

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO  
DE DUAS FONTES DE NITROGÊNIO,  $\text{CO}^{(15)\text{NH}_2)_2}$  E  
 $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  PELA CULTURA DE MILHO (*Zea mays* L.)**

**LUIS MIRANDA FLORES**  
Engenheiro Agrônomo

**Orientador: Dr. REYNALDO LUIZ VICTÓRIA**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de Concentração: Energia Nuclear na Agricultura.

**PIRACICABA**  
Estado de São Paulo - Brasil  
Março - 1986

*Aos meus*

*FILHOS*

*com muito carinho*

## AGRADECIMENTOS

- . Ao Dr Reynaldo Luiz Victoria, pela orientação e amizade recebida.
- . Aos Drs Takashi Muraoka e Paulo C.O.Trivelin, pelas suges  
tões no desenvolvimento do experimento.
- . Aos Srs José A. Bonassi; Geraldo Arruda Jr e Edwaldo A.R. Rosa, pelo apoio nas análises.
- . Ao Prof. Sr. Plínio R. de Camargo, pela colaboração na re  
visão do texto,
- . Aos Colegas e amigos: Plínio B. de Camargo, Luiz A. Martin  
elli e Francisco Coelho Novaes, por terem me brindado sua valiosa amizade.
- . À Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) pela bol  
sa de estudos concedida.
- . Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), as fa  
cilidades oferecidas.

- . Ao Instituto Boliviano de Ciência e Tecnologia Nuclear (IBTEN), a oportunidade.
  
- . À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, os ensinamentos.
  
- . A todas as outras pessoas que, direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho e ofereceram-me sua amizade.

MUITO OBRIGADO



## I N D I C E

	PÁGINA
RESUMO .....	xv
SUMMARY .....	xviii
1. INTRODUÇÃO .....	1.
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4.
2.1. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE FERTILIZANTES.....	4.
2.2. USO DO <sup>15</sup> N COMO TRAÇADOR .....	6.
2.3. FERTILIZAÇÃO NITROGENADA NO MILHO .....	9.
2.4. EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO FERTILIZANTE NITROGENADO NO MILHO .....	11.
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	15.
3.1. LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO .....	15.
3.2. CARACTERÍSTICAS DO SOLO UTILIZADO .....	15.
3.3. VARIEDADE DE MILHO .....	17.
3.4. FONTES DE NITROGÊNIO .....	17.
3.5. ADUBAÇÃO BÁSICA .....	18.

3.6. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	18.
3.7. PRÁTICAS CULTURAIS .....	20.
3.7.1. SEMEADURA .....	20.
3.7.2. ADUBAÇÃO .....	20.
3.7.3. CONTROLE FITOSSANITÁRIO .....	21.
3.7.4. AMOSTRAGEM DE PLANTAS E SOLO .....	21.
3.8. ANÁLISE DE MATERIAL VEGETAL E DO SOLO.....	22.
3.8.1. PREPARO DAS AMOSTRAS .....	22.
3.8.2. ANÁLISE DE NITROGÊNIO TOTAL .....	22.
3.8.3. DETERMINAÇÃO DA PORCENTAGEM DE ÁTOMOS DE $^{15}N$ .....	23.
3.9. PARÂMETROS AVALIADOS .....	24.
3.9.1. RENDIMENTO DE MATÉRIA SECA .....	24.
3.9.2. NITROGÊNIO NA PLANTA .....	25.
3.9.3. NITROGÊNIO DERIVADO DO FERTILIZANTE.	26.
3.9.4. EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO FERTILIZANTE .....	27.
3.9.5. PARÂMETROS RELACIONADOS COM O NITROGÊNIO NO SOLO .....	28.
3.9.6. BALANÇO DO NITROGÊNIO NO SISTEMA SOLO-PLANTA .....	29.
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	32.
4.1. PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA .....	32.
4.2. NITROGÊNIO NA PLANTA .....	37.
4.2.1. PORCENTAGEM E QUANTIDADE DE NITROGÊNIO	

NIO TOTAL NA PLANTA .....	37.
4.2.2. PORCENTAGEM DE NITROGÊNIO NA PLAN <u>TA</u> <u>TA</u> PROVENIENTE DO FERTILIZANTE...	44.
4.2.3. QUANTIDADE DE NITROGÊNIO NA PLAN <u>TA</u> <u>TA</u> PROVENIENTE DO FERTILIZANTE...	51.
4.2.4. EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO FERTI <u>LIZANTE</u> NITROGENADO .....	54.
4.2.5. NITROGÊNIO NA PLANTA PROVENIENTE DO SOLO .....	62.
4.3. NITROGÊNIO NO SOLO .....	68.
4.3.1. TEOR E QUANTIDADE DE NITRÓGÊNIO TOTAL NO SOLO .....	68.
4.3.2. PORCENTAGEM E QUANTIDADE DE NITRO <u>GÊNIO</u> NO SOLO PROVENIENTE DO FER <u>TILIZANTE</u> .....	70.
4.4. BALANÇO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DO FERTILIZANTE NO SISTEMA SOLO-PLANTA.....	73.
5. CONCLUSÕES .....	78.
6. LITERATURA CITADA .....	81.
7. APÊNDICE .....	94.

## LISTA DE TABELAS

TABELA		PÁGINA
1	Algumas características químicas do solo em estudo .....	16.
2	Tratamentos adotados baseados na combinação das fontes com os níveis de enriquecimento de $^{15}\text{N}$ .....	19.
3	Produção de matéria seca (g/vaso) nos diferentes órgãos da planta e na planta inteira de milho, em função dos tratamentos em estudo nas diversas épocas de amostragem. (Média de três repetições)..	35.
4	Teores médios de nitrogênio total em diversas partes da planta e na planta inteira em distintos estádios de desenvolvimento da cultura, nos tratamentos em estudo.....	41.

