>4</sub> 66  | P. Aérea<br>(s/vagens) | 1645,00     | 1662,50 | 1881,25 | 1250,00    | 1502,50 | 1246,25 |
|                    | Raízes                 | 287,50      | 287,50  | 278,75  | 273,75     | 287,50  | 272,50  |
|                    | Vagens                 | 1575,00     | 1593,75 | 1600,00 | 557,50     | 593,75  | 630,00  |
|                    | Total                  | 3507,50     | 3543,75 | 3760,00 | 2081,25    | 2383,75 | 2148,75 |
| E <sub>5</sub> 86  | P. Aérea<br>(s/vagens) | 1682,50     | 1615,00 | 1750,00 | 1236,25    | 1392,50 | 1515,00 |
|                    | Raízes                 | 287,50      | 287,50  | 285,00  | 272,50     | 282,50  | 287,50  |
|                    | Casca das<br>Vagens    | 720,00      | 685,00  | 753,75  | 392,50     | 375,00  | 358,75  |
|                    | Grão                   | 1487,50     | 1465,00 | 1511,25 | 287,50     | 247,50  | 245,00  |
|                    | Total                  | 4177,50     | 4052,50 | 4300,00 | 2188,75    | 2297,50 | 2406,25 |

TABELA 30 - Valores das concentrações de nitrogênio (%) na matéria seca dos diferentes órgãos da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), em cinco épocas de amostragem, com e sem adubação nitrogenada.

| Épocas<br>(D.A.G.) | Órgãos            | Adubação NP |      |      | Adubação P |      |      |
|--------------------|-------------------|-------------|------|------|------------|------|------|
|                    |                   | I           | II   | III  | I          | II   | III  |
| E <sub>1</sub> 06  | Total             | 4,10        | 4,18 | 4,76 | 4,10       | 4,18 | 4,76 |
| E <sub>2</sub> 26  | P. Aérea          | 4,56        | 4,45 | 4,49 | 5,34       | 5,76 | 4,99 |
|                    | Raízes            | 1,92        | 1,66 | 1,66 | 2,44       | 2,32 | 2,16 |
| E <sub>3</sub> 46  | P. Aérea          | 3,79        | 3,95 | 4,02 | 3,64       | 4,45 | 4,06 |
|                    | Raízes            | 1,70        | 2,08 | 1,97 | 1,92       | 2,22 | 1,77 |
| E <sub>4</sub> 66  | P. Aérea          | 2,68        | 2,78 | 2,64 | 3,79       | 3,44 | 2,98 |
|                    | Raízes            | 2,11        | 2,00 | 1,69 | 1,50       | 2,03 | 2,07 |
|                    | Vagens            | 3,94        | 4,28 | 3,94 | 4,13       | 4,24 | 4,01 |
| E <sub>5</sub> 86  | P. Aérea (s/vag.) | 2,65        | 2,54 | 2,74 | 3,72       | 3,42 | 3,37 |
|                    | Raízes            | 1,26        | 1,35 | 1,16 | 2,34       | 2,34 | 2,34 |
|                    | Casca das Vagens  | 1,73        | 1,58 | 1,73 | 3,54       | 3,54 | 3,54 |
|                    | Grão              | 4,60        | 4,65 | 4,56 | 5,14       | 5,14 | 5,14 |

TABELA 31 - Valores das quantidades de nitrogênio (kg/ha) extraídas pelos diferentes órgãos da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), em cinco épocas de amostragem, com e sem adubação nitrogenada.

| Épocas<br>(D.A.G.) | Órgãos                 | Adubação NP |        |        | Adubação P |       |       |
|--------------------|------------------------|-------------|--------|--------|------------|-------|-------|
|                    |                        | I           | II     | III    | I          | II    | III   |
| E <sub>1</sub> 06  | Total                  | 1,93        | 1,97   | 1,98   | 1,93       | 1,97  | 1,98  |
| E <sub>2</sub> 26  | P. Aérea               | 34,31       | 32,37  | 30,59  | 37,38      | 32,40 | 37,42 |
|                    | Raízes                 | 3,84        | 3,22   | 3,05   | 4,60       | 3,39  | 4,29  |
|                    | Total                  | 38,15       | 35,59  | 33,64  | 41,98      | 35,79 | 41,71 |
| E <sub>3</sub> 46  | P. Aérea               | 66,61       | 66,26  | 68,84  | 53,92      | 62,30 | 54,30 |
|                    | Raízes                 | 4,84        | 5,98   | 5,44   | 5,50       | 6,30  | 4,96  |
|                    | Total                  | 71,45       | 72,24  | 74,28  | 59,42      | 68,60 | 59,26 |
| E <sub>4</sub> 66  | P. Aérea<br>(s/vagens) | 44,09       | 46,21  | 49,67  | 47,38      | 51,69 | 37,14 |
|                    | Raízes                 | 6,07        | 5,75   | 4,71   | 4,11       | 5,83  | 5,64  |
|                    | Vagens                 | 62,06       | 68,21  | 63,04  | 23,02      | 25,18 | 25,26 |
|                    | Total                  | 112,22      | 120,17 | 117,42 | 74,51      | 82,70 | 68,04 |
| E <sub>5</sub> 86  | P. Aérea<br>(s/vagens) | 44,59       | 41,02  | 46,10  | 45,98      | 47,62 | 51,06 |
|                    | Raízes                 | 3,62        | 3,88   | 3,31   | 6,38       | 6,61  | 6,73  |
|                    | Casca das<br>Vagens    | 12,46       | 10,82  | 13,04  | 13,86      | 13,24 | 12,66 |
|                    | Grãos                  | 68,43       | 68,12  | 68,91  | 14,78      | 12,72 | 12,59 |
|                    | Total                  | 136,10      | 128,69 | 138,51 | 81,00      | 80,19 | 83,04 |

TABELA 32 - Valores das porcentagens de átomos de <sup>15</sup>N (% Át. <sup>15</sup>N), nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF) (% kg/ha) e da deficiência (%) de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN), dos diferentes órgãos da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), em cinco épocas de amostragem, com aplicação de 42 kg N/ha.

| Épocas<br>(D.A.G.) | Órgãos               | % Átomos <sup>15</sup> N |        |        |        |        |        |        |        |        | NPPF  |        |       |   |       |       | EUFN (%) |       |       |   |
|--------------------|----------------------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|---|-------|-------|----------|-------|-------|---|
|                    |                      | I                        |        |        | II     |        |        | III    |        |        | I     |        | II    |   | III   |       | I        | II    | III   |   |
|                    |                      | %                        | kg/ha  | kg/ha  | %      | kg/ha  | kg/ha  | %      | kg/ha  | kg/ha  | %     | kg/ha  | kg/ha | % | kg/ha | kg/ha | %        | kg/ha | kg/ha |   |
| E <sub>1</sub> 06  | Total                | 0,371                    | 0,372  | 0,371  | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -     | -      | -     | - | -     | -     | -        | -     | -     | - |
| E <sub>2</sub> 26  | Parte Aérea          | 8,292                    | 9,390  | 13,795 | 14,118 | 4,844  | 16,075 | 5,204  | 23,926 | 7,319  | 37,26 | 40,03  | 56,30 |   |       |       |          |       |       |   |
|                    | Raízes               | 5,805                    | 8,145  | 12,302 | 9,685  | 0,372  | 13,856 | 0,446  | 21,265 | 0,649  | 2,86  | 3,43   | 4,99  |   |       |       |          |       |       |   |
|                    | Total                | -                        | -      | -      | 13,670 | 5,216  | 15,88  | 5,65   | 23,69  | 7,968  | 40,12 | 43,46  | 61,29 |   |       |       |          |       |       |   |
| E <sub>3</sub> 46  | Parte Aérea          | 13,643                   | 11,135 | 12,439 | 23,656 | 15,757 | 19,185 | 12,712 | 21,510 | 14,807 | 37,52 | 30,27  | 35,26 |   |       |       |          |       |       |   |
|                    | Raízes               | 13,139                   | 11,712 | 12,031 | 22,757 | 1,101  | 20,214 | 1,209  | 20,782 | 1,131  | 2,62  | 2,88   | 2,69  |   |       |       |          |       |       |   |
|                    | Total                | -                        | -      | -      | 23,59  | 16,858 | 19,27  | 13,921 | 21,46  | 15,938 | 40,14 | 33,15  | 37,95 |   |       |       |          |       |       |   |
| E <sub>4</sub> 66  | Parte Aérea (s/vag.) | 13,054                   | 15,261 | 15,674 | 24,388 | 10,753 | 26,540 | 12,264 | 27,276 | 13,548 | 25,60 | 29,20  | 32,26 |   |       |       |          |       |       |   |
|                    | Raízes               | 13,479                   | 15,084 | 16,546 | 25,137 | 1,523  | 28,830 | 1,658  | 29,789 | 1,403  | 3,63  | 3,95   | 3,34  |   |       |       |          |       |       |   |
|                    | Vagens               | 13,533                   | 18,212 | 16,776 | 27,024 | 16,771 | 28,830 | 19,259 | 29,240 | 18,433 | 39,93 | 45,85  | 43,89 |   |       |       |          |       |       |   |
|                    | Total                | -                        | -      | -      | 25,88  | 29,047 | 27,61  | 33,181 | 28,43  | 33,384 | 69,16 | 79,00  | 79,49 |   |       |       |          |       |       |   |
| E <sub>5</sub> 86  | Parte Aérea (s/vag.) | 14,736                   | 13,763 | 11,955 | 25,604 | 11,417 | 23,870 | 9,791  | 20,647 | 9,518  | 27,18 | 23,312 | 22,66 |   |       |       |          |       |       |   |
|                    | Raízes               | 13,847                   | 12,675 | 14,120 | 24,019 | 0,869  | 21,930 | 0,851  | 24,506 | 0,811  | 2,07  | 2,03   | 1,93  |   |       |       |          |       |       |   |
|                    | Casca das Vagens     | 14,432                   | 13,563 | 15,918 | 25,062 | 3,123  | 25,513 | 2,544  | 27,710 | 3,613  | 7,44  | 6,06   | 8,60  |   |       |       |          |       |       |   |
|                    | Grãos                | 14,000                   | 12,738 | 14,520 | 24,292 | 16,623 | 22,042 | 15,015 | 25,219 | 17,378 | 39,58 | 35,75  | 41,38 |   |       |       |          |       |       |   |
| Total              | -                    | -                        | -      | 23,54  | 32,032 | 21,91  | 28,201 | 22,610 | 31,320 | 76,27  | 67,15 | 74,57  |       |   |       |       |          |       |       |   |