- 5 Médias da quantidade de nitrogênio total absorvido por diversas partes da planta e pela planta inteira no cultivo de milho, nos diferentes tratamentos em função do estágio de desenvolvimento..... 42.
- 6 Átomos de  $^{15}\text{N}$  em excesso, porcentagem e quantidade de nitrogênio total nos diferentes órgãos da planta proveniente do fertilizante após 30 dias da semeadura, no cultivo de milho (*Zea mays* L.)..... 47.
- 7 Átomos de  $^{15}\text{N}$  em excesso, porcentagem e quantidade de nitrogênio total nos diferentes órgãos da planta proveniente do fertilizante aos 60 dias de idade das plantas..... 48.
- 8 Átomos de  $^{15}\text{N}$  em excesso, porcentagem e quantidade de nitrogênio total nas diferentes partes da planta proveniente do fertilizante aos 90 dias de idade das plantas de milho (*Zea mays* L.)..... 49.

- 9 Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado em três estádios de desenvolvimento da cultura de milho (*Zea mays* L) 60.
- 10 Porcentagem e quantidade de nitrogênio na planta e nos órgãos provenientes do solo. (Médias de três repetições)..... 65.
- 11 Médias das porcentagens e das quantidades de nitrogênio total no solo, nos diferentes tratamentos, em três épocas de estudo ..... 69.
- 12 Átomos de  $^{15}\text{N}$  em excesso, porcentagem e quantidade de nitrogênio total no solo proveniente do fertilizante em diferentes períodos de desenvolvimento da cultura de milho (*Zea mays* L.) ..... 72.
- 13 Balanço do nitrogênio proveniente do fertilizante no sistema solo-planta nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura. Valores médios ..... 77.

14	Porcentagem da abundância de átomos de $^{15}\text{N}$ nas diferentes partes da planta nas distintas épocas de amostragem. (Médias de três repetições) .....	95.
15	Porcentagem da abundância de átomos em excesso de $^{15}\text{N}$ dos fertilizantes utilizados no experimento .....	96.
16	Balanço do nitrogênio proveniente do fertilizante no sistema solo-planta aos 30 dias de idade das plantas .....	97.
17	Balanço do nitrogênio proveniente do fertilizante no sistema solo-planta aos 60 dias de idade das plantas .....	98.
18	Balanço do nitrogênio proveniente do fertilizante no sistema solo-planta aos 90 dias de crescimento das plantas .....	99.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	<i>Acúmulo de matéria seca e sua distribuição nas diferentes partes da planta em três épocas de desenvolvimento da cultura de milho (Zea mays L.).....</i>	36.
2	<i>Acúmulo de nitrogênio total nos órgãos da planta, ao longo dos ciclos da cultura de milho (Zea mays L.).....</i>	43.
3	<i>Porcentagem do nitrogênio total proveniente do fertilizante nos órgãos da planta em diferentes etapas do crescimento da cultura.....</i>	50.
4	<i>Quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante e sua distribuição nas diferentes partes da planta nos distintos estádios de desenvolvimento da cultura .....</i>	53.



- 5 *Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado e da porcentagem de nitrogênio total proveniente do fertilizante , na planta toda em função da idade da cultura . . . . .* 61.
- 6 *Porcentagem de nitrogênio nos diferentes órgãos da planta de milho provenientes , do solo em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura . . . . .* 66.
- 7 *Variações do nitrogênio total na planta, proveniente do fertilizante, do solo e da testemunha, nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura . . . . .* 67.
- 8 *Teor porcentual da acumulação de nitrogênio total nas diferentes partes da planta, proveniente do fertilizante. . . . .* 100.
- 9 *Acúmulo do nitrogênio total proveniente, do fertilizante nas diferentes partes da planta, em função dos estádios de desenvolvimento da cultura . . . . .* 101.

10	<i>Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado nas diferentes partes da planta.....</i>	102.
11	<i>Quantidade de nitrogênio nos órgãos da planta proveniente do solo .....</i>	103.

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE  
DUAS FONTES DE NITROGÊNIO,  $\text{CO}(\text{}^{15}\text{NH}_2)_2$  E  $(\text{}^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  
PELA CULTURA DE MILHO (*Zea mays* L.)

LUIS MIRANDA FLORES

- Autor -

DR. REYNALDO LUIZ VICTORIA

- Orientador -

## RESUMO

O presente trabalho foi conduzido em casa de vegetação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), localizado no Campus de Piracicaba, da Universidade de São Paulo, Estado de São Paulo, Brasil, durante o ano agrícola 1984/1985. Seus objetivos foram, avaliar quantitativamente a eficiência de utilização do nitrogênio de duas fontes (uréia e sulfato de amônio) pela cultura de milho e verificar a precisão da análise isotópica do  $^{15}\text{N}$  aplicado como fertilizante marcado em diferentes níveis de enriquecimento.

Aplicou-se uréia e sulfato de amônio em uma dose equivalente a 200 kg N/ha enriquecidos em 1,5; 3,0; 6,0 e 9,0% átomos de  $^{15}\text{N}$  em excesso.

Em três épocas de desenvolvimento da cultura (30, 60 e 90 dias, após o plantio), foram coletadas plantas de todos os tratamentos e separados em raízes, colmo e folhas nas quais avaliou-se a produção de matéria seca, nitrogênio total, nitrogênio proveniente do fertilizante, o proveniente do solo e a eficiência de utilização do N-fertilizante pela cultura. No solo avaliou-se o nitrogênio total e o proveniente do fertilizante nas três épocas de amostragem.

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que: a) a adubação nitrogenada aumentou sensivelmente a produção de matéria seca e a quantidade de nitrogênio total na planta; b) as porcentagens máximas de nitrogênio na planta derivado do fertilizante, ocorreram aos 60 dias após a sementeira; c) as quantidades de nitrogênio nos diversos órgãos da planta proveniente dos fertilizantes variam entre épocas de desenvolvimento da cultura ocasionada pela redistribuição do nitrogênio nas partes vegetativas da planta e pela translocação para órgãos de produção do grão; d) as taxas de absorção do nitrogênio proveniente do fertilizante não foram afetados pelo tipo de fonte nitrogenada; e) a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pela planta toda varia, conforme os estádios da cultura tornando-se máxima aos 60 dias com 72%.