NPPF = nitrogênio na planta proveniente do fertilizante  
 EUFN = eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado

TABELA 33 - Valores de nitrogênio total no solo, porcentagem de átomos de  $^{15}\text{N}$  em excesso, e do nitrogênio no solo proveniente do fertilizante (% e Kg/ha), em oito profundidades do perfil do solo, em cinco épocas do desenvolvimento da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), adubada com 42 kg N/ha.

## ÉPOCA 1 (06 D.A.G.)

## REPETIÇÃO I

| Profund. | Massa de Solo  | N Total no Solo |                 | At <sup>15</sup> N |
|----------|----------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| (cm)     | (kg/ha)        | (%)             | (kg/ha)         | (%)                |
| 0- 15    | 2151000±64500  | 0,108           | 2323,080±69,66  | 0,374              |
| 15- 30   | 2064000±118500 | 0,112           | 2311,680±132,72 | 0,371              |
| 30- 45   | 2008500±45000  | 0,094           | 1887,990±42,30  | 0,373              |
| 45- 60   | 1971000±73500  | 0,056           | 1103,760±41,16  | 0,372              |
| 60- 75   | 1792500±67500  | 0,056           | 1003,800±37,80  | 0,369              |
| 75- 90   | 1792500±54000  | 0,056           | 1003,800±30,24  | 0,376              |
| 90-105   | 1738500±24000  | 0,056           | 973,560±13,44   | 0,370              |
| 105-120  | 1656000±102000 | 0,053           | 877,680±54,06   | 0,370              |
| Média    | -              | -               | -               | 0,371              |



## ÉPOCA 1 (06 D.A.G.)

## REPETIÇÃO II

| Profund.<br>(cm) | Massa de Solo<br>(kg/ha) | N Total no Solo |                |
|------------------|--------------------------|-----------------|----------------|
|                  |                          | (%)             | (kg/ha)        |
| 0- 15            | 2151000±64500            | 0,112           | 2409,12±72,24  |
| 15- 30           | 2064000±118500           | 0,111           | 2291,04±131,54 |
| 30- 45           | 2008500±45000            | 0,096           | 1928,16±43,20  |
| 45- 60           | 1971000±73500            | 0,057           | 1123,47±41,90  |
| 60- 75           | 1792500±67500            | 0,056           | 1003,80±37,80  |
| 75- 90           | 1792500±54000            | 0,053           | 950,03±28,62   |
| 90-105           | 1738500±24000            | 0,054           | 938,79±12,96   |
| 105-120          | 1656000±102000           | 0,053           | 877,68±54,06   |

## ÉPOCA 1 (06 D.A.G.)

## REPETIÇÃO III

| Profund.<br>(cm) | Massa de Solo<br>(kg/ha) | N Total no Solo |                |
|------------------|--------------------------|-----------------|----------------|
|                  |                          | (%)             | (kg/ha)        |
| 0- 15            | 2151000±64500            | 0,104           | 2237,04±67,08  |
| 15- 30           | 2064000±118500           | 0,113           | 2332,32±133,91 |
| 30- 45           | 2008500±45000            | 0,092           | 1847,82±41,40  |
| 45- 60           | 1971000±73500            | 0,055           | 1084,05±40,43  |
| 60- 75           | 1792500±67500            | 0,057           | 1021,73±38,48  |
| 75- 90           | 1792500±54000            | 0,059           | 1057,58±31,86  |
| 90-105           | 1738500±24000            | 0,057           | 990,95±13,68   |
| 105-120          | 1656000±102000           | 0,052           | 861,12±53,04   |

EPOCA 2 (26 D.A.G.)

REPETIÇÃO I

| Profund.<br>(cm) | N Total no Solo |                | At. <sup>15</sup> N Exc.<br>(%) | N no Solo Prov. do Fert. |             |
|------------------|-----------------|----------------|---------------------------------|--------------------------|-------------|
|                  | (%)             | (kg/ha)        |                                 | (%)                      | (kg/ha)     |
| 0- 15            | 0,108           | 2323,08±69,66  | 0,061                           | 0,1087                   | 2,526±0,076 |
| 15- 30           | 0,110           | 2270,40±130,35 | 0,044                           | 0,0784                   | 1,780±0,102 |
| 30- 45           | 0,096           | 1928,16±43,20  | 0,024                           | 0,0428                   | 0,825±0,018 |
| 45- 60           | 0,057           | 1123,47±41,90  | 0,010                           | 0,0178                   | 0,200±0,007 |
| 60- 75           | 0,055           | 985,88±37,13   | 0,005                           | 0,0089                   | 0,088±0,003 |
| 75- 90           | 0,050           | 896,25±27,00   | 0,002                           | 0,0036                   | 0,032±0,001 |
| 90-105           | 0,052           | 904,02±12,48   | 0,001                           | 0,0018                   | 0,016±0,001 |
| 105-120          | 0,053           | 877,68±54,06   | 0,001                           | 0,0018                   | 0,016±0,001 |

ÉPOCA 2 (26 D.A.G.)

REPETIÇÃO II

| Profund.<br>(cm) | N Total no Solo |                | Át. <sup>15</sup> N Exc. |        | N no Solo Prov. do Fert. |             |
|------------------|-----------------|----------------|--------------------------|--------|--------------------------|-------------|
|                  | (%)             | (kg/ha)        | (%)                      | (%)    | (%)                      | (Kg/ha)     |
| 0- 15            | 0,104           | 2237,04±67,08  | 0,098                    | 0,1747 | 0,1747                   | 3,907±0,117 |
| 15- 30           | 0,099           | 2043,36±117,32 | 0,033                    | 0,0588 | 0,0588                   | 1,202±0,069 |
| 30- 45           | 0,095           | 1908,08±42,75  | 0,025                    | 0,0446 | 0,0446                   | 0,850±0,019 |
| 45- 60           | 0,059           | 1162,89±43,37  | 0,012                    | 0,0214 | 0,0214                   | 0,249±0,009 |
| 60- 75           | 0,056           | 1003,80±37,80  | 0,002                    | 0,0036 | 0,0036                   | 0,036±0,001 |
| 75- 90           | 0,050           | 896,25±27,00   | 0,002                    | 0,0036 | 0,0036                   | 0,032±0,001 |
| 90-105           | 0,050           | 869,25±12,00   | 0,002                    | 0,0036 | 0,0036                   | 0,031±0,001 |
| 105-120          | 0,049           | 811,44±49,98   | 0,002                    | 0,0036 | 0,0036                   | 0,029±0,002 |

ÉPOCA 2 (26 D.A.G.)