Outra conclusão importante é que o balanço do nitrogênio do fertilizante mostrou que a uréia em maior quantidade comparado com o sulfato de amônio, com valores máximos alcançados aos 90 dias. No que diz respeito aos níveis de enriquecimento isotópico do  $^{15}\text{N}$ , pode-se concluir que seu incremento não alterou sensivelmente a precisão dos resultados analíticos e, que o adubo marcado com  $^{15}\text{N}$  acima de 1,5% átomos em excesso apresenta resultados analíticos de alta precisão, quando determinados num espectrômetro de massa.

COMPARATIVE EVALUATION OF EFFICIENCY IN THE UTILIZATION  
OF TWO NITROGEN SOURCES,  $\text{CO}(\text{}^{15}\text{NH}_2)_2$  AND  $(\text{}^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  
BY MAIZE (*Zea mays* L.)

LUIS MIRANDA FLORES

- Author -

DR. REYNALDO LUIZ VICTÓRIA

- Advisor -

SUMMARY

The present work was conducted in the green house at Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), University of São Paulo, Piracicaba Campus, São Paulo, Brazil, during the 1984/1985 season. The objectives were to quantitatively evaluate the efficiency of the utilization by maize (*Zea mays* L.) of nitrogen from two sources (urea and ammonium sulphate) and to check the accuracy of the isotopic analysis of the  $^{15}\text{N}$  applied as labelled fertilizer at different enrichment levels.

Urea and ammonium sulphate were applied at a dose equivalent to 200 kg N/ha enriched at 1.5, 3.0, 6.0 and 9.0  $^{15}\text{N}$  atom % excess.

Plants from all treatments were collected at three different times (30, 60 and 90 days after planting ) and separated into roots, stem, and leaves in which organic matter production, total nitrogen, nitrogen derived from fertilizer, nitrogen from soil and the efficiency of utilization of the fertilizer-N by the crop were evaluated. Total nitrogen and fertilizer-N in soil were evaluated in the three sampling times.

Based on results obtained, it was concluded that: a) nitrogen fertilization increased considerably the organic matter production and amount of total plant nitrogen; b) maximum percent of nitrogen derived from fertilizer occurred 60 days after sowing; c) the amount of nitrogen derived from fertilizer in the different plant parts vary between time of crop development due to redistribution of the nitrogen to vegetative parts of the plant and N-translocation to grain producing parts; d) the rate of absorption by the plant of the nitrogen derived from fertilizer was not affected by the type of the nitrogen source; e) the efficiency of utilization by the whole plant of nitrogen fertilization vary according to crop stage, reaching the maximum - 72% - at 60 days.

Another important conclusion is that the ba

lance of the nitrogen fertilizer showed that a larger quantity of urea is lost when compared with ammonium sulphate with maximum values at 90 days. With regards to  $^{15}\text{N}$  isotope enrichment levels, it was concluded that its increment did not notably alter the accuracy of the analytical results and that the  $^{15}\text{N}$  1.5% atom excess labelled fertilizer gave highly accurate analytical results when a mass spectrometer was used.



## 1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma das gramíneas de cultivo extensivo mais importante, principalmente em regiões temperadas e de baixa pluviometria. Seu estudo ocupa lugar de destaque por seu alto valor nutricional, seu interesse econômico e alta rentabilidade.

A cultura de milho reage acentuadamente à aplicação de nitrogênio mineral. Este nutriente tem papel fundamental no aumento da produção e da qualidade do grão. Por este motivo, nos últimos anos, dirigiram-se as pesquisas no sentido de elevar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados, pela cultura procurando-se essencialmente seu uso mais econômico.

A eficiência do uso do fertilizante pode ser avaliada pela sua recuperação por meio das plantas, sendo a mesma função de fatores relacionados ao sistema solo-planta-fertilizante.

Consegue-se a recuperação eficiente de uma fonte nitrogenada mediante o emprego de um conjunto de técnicas de aplicação, orientadas para assegurar a máxima absorção do elemento aplicado, visando a que sua disponibilidade não seja alterada por interações desfavoráveis. Para atingir esse objetivo, é necessário investigar os padrões de absorção e a eficiência de utilização do fertilizante aplicado sob diferentes condições e métodos.

A metodologia isotópica constitui-se em uma ferramenta útil neste estudo. O uso do isótopo  $^{15}\text{N}$  como traçador é considerado o meio mais eficaz de detecção, discriminação e avaliação dos caminhos seguidos pelo nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera. Esta técnica permite uma medição direta e exata da absorção do nutriente aplicado - o nitrogênio, neste caso - mediante o uso de fertilizantes marcados com o isótopo estável do nitrogênio  $^{15}\text{N}$  (HAUCK e BREMNER, 1976).

Na aplicação desta técnica, a análise isotópica constitui-se no fator de maior atenção. A determinação da concentração isotópica de  $^{15}\text{N}$  (átomos %) ou mesmo das variações da razão  $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$  de qualquer material por espectrometria de massa baseia-se na separação eletromagnética de íons com massas diferentes de acordo com a relação carga-massa, durante sua passagem através de um campo magnético (KISER, 1965). O erro analítico desses instrumentos é

cerca de 0,002% de átomos em excesso de  $^{15}\text{N}$ , precisão que decresce com o aumento da diluição. Embora a confiabilidade dos resultados seja elevada, vários pesquisadores discutem o comportamento dos resultados com relação ao nível de enriquecimento do material marcado (BROESHART, 1974; FIEDLER e PROKSCH, 1975; VOSE, 1980).