REPETIÇÃO III

| Profund.<br>(cm) | N Total no Solo |                | At. <sup>15</sup> N Exc. |         | N no Solo Prof. do Fert. |             |
|------------------|-----------------|----------------|--------------------------|---------|--------------------------|-------------|
|                  | (%)             | (kg/ha)        | (%)                      | (kg/ha) | (%)                      | (kg/ha)     |
| 0- 15            | 0,102           | 2194,02±65,79  | 0,055                    |         | 0,0980                   | 2,151±0,064 |
| 15- 30           | 0,094           | 1940,16±111,39 | 0,029                    |         | 0,0517                   | 1,003±0,058 |
| 30- 45           | 0,089           | 1787,57±40,05  | 0,024                    |         | 0,0428                   | 0,765±0,017 |
| 45- 60           | 0,060           | 1182,60±44,10  | 0,009                    |         | 0,0160                   | 0,190±0,007 |
| 60- 75           | 0,058           | 1039,65±39,15  | 0,006                    |         | 0,0107                   | 0,111±0,004 |
| 75- 90           | 0,057           | 1021,73±30,78  | 0,001                    |         | 0,0018                   | 0,018±0,001 |
| 90-105           | 0,054           | 938,79±12,96   | 0,002                    |         | 0,0036                   | 0,033±0,001 |
| 105-120          | 0,048           | 794,88±48,96   | 0,001                    |         | 0,0018                   | 0,014±0,001 |

## ÉPOCA 3 (46 D.A.G.)

## REPETIÇÃO I

| Profund.<br>(cm) | N Total. no Solo |                | At. <sup>15</sup> N Exc.<br>(%) | N no Solo Prov. do Fert. |             |
|------------------|------------------|----------------|---------------------------------|--------------------------|-------------|
|                  | (%)              | (kg/ha)        |                                 | (%)                      | (kg/ha)     |
| 0- 15            | 0,105            | 2258,55±67,73  | 0,215                           | 0,3832                   | 8,655±0,260 |
| 15- 30           | 0,110            | 2270,40±130,35 | 0,111                           | 0,1978                   | 4,492±0,258 |
| 30- 45           | 0,093            | 1867,91±41,85  | 0,068                           | 0,1212                   | 2,264±0,051 |
| 45- 60           | 0,056            | 1103,76±41,16  | 0,055                           | 0,0980                   | 1,082±0,050 |
| 60- 75           | 0,056            | 1003,80±37,80  | 0,036                           | 0,0642                   | 0,644±0,024 |
| 75- 90           | 0,057            | 1021,73±30,78  | 0,010                           | 0,0178                   | 0,182±0,005 |
| 90-105           | 0,056            | 973,56±13,40   | 0,006                           | 0,0107                   | 0,104±0,001 |
| 105-120          | 0,052            | 861,12±53,04   | 0,005                           | 0,0089                   | 0,077±0,005 |

## EPOCA 3 (46 D.A.G.)

## REPETIÇÃO II

| Profund.<br>(cm) | N Total no Solo |                | Át. <sup>15</sup> N Exc. |        | N no Solo Prov. do Fert. |             |
|------------------|-----------------|----------------|--------------------------|--------|--------------------------|-------------|
|                  | (%)             | (kg/ha)        | (%)                      | (%)    | (%)                      | (kg/ha)     |
| 0- 15            | 0,101           | 2172,51±65,14  | 0,198                    | 0,3529 | 0,3529                   | 7,667±0,230 |
| 15- 30           | 0,094           | 1940,16±111,39 | 0,099                    | 0,1764 | 0,1764                   | 3,424±0,197 |
| 30- 45           | 0,092           | 1847,82±41,40  | 0,062                    | 0,1105 | 0,1105                   | 2,042±0,046 |
| 45- 60           | 0,053           | 1044,63±38,96  | 0,059                    | 0,1052 | 0,1052                   | 1,099±0,041 |
| 60- 75           | 0,056           | 1003,80±37,80  | 0,040                    | 0,0713 | 0,0713                   | 0,716±0,027 |
| 75- 90           | 0,055           | 985,88±29,70   | 0,008                    | 0,0143 | 0,0143                   | 0,141±0,004 |
| 90-105           | 0,054           | 938,79±12,96   | 0,005                    | 0,0089 | 0,0089                   | 0,084±0,001 |
| 105-120          | 0,048           | 794,88±55,08   | 0,005                    | 0,0089 | 0,0089                   | 0,071±0,005 |

ÉPOCA 3 (46 D.A.G.)

REPETIÇÃO III

| Profund.<br>(cm) | N Total no Solo |                | Āt. <sup>15</sup> N Exc. |         | N no Solo Prov. do Fert. |             |
|------------------|-----------------|----------------|--------------------------|---------|--------------------------|-------------|
|                  | (%)             | (kg/ha)        | (%)                      | (kg/ha) | (%)                      | (kg/ha)     |
| 0- 15            | 0,098           | 2107,98±63,21  | 0,199                    |         | 0,3547                   | 7,477±0,224 |
| 15- 30           | 0,103           | 2125,92±122,06 | 0,099                    |         | 0,1765                   | 3,751±0,215 |
| 30- 45           | 0,089           | 1787,56±40,05  | 0,061                    |         | 0,1087                   | 1,944±0,044 |
| 45- 60           | 0,055           | 1084,05±40,42  | 0,050                    |         | 0,0891                   | 0,966±0,036 |
| 60- 75           | 0,060           | 1075,50±40,50  | 0,027                    |         | 0,0481                   | 0,518±0,019 |
| 75- 90           | 0,056           | 1003,80±30,24  | 0,008                    |         | 0,0143                   | 0,143±0,004 |
| 90-105           | 0,052           | 904,02±12,48   | 0,009                    |         | 0,0160                   | 0,145±0,002 |
| 105-120          | 0,048           | 794,88±48,96   | 0,003                    |         | 0,0053                   | 0,043±0,008 |



ÉPOCA 4 (66 D.A.G.)

REPETIÇÃO I

| Profund.<br>(cm) | N Total no Solo |                | At. <sup>15</sup> N Exc. |        | N no Solo Prov. do Fert. |             |
|------------------|-----------------|----------------|--------------------------|--------|--------------------------|-------------|
|                  | (%)             | (kg/ha)        | (%)                      | (%)    | (%)                      | (kg/ha)     |
| 0- 15            | 0,104           | 2237,04±67,08  | 0,079                    | 0,1408 | 0,1408                   | 3,150±0,094 |
| 15- 30           | 0,110           | 2270,40±130,35 | 0,065                    | 0,1159 | 0,1159                   | 2,630±0,151 |
| 30- 45           | 0,093           | 1867,91±41,85  | 0,036                    | 0,0642 | 0,0642                   | 1,199±0,027 |
| 45- 60           | 0,056           | 1103,76±41,16  | 0,011                    | 0,0196 | 0,0196                   | 0,216±0,008 |
| 60- 75           | 0,056           | 1003,80±37,80  | 0,005                    | 0,0089 | 0,0089                   | 0,089±0,003 |
| 75- 90           | 0,056           | 1003,80±30,24  | 0,006                    | 0,0107 | 0,0107                   | 0,107±0,003 |
| 90-105           | 0,057           | 990,95±13,68   | 0,005                    | 0,0089 | 0,0089                   | 0,088±0,001 |
| 105-120          | 0,050           | 828,00±51,00   | 0,009                    | 0,0160 | 0,0160                   | 0,133±0,008 |

ÉPOCA 4 (66 D.A.G.)

REPETIÇÃO II

| Profund.<br>(cm) | N Total. no Solo |               | At. <sup>15</sup> N Exc.<br>(%) | N no Solo Prov. do Fert. |             |
|------------------|------------------|---------------|---------------------------------|--------------------------|-------------|
|                  | (%)              | (kg/ha)       |                                 | (%)                      | (kg/ha)     |
| 0- 15            | 0,110            | 2366,10±70,95 | 0,150                           | 0,2674                   | 6,326±0,190 |
| 15- 30           | 0,080            | 1651,20±94,80 | 0,070                           | 0,1248                   | 2,060±0,118 |
| 30- 45           | 0,092            | 1867,91±41,85 | 0,055                           | 0,0980                   | 1,831±0,041 |
| 45- 60           | 0,052            | 1024,92±38,22 | 0,012                           | 0,0214                   | 0,219±0,008 |
| 60- 75           | 0,055            | 985,88±37,13  | 0,010                           | 0,0178                   | 0,176±0,007 |
| 75- 90           | 0,056            | 1003,80±30,24 | 0,006                           | 0,0107                   | 0,107±0,003 |
| 90-105           | 0,052            | 904,02±12,48  | 0,011                           | 0,0196                   | 0,177±0,002 |
| 105-120          | 0,053            | 877,68±54,06  | 0,008                           | 0,0142                   | 0,125±0,008 |

ÉPOCA 4 (66 D.A.G.)