Baseados em estudos que informam não ser a recuperação do fertilizante nitrogenado igual durante o ciclo vegetativo das plantas de milho, pretende-se neste trabalho: determinar a fase de desenvolvimento da cultura em que se atinge a máxima eficiência de utilização da uréia e sulfato de amônio e a parte da planta onde se acumula mais o nitrogênio do solo e do fertilizante. Com os resultados, pretende-se verificar também a precisão da análise isotópica do  $^{15}\text{N}$  aplicado como fertilizante marcado em diferentes níveis de enriquecimento.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE USO DE FERTILIZANTES

Uma agricultura moderna exige o uso de fertilizantes e corretivos em quantidades adequadas, de forma a atender a critérios econômicos e, ao mesmo tempo, conservar a fertilidade do solo para manter ou elevar a produtividade das culturas (RAIJ, 1981).

O uso de fertilizantes implica normalmente, empregar uma determinada quantidade (níveis) de certos produtos (fontes) em condições específicas de tempo e localização. Por outro lado, segundo ZAPATA (1981), o uso eficiente de fertilizantes é o conjunto de técnicas de aplicação destes insumos, orientando para assegurar a máxima absorção do elemento pela cultura, e para que sua disponibilidade não seja reduzida por interações desfavoráveis relativas ao sistema solo-planta-fertilizante.

A eficiência dos fertilizantes pode ser afe

tada por diversos fatores: ambientais, próprios do fertilizante, práticas culturais e, em geral, de manejo. Entre os fatores que podem ser controlados, segundo relatório da FAO (1985), tentando minimizar o problema da baixa eficiência dos fertilizantes, está a adubação desequilibrada. A aplicação desequilibrada de fertilizantes, conforme a mesma fonte, é comum em muitas partes do mundo, especialmente nos países em desenvolvimento, sem tradição no uso de técnicas e insumos agrícolas. Constitui-se este fato em um problema não somente para o agricultor como também para os países, particularmente aqueles cuja economia está baseada na agricultura.

A avaliação da eficiência do uso de fertilizantes envolve um conjunto de estudos que inclui a necessidade de conduzir experimentos de campo ou casa de vegetação cuidadosamente delineados sob diversas condições de clima e ambiente. Com os resultados obtidos, será possível conhecer o efeito de diversas práticas de manejo sobre a absorção e conseqüente assimilação de nutrientes pela cultura. O objetivo principal da avaliação, em princípio, é estabelecer margens de eficiência com as práticas atuais de manejo e em fase posterior aumentar ao máximo a eficiência mediante o uso de práticas melhoradas (FRIED, 1973; ZAPATA, 1981).

Sabe-se que estes estudos podem realizar-se através de diferentes métodos, por meio do método clássico

ou convencional que consiste no cálculo direto da absorção do fertilizante mediante a comparação dos rendimentos de colheita obtidos. Outro método é o da diferença entre quantidades de nutrientes acumulados pela cultura que recebeu adubo e a testemunha ou que não recebeu fertilizante. Estes métodos estão sujeitos a muitos erros e, normalmente, de acordo com FRIED *et alii* (1976) e OLSON (1979) superestimam a eficiência. As técnicas isotópicas constituem outra forma de avaliação da eficiência de utilização dos fertilizantes. Esta metodologia consiste na medição direta e quantitativa da absorção do nutriente aplicado mediante o uso de fertilizantes isotopicamente marcados (IAEA, 1976; HERA, 1979).

## 2.2. USO DE $^{15}\text{N}$ COMO TRAÇADOR

Dos seis isótopos do nitrogênio, somente aqueles de número de massa 14 e 15 são estáveis e ocorrem normalmente na natureza. Os de massa 12, 13, 16 e 17 são radioativos de meias vidas curtas; 0,01 seg., 10 min., 7 e 4 seg. respectivamente o que torna inviável seu uso em experimentos de longa duração.

A descoberta do isótopo estável  $^{15}\text{N}$  por Naudé em 1929 (SMITH *et alii*, 1963), abriu caminho para estudos de problemas biológicos, utilizando este elemento como traçador. Os métodos para sua obtenção e purificação foram

iniciados por UREY *et alii* (1937) sendo que as primeiras aplicações práticas do nitrogênio como traçador em pesquisas do sistema solo-planta-atmosfera, foram conduzidas sob condições controladas de laboratório e casa de vegetação por NORMAN e WERKMAN (1943) que verificaram a mineralização da matéria orgânica enriquecida com  $^{15}\text{N}$  e sua disponibilidade para a cultura de soja; BURRIS *et alii* (1943) no estudo da fixação simbiótica de nitrogênio; HILTBOLD *et alii* (1951) investigando a mineralização e imobilização do nitrogênio; WIJLER e DELWICHE (1954) com atenção voltada à desnitrificação. Entretanto, o primeiro trabalho de que se tem notícia sobre aplicações em campo de fertilizantes marcados com  $^{15}\text{N}$  é o de BARTOLOMEW *et alii* (1950).

A técnica do uso do traçador  $^{15}\text{N}$  é baseada no fato de que o  $^{14}\text{N}$  e o  $^{15}\text{N}$  ocorrem naturalmente na maioria dos compostos em uma relação  $^{14}\text{N}:^{15}\text{N}$  constantes de  $272 \pm 0,3$ . O enriquecimento isotópico de  $^{15}\text{N}$  nestes compostos é de  $0,3663 \pm 0,0004\%$  de átomos de  $^{15}\text{N}$  (HAUCK e BYSTROM, 1970; HAUCK, 1973; FIEDLER e PROKSCH, 1975). O nitrogênio destes compostos, cuja abundância relativa do isótopo estável  $^{15}\text{N}$  foi aumentada por exemplo, num 3% de átomos, se diferencia claramente do nitrogênio com abundância relativa natural do  $^{15}\text{N}$  (0,366% de átomos de  $^{15}\text{N}$ ); nestas circunstâncias se denomina elemento marcado o mesmo que pode ser usado como traçador para seguir o curso de determinados proces

SOS.