REPETIÇÃO III

| Profund.<br>(cm) | N Total. no Solo |                | At. <sup>15</sup> N Exc. |        | N no Solo Prov. do Fert. |         |
|------------------|------------------|----------------|--------------------------|--------|--------------------------|---------|
|                  | (%)              | (kg/ha)        | (%)                      | (%)    | (%)                      | (kg/ha) |
| 0- 15            | 0,108            | 2323,08±69,66  | 0,071                    | 0,1265 | 2,940±0,088              |         |
| 15- 30           | 0,096            | 1981,44±113,76 | 0,062                    | 0,1105 | 2,190±0,126              |         |
| 30- 45           | 0,091            | 1827,74±40,95  | 0,040                    | 0,0713 | 1,303±0,029              |         |
| 45- 60           | 0,057            | 1123,47±41,90  | 0,009                    | 0,0160 | 0,180±0,007              |         |
| 60- 75           | 0,056            | 1003,80±37,80  | 0,008                    | 0,0143 | 0,143±0,004              |         |
| 75- 90           | 0,055            | 985,88±29,70   | 0,006                    | 0,0107 | 0,105±0,003              |         |
| 90-105           | 0,054            | 894,24±55,08   | 0,007                    | 0,0125 | 0,112±0,007              |         |
| 105-120          | 0,052            | 861,12±53,04   | 0,007                    | 0,0125 | 0,107±0,007              |         |

ÉPOCA 5 (86 D.A.G.)

REPETIÇÃO I

| Profund.<br>(cm) | N Total no Solo |                | Āt. <sup>15</sup> N Exc. |             | N no Solo Prov. do Fert. |             |
|------------------|-----------------|----------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|
|                  | (%)             | (kg/ha)        | (%)                      | (kg/ha)     | (%)                      | (kg/ha)     |
| 0- 15            | 0,103           | 2215,53±66,44  | 0,068                    | 2,685±0,081 | 0,1212                   | 2,685±0,081 |
| 15- 30           | 0,109           | 2249,75±129,17 | 0,055                    | 2,205±0,127 | 0,0980                   | 2,205±0,127 |
| 30- 45           | 0,094           | 1887,99±42,30  | 0,030                    | 1,010±0,023 | 0,0535                   | 1,010±0,023 |
| 45- 60           | 0,056           | 1103,76±41,16  | 0,028                    | 0,551±0,021 | 0,0499                   | 0,551±0,021 |
| 60- 75           | 0,057           | 1021,73±38,48  | 0,022                    | 0,401±0,015 | 0,0392                   | 0,401±0,015 |
| 75- 90           | 0,056           | 1003,80±30,24  | 0,010                    | 0,179±0,053 | 0,0178                   | 0,179±0,053 |
| 90-105           | 0,056           | 973,56±13,40   | 0,010                    | 0,174±0,002 | 0,0178                   | 0,174±0,002 |
| 105-120          | 0,052           | 861,12±53,04   | 0,011                    | 0,169±0,010 | 0,0196                   | 0,169±0,010 |

## ÉPOCA 5 (86 D.A.G.)

## REPETIÇÃO II

| Profund.<br>(cm) | N Total no Solo |                | At. <sup>15</sup> N Exc. |             | N no Solo Prov. do Fert. |             |
|------------------|-----------------|----------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|
|                  | (%)             | (kg/ha)        | (%)                      | (kg/ha)     | (%)                      | (kg/ha)     |
| 0- 15            | 0,104           | 2237,04±67,08  | 0,084                    | 3,349±0,100 | 0,1497                   | 3,349±0,100 |
| 15- 30           | 0,108           | 2229,12±127,98 | 0,064                    | 2,543±0,146 | 0,1141                   | 2,543±0,146 |
| 30- 45           | 0,096           | 1928,16±43,20  | 0,076                    | 2,612±0,059 | 0,1355                   | 2,612±0,059 |
| 45- 60           | 0,054           | 1064,34±39,69  | 0,067                    | 1,271±0,047 | 0,1194                   | 1,271±0,047 |
| 60- 75           | 0,057           | 1021,73±38,48  | 0,049                    | 0,892±0,034 | 0,0873                   | 0,892±0,034 |
| 75- 90           | 0,056           | 1003,80±30,24  | 0,040                    | 0,716±0,022 | 0,0713                   | 0,716±0,022 |
| 90-105           | 0,055           | 956,18±13,20   | 0,022                    | 0,375±0,005 | 0,0392                   | 0,375±0,005 |
| 105-120          | 0,050           | 828,00±51,00   | 0,021                    | 0,310±0,019 | 0,0374                   | 0,310±0,019 |

## ÉPOCA 5 (86 D.A.G.)

## REPETIÇÃO III

| Profund.<br>(cm) | N Total no Solo |                | Át. <sup>15</sup> N Exc. |        | N no Solo Prov. do Fert. |         |
|------------------|-----------------|----------------|--------------------------|--------|--------------------------|---------|
|                  | (%)             | (kg/ha)        | (%)                      | (%)    | (%)                      | (kg/ha) |
| 0- 15            | 0,105           | 2258,55±67,73  | 0,072                    | 0,1283 | 2,898±0,087              |         |
| 15- 30           | 0,107           | 2301,57±126,80 | 0,054                    | 0,0962 | 2,215±0,122              |         |
| 30- 45           | 0,094           | 1887,99±42,30  | 0,032                    | 0,0570 | 1,077±0,024              |         |
| 45- 60           | 0,056           | 1103,76±41,16  | 0,037                    | 0,0659 | 0,728±0,027              |         |
| 60- 75           | 0,056           | 1003,80±37,80  | 0,033                    | 0,0588 | 0,590±0,022              |         |
| 75- 90           | 0,057           | 1021,73±30,78  | 0,012                    | 0,0214 | 0,219±0,007              |         |
| 90-105           | 0,055           | 956,18±13,20   | 0,011                    | 0,0196 | 0,187±0,003              |         |
| 105-120          | 0,052           | 861,12±53,04   | 0,011                    | 0,0196 | 0,169±0,010              |         |

TABELA 34 - Valores de nitrogênio total (ppm), porcentagem de átomos de  $^{15}\text{N}$  em excesso e nitrogênio proveniente do fertilizante (%) na solução do solo, em quatro profundidades do perfil e em cinco períodos de desenvolvimento da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.).

| Prof. (cm) | E <sub>1</sub> (0-0,6 D.A.G.) |                         |           | $\frac{a}{E_2}$ (06-26 D.A.G.) |                                 |           | $\frac{b}{E_3}$ (26-46 D.A.G.) |                                 |           | E <sub>4</sub> (46-66 D.A.G.) |                                 |           | E <sub>5</sub> (66-86 D.A.G.) |                                 |           |
|------------|-------------------------------|-------------------------|-----------|--------------------------------|---------------------------------|-----------|--------------------------------|---------------------------------|-----------|-------------------------------|---------------------------------|-----------|-------------------------------|---------------------------------|-----------|
|            | NTSS (ppm)                    | Át. $^{15}\text{N}$ (%) | NSSPF (%) | NTSS (ppm)                     | Át. $^{15}\text{N}$ Excesso (%) | NSSPF (%) | NTSS (ppm)                     | Át. $^{15}\text{N}$ Excesso (%) | NSSPF (%) | NTSS (ppm)                    | Át. $^{15}\text{N}$ Excesso (%) | NSSPF (%) | NTSS (ppm)                    | Át. $^{15}\text{N}$ Excesso (%) | NSSPF (%) |
| 45         | 72,36                         | 0,371                   | -         | 81,69                          | 0,167                           | 0,30      | 42,50                          | 0,085                           | 0,15      | 28,62                         | 0,117                           | 2,10      | 18,18                         | 2,954                           | 5,27      |
| 75         | 59,69                         | 0,371                   | -         | 40,09                          | 0,007                           | 0,01      | 45,02                          | 0,045                           | 0,08      | 34,16                         | 0,113                           | 0,20      | 38,00                         | 0,235                           | 0,42      |
| 105        | 10,39                         | 0,371                   | -         | 15,54                          | 0,018                           | 0,03      | 44,30                          | 0,241                           | 0,43      | 24,17                         | 0,056                           | 0,10      | 28,98                         | 0,084                           | 0,15      |
| 135        | 19,05                         | 0,371                   | -         | 10,57                          | 0,265                           | 0,47      | 13,56                          | 0,059                           | 0,10      | 17,28                         | 0,102                           | 0,18      | 18,32                         | 0,074                           | 0,13      |

NTSS = nitrogênio total na solução do solo

NSSPF = nitrogênio na solução do solo proveniente do fertilizante

D.A.G. = dias após a germinação

a/ e b/ = após a aplicação de 14 e 42 kg N/ha, respectivamente