Uma concentração diferente da abundância natural é expressada como % de átomos de  $^{15}\text{N}$  em excesso (VOSE, 1980); essa expressão traduz comercialmente o  $^{15}\text{N}$  enriquecido.

Nestas condições os caminhos percorridos pelo fertilizante nitrogenado marcado ou enriquecido com  $^{15}\text{N}$ , podem ser seguidos e medidos em todo seu curso, isto porque o elemento ou composto marcado, mesmo tendo comportamento igual ao elemento ou composto não marcado pode distinguir-se por métodos analíticos especiais. O comportamento do elemento ou composto marcado em processos físicos, químicos, biológicos e geológicos, pode seguir-se por meio da análise isotópica e atribuir-se também ao elemento ou composto não marcado (HAUCK e BREMNER, 1976).

Para a detecção do isótopo estável  $^{15}\text{N}$  há só duas possibilidades. A espectrometria de massa (EM) e a espectrometria de emissão (E.E). Dos dois métodos, o mais exato e preciso é o de espectrometria de massa.

A determinação da relação  $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$  por E.M. se baseia na separação eletromagnética de íons de diferentes massas de acordo com a relação massa/carga. O erro analítico deste instrumento está ao redor de 0,002% de átomos em



excesso de  $^{15}\text{N}$ , precisão que diminui com uma maior diluição.

Embora a confiabilidade dos resultados seja elevada, vários pesquisadores discutem o comprometimento dos resultados com relação ao nível de enriquecimento do material em estudo. Deve-se mencionar a respeito que o uso de fertilizantes altamente enriquecidos tem custo elevado devido ao preço do mesmo.

Alguns estudos que investigaram este aspecto admitem que, em trabalhos de campo com  $^{15}\text{N}$ -fertilizante, um enriquecimento acima de 2% de átomos em excesso, resulta em medidas confiáveis através desses analisadores (BROESHART, 1974; VOSE, 1980), embora, na maioria dos estudos, se utilizem enriquecimentos muito maiores.

### 2.3. FERTILIZAÇÃO NITROGENADA NO MILHO

Os fertilizantes constituem insumos básicos utilizados para incrementar e manter a fertilidade dos solos e, por conseguinte, assegurar um nível alto de produtividade da cultura do milho.

O milho é uma das gramíneas que reage acentuadamente à aplicação de nitrogênio mineral. Estudos sobre os requerimentos nutricionais desta cultura, confirmaram sua exigência pelo nitrogênio (IVANKO e MAXIANOVA, 1968).

Confirmam também, que existe um efeito positivo sobre a produção e a qualidade do grão (NEPTUNE e CAMPANELLI, 1970).

CRUZ *et alii* (1980), afirmam que o adubo nitrogenado é o meio mais rápido e mais econômico para se aumentar as colheitas de milho, dizem também que o baixo rendimento desta cultura no Brasil é em grande parte causado pela falta de adubação.

O milho, em condições normais, extrai do solo quase 200 kg/ha de nitrogênio; no primeiro mês depois da germinação, o pé de milho absorve menos de 10% do nitrogênio que contém no fim do ciclo. A proporção maior deste elemento é retirada do solo ou do solo mais adubo no segundo mês, por isso o fornecimento de fertilizante nitrogenado é especialmente importante nessa fase (MALAVOLTA, 1980).

Sabe-se, em relação às formas dos adubos que o milho prefere os fertilizantes hidrosolúveis, e também que o fertilizante é absorvido tanto na forma nítrica como na forma amoniacal, embora a idade da planta tenha influência na escolha da forma nitrogenada. O íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) é utilizado, preferencialmente, nos primeiros estágios de crescimento e o íon nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) nos estágios finais (WARNCKE e BARBER, 1973),

Com referência ao modo e época de aplicação

de nitrogênio, os mesmos autores mostraram que estes fatores de produção têm influência na marcha de sua absorção e acumulação de matéria seca nas partes vegetativa e no grão. Dizem também que as aplicações tardias aumentam o tempo de enchimento do grão. A respeito MALAVOLTA e PIRES DANTAS (1978) recomendam aplicar uma pequena proporção de nitrogênio no plantio e maior parte em cobertura, período de maior necessidade da cultura.

PONS e NUSS (1980), estudando o efeito de métodos de aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura em dois tipos de solo, encontraram que a adição de nitrogênio até uma dose de 90 kg/ha produz aumento dos rendimentos de milho nos dois locais, sendo que a aplicação a lanço apresentou tendência para maior eficiência.

Muitas outras pesquisas sobre a fertilização nitrogenada desta cultura coincidem em afirmar que é uma das práticas de cultivo que mais afetam a produção (MEDEIROS, 1974; TANAKA e YAMAGUCHI, 1977; GALLO *et alii* 1980; MUZZILLI *et alii*, 1982).

#### 2.4. EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO FERTILIZANTE NITROGENADO NO MILHO

· CHO *et alii* (1967) mostraram que a eficiência

cia de utilização do fertilizante nitrogenado no milho aumenta com o desenvolvimento da planta, alcançando valores máximos de 30 a 40%.

IVANKO (1972), numa ampla revisão sobre o assunto, mostra que a eficiência de utilização do milho, em condições de campo, nunca excede 60%, variando entre 30 e 40% em condições menos adequadas.

Num trabalho consecutivo de três anos sob condições de irrigação, BROADBENT e CARLTON (1978) comprovaram a habilidade do milho para utilizar o nitrogênio do fertilizante, flutua entre 30 e 60%.

HERA (1979) em experimentos de campo realizados na Romênia, usando várias fontes de nitrogênio, nitrato de amônio, sulfato de amônio e uréia, em diferentes épocas e métodos de aplicação e com uma dose de adubação de 100 kg N/ha, obteve uma máxima eficiência de utilização de 48,3%. Em outra de suas pesquisas, com a mesma cultura, este autor demonstrou que a época de aplicação do fertilizante é mais importante que a fonte química. Afirma que, com uma dose de fertilização de 120 kg N/ha, todo aplicado na semeadura, obteve uma produção de 3.350 kg de grãos por hectare, com uma eficiência de utilização do fertilizante de 25,3%. No entanto, aplicando metade na semeadura e metade antes do florescimento a produção foi de 4.020 kg/ha e a

eficiência de utilização 33,9%.

Em nosso meio, REICHARDT *et alii* (1979), trabalhando com milho, obtiveram uma eficiência de utilização de 82%, quando aplicaram sulfato de amônio na dose de 80 kg N/ha num solo relativamente pobre de nitrogênio. Este alto valor possivelmente se deva ao fato de que houve uma distribuição bastante equilibrada da precipitação pluvial durante o período que compreendeu o experimento o que favoreceu a recuperação eficiente do nitrogênio pelas plantas.

CALVACHE *et alii* (1982) concluem que a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado aumenta conforme avançam os estádios da cultura, tornando-se máxima (30%) na formação do grão (90 dias após a germinação).

Resultado semelhante foi obtido por ARAUJO SILVA (1982), que estudando os movimentos e perdas por lixiviação do N-fertilizante, encontrou uma eficiência de utilização de cerca de 30% aos 75 dias após a germinação da cultura de milho.

LIBARDI (1984), estudando o balanço de nitrogênio em quatro culturas agrícolas, duas de feijão e duas de milho implantadas uma após outra, fertilizando somente na primeira cultura com sulfato de amônio enriquecido a 56% de átomos de  $^{15}\text{N}$ , demonstrou que a eficiência de utilização

do nitrogênio pelo milho, plantado depois da primeira cultura de feijão, foi de 24,26%. Ainda na quarta cultura que correspondeu à segunda de milho a eficiência de uso de nitrogênio do fertilizante marcado aos 75 dias após a germinação foi 7,5%. Estes resultados confirmam a capacidade de recuperação do nitrogênio residual pela cultura de milho.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O presente experimento foi conduzido sob condições de casa de vegetação, no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) da Universidade de São Paulo (USP), localizado no município de Piracicaba, SP, durante o ano agrícola 1984/1985.

#### 3.2. CARACTERÍSTICAS DO SOLO UTILIZADO

Usou-se, no experimento, solo da série Ser<sup>u</sup>tãozinho, Latossolo Vermelho Escuro (LVE), textura média (RANZANI *et alii*, 1967) do município de Piracicaba, SP. Este solo foi coletado da camada superficial (0-25cm), logo depois seco ao ar e peneirado em malha de 2mm.

Os resultados de algumas características químicas do solo podem ser vistos na Tabela 1.

TABELA 1. Algumas características químicas<sup>1</sup> do solo em estudo.

Prof. (cm)	pH (1:2,5)	C.O. %	M.O.	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Al}^{3+}$	$\text{H}^+$
meq/100g de solo									
0-25	5,3	0,54	0,93	0,10	0,10	1,35	0,28	0,56	2,4

<sup>1</sup> As análises foram feitas no laboratório do Departamento de Solos da ESALQ/USP.

A reação do solo foi determinada potenciométricamente em suspensões (1:2,5) do solo com água; o carbono orgânico pelo método de Walkley e Black, descrito por JACKSON (1976); a matéria orgânica pela multiplicação do teor de carbono orgânico pelo fator 1,724 como sugerido por EMBRAPA (1979); o fósforo solúvel pelo método fotocolorimétrico após extração com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,05N; o potássio por fotometria de chama; o cálcio e o magnésio por espectrometria de absorção atômica em extrato obtido com KCl 1N; o alumínio trocável por titulação com uma solução de NaOH 0,02N, após extração com KCl 1N, e a acidez potencial por titulação com NaOH 0,02N após extração com acetato de cálcio 1N ajustado a pH 7,0.



A interpretação destes resultados, de acordo com COCHRANE (1970), mostra que o solo apresenta reação moderadamente ácida e, em geral, uma baixa fertilidade.

### 3.3. VARIEDADE DE MILHO

Utilizou-se a variedade de milho Piranão, obtido no Departamento de Genética da ESALQ/USP. Esta variedade tem características de porte médio, resistência ao acamamento, ciclo vegetativo precoce e é amplamente difundida na região.

### 3.4. FONTES DE NITROGÊNIO

Foram empregados como fontes de nitrogênio:

a) *Uréia* -  $\text{CO}({}^{15}\text{NH}_2)_2$  - enriquecida com 1,5; 3,0; 6,0 e 9,0 % átomos de  ${}^{15}\text{N}$  em excesso.

b) *Sulfato de amônio* -  $({}^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  - enriquecido em 1,5; 3,0; 6,0 e 9,0 % átomos de  ${}^{15}\text{N}$  em excesso.

### 3.5. ADUBAÇÃO BÁSICA

Aplicou-se superfosfato simples e cloreto de potássio como fontes de P e K respectivamente em uma dose equivalente de 240 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha e 120 kg K<sub>2</sub>O/ha, (557mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> / vaso e 278mg K<sub>2</sub>O/vaso).

### 3.6. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento consistiu em 81 unidades experimentais dispostos completamente ao acaso, produto de oito tratamentos e três repetições, de acordo com os seguintes fatores em estudo:

#### a) Fontes de Nitrogênio

F<sub>1</sub> = uréia - CO(<sup>15</sup>NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>

F<sub>2</sub> = sulfato de amônio - (<sup>15</sup>NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

#### b) Níveis de enriquecimento isotópico

E<sub>1</sub> = 1,5 At % <sup>15</sup>N exc.

E<sub>2</sub> = 3,0 At % <sup>15</sup>N exc.

E<sub>3</sub> = 6,0 At % <sup>15</sup>N exc.

E<sub>4</sub> = 9,0 At % <sup>15</sup>N exc.

A combinação fatorial de 2F x 4E produz oito tratamentos tal como pode ser visto na Tabela 2.

TABELA 2. Tratamentos adotados baseados na combinação das fontes com os níveis de enriquecimento de  $^{15}\text{N}$

Tratamentos	Fatores em Estudo
1. $F_1 \times E_1$	$\text{CO}(^{15}\text{NH}_2)_2 - 1,5\% \text{ At } ^{15}\text{N exc.}$
2. $F_1 \times E_2$	$\text{CO}(^{15}\text{NH}_2)_2 - 3,0\% \text{ At } ^{15}\text{N exc.}$
3. $F_1 \times E_3$	$\text{CO}(^{15}\text{NH}_2)_2 - 6,0\% \text{ At } ^{15}\text{N exc.}$
4. $F_1 \times E_4$	$\text{CO}(^{15}\text{NH}_2)_2 - 9,0\% \text{ At } ^{15}\text{N exc.}$
5. $F_2 \times E_1$	$(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 - 1,5\% \text{ At } ^{15}\text{N exc.}$
6. $F_2 \times E_2$	$(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 - 3,0\% \text{ At } ^{15}\text{N exc.}$
7. $F_2 \times E_3$	$(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 - 6,0\% \text{ At } ^{15}\text{N exc.}$
8. $F_2 \times E_4$	$(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 - 9,0\% \text{ At } ^{15}\text{N exc.}$

As 81 unidades experimentais foram produto de:

$8 \text{ trat.} \times 3 \text{ épocas de amostragem} \times 3 \text{ repetições} = 72 \text{ vasos}$   
 $+ 1 \text{ trat. controle} \times 3 \text{ épocas de amostragem} \times 3 \text{ rep.} = 9 \text{ vasos}$   
 $TOTAL = 81 \text{ vasos}$   
 ou U.E.

As épocas de amostragem foram aos 30, 60 e 90 dias de idade das plantas, e as partes da planta estudadas, raiz, colmo e folhas.

A unidade experimental foi constituída de um vaso plástico de fundo fechado com capacidade para cinco litros, com 6,5 kg de solo e com uma planta de milho.

### 3.7. PRÁTICAS CULTURAIS

#### 3.7.1. SEMEADURA

A semeadura foi realizada no dia 12 de março de 1985, plantando-se três sementes por vaso. Transcorridos 10 dias após a semeadura, procedeu-se ao desbaste, deixando-se uma planta por vaso.

#### 3.7.2. ADUBAÇÃO

No momento do plantio os vasos receberam somente a adubação básica (fertilização fosfatada e potássica). A fertilização nitrogenada dividiu-se em duas aplicações, 25% do total aplicou-se no momento do desbaste e os 75% restantes 30 dias depois.

O fertilizante nitrogenado equivalente a uma dose de 200 kg N/ha, (464mg N/vaso), aplicou-se em forma de

solução a todos os tratamentos da mesma forma; o superfosfato simples e o clóreto de potássio foram misturados com o solo por ocasião do plantio.

### 3.7.3. CONTROLE FITOSSANITÁRIO

Com a finalidade de controlar o ataque da lagarta (*Elasmopalpus lignosellus*, L.), foram feitas duas pulverizações com Thiodan 0,2% na dosagem de 2 cc por litro de água, aplicada na bainha das folhas, 12 e 40 dias após o plantio.

### 3.7.4. AMOSTRAGENS DE PLANTAS E SOLO

No decorrer do experimento, coletaram-se plantas de acordo com as épocas de amostragens previamente estabelecidas; a primeira amostragem foi aos 30 dias de idade das plantas (11-4-85), o segundo aos 60 dias (11-5-85) e, finalmente, aos 90 dias (10-6-85).

Ao mesmo tempo da amostragem de plantas, coletaram-se também amostras de solo correspondentes a cada vaso.

### 3.8. ANÁLISE DO MATERIAL VEGETAL E DO SOLO

#### 3.8.1. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Após a coleta de três vasos por tratamentos (em cada época de amostragem), as plantas foram separadas em raízes, colmos e folhas. As raízes se separaram do solo e depois lavadas cuidadosamente com água corrente, em seguida todo o material foi colocado em sacos de papel e secados em estufa a 70°C (48 horas), depois foram pesados e moídos finamente num moinho Wiley.

As amostras coletadas de solo foram secas ao ar e colocadas em sacos de plástico para posteriormente, serem analisadas.

Nas amostras de planta e solo assim tratadas, foram feitas as análises de nitrogênio total e da composição isotópica do nitrogênio.

#### 3.8.2. ANÁLISE DE NITROGÊNIO TOTAL

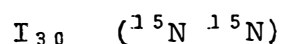
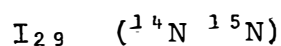
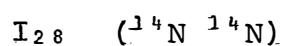
As análises da porcentagem de nitrogênio total foram feitas nas amostras de solo e planta pelo método semi-micro-Kjeldahl, descrito por BREMNER (1965a). No caso das amostras de planta usou-se 200 mg do material para a digestão em solução digestora de ácido sulfúrico, destilação

em soda (NaOH) e titulação com HCl 0,1N. No que se refere às amostras de solo, foram utilizadas duas gramas de terra fina.

### 3.8.3. DETERMINAÇÃO DA PORCENTAGEM DE ÁTOMOS DE $^{15}\text{N}$

As análises da composição isotópica do nitrogênio contido nas amostras foram efetuadas num espectrômetro de massa MAT 230. As amostras foram processadas de acordo com o método de Rittemberg, citado por TRIVELIN *et alii* (1973) para produzir  $\text{N}_2$ , partindo do destilado final obtido na análise da porcentagem de nitrogênio total.

Os resultados da composição isotópica do  $\text{N}_2$  foram obtidos em uma varredura de massas correspondentes às correntes de íons de número de massa 28, 29 e 30:



Os íons de diferentes massas que penetram no coletor são registrados em forma de picos, formando o espectro de massas, o produto da altura em mm de um pico pela sensibilidade do registrador em Volts, denomina-se intensidade do pico. O cálculo da concentração em  $^{15}\text{N}$  de uma amostra

tra baseia-se na medida da intensidade dos picos de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Átomos } \% \text{ } ^{15}\text{N} = \frac{I_{29} + I_{30}}{2I_{28} + 2I_{29} + 2I_{30}} \times 100 \quad [1]$$

A equação [1] expressa a concentração porcentual de átomos de  $^{15}\text{N}$  em relação ao total de átomos de nitrogênio contidos na amostra (BREMNER, 1965b).

Considerando-se o equilíbrio isotópico existente entre as diversas espécies moleculares a equação pode ser simplificada para:

$$\text{Átomos } \% \text{ } ^{15}\text{N} = \frac{100}{2R+1} \quad [2]$$

onde:

R= representa a relação entre as intensidades das moléculas de  $|^{14}\text{N}, ^{14}\text{N}| / |^{15}\text{N} \text{ } ^{14}\text{N}|$ .

Esta expressão é válida até 5% de enriquecimento de  $^{15}\text{N}$  onde se óbvia o pico 30 (GUIRAUD, 1984).

### 3.9. PARÂMETROS AVALIADOS

#### 3.9.1. RENDIMENTO DE MATÉRIA SECA

A produção de matéria seca foi registrada



nos diferentes órgãos da planta em estudo, raiz, colmo e folhas. O rendimento de matéria seca da planta total compreendeu a somatória da parte aérea (colmo e folhas) mais a raiz. Os resultados foram expressados em g/vaso.

### 3.9.2. NITROGÊNIO NA PLANTA

O teor de nitrogênio total, nas diversas partes da planta, foi fornecido pela análise química. O teor de nitrogênio total na planta inteira obtido do valor ponderado entre as porcentagens de nitrogênio total extraídas pelas diversas partes da planta e o rendimento total de matéria seca. A quantidade de nitrogênio total observada pelos órgãos da planta, expressada em mg/vaso, foi calculada pela seguinte equação:

$$\text{NTP (mg.vaso}^{-1}\text{)} = \frac{\text{NTP (\%)} \times \text{RMS}}{100} \quad [3]$$

onde:

NTP (%) = teor de nitrogênio total na parte da planta considerada.

RMS = rendimento de matéria seca em mg/vaso, das partes da planta considerada.

### 3.9.3. NITROGÊNIO DERIVADO DO FERTILIZANTE

A porcentagem de N proveniente do fertilizante nos diversos órgãos da planta, foi calculada pela seguinte equação (VOSE, 1980):

$$NPPF = \left( \frac{\text{At } \% \text{ } ^{15}\text{N}_p - \% \text{ AN}}{\text{At } \% \text{ } ^{15}\text{N}_f - \% \text{ AN}} \right) \times 100 \quad [4]$$

onde:

At %  $^{15}\text{N}_p$  = porcentagem de átomos de  $^{15}\text{N}$  presentes na parte da planta considerada.

At %  $^{15}\text{N}_f$  = Porcentagem de átomos de  $^{15}\text{N}$  presente no fertilizante. No presente caso nas duas fontes : uréia e sulfato de amônio em cada nível de enriquecimento (resultados Tabela 15, do apêndice).

% AN = Abundância natural de  $^{15}\text{N}$ . No estudo, a abundância natural das amostras de planta foram dadas pelas testemunhas ou planta controle.

A quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante nas diversas partes da planta expressada em mg/vaso, por sua vez, foi calculada pela seguinte equação:

$$\text{NPPF (mg.vaso}^{-1}\text{)} = \frac{\text{NPPF (\%)} \times \text{NTP (mg.vaso}^{-1}\text{)}}{100} \quad [5]$$

Os elementos desta expressão já foram descritos nas equações [3] e [4].

#### 3.9.4. EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO FERTILIZANTE

Este parâmetro foi determinado em cada uma das partes da planta em estudo, nas três épocas de amostragem correspondentes. Por sua vez, a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pela planta toda calculou-se pela soma das eficiências de cada uma das partes da mesma, a expressão usada foi a seguinte (IAEA, 1983):

$$\text{EUF} = \frac{\text{NPPF (\%)} \times \text{NTP (mg.vaso}^{-1}\text{)}}{\text{QNA}} \quad [6]$$

onde:

NPPF= porcentagem de nitrogênio proveniente do fertilizante na parte da planta considerada.

NTP = quantidade de nitrogênio total na parte da planta em estudo.

QNA = quantidade de nitrogênio aplicado em mg N/vaso. No caso 464 mg N/vaso.

3.9.5. PARÂMETROS RELACIONADOS COM O NITROGÊNIO NO SOLO

O teor de nitrogênio total (%) no solo foi fornecido pela análise química; a quantidade de nitrogênio total contido no solo expressada em mg/vaso calculou-se pela seguinte equação:

$$\text{NTS (mg.vaso}^{-1}\text{)} = \frac{\text{NTS (\%)} \times \text{M solo}}{100} \quad [7]$$

onde:

NTS= porcentagem de nitrogênio total no solo

M solo= massa do solo contida no vaso. No presente estudo do  $6,50 \times 10^6$ mg.

Por outro lado, a porcentagem de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante, foi determinada pela equação a seguir:

$$\text{NSPF} = \frac{\text{At \% } ^{15}\text{N}_s - \% \text{ AN}}{\text{At \% } ^{15}\text{N}_f - \% \text{ AN}} \times 100 \quad [8]$$

onde:

At %  $^{15}\text{N}_s$  = porcentagem de átomos de  $^{15}\text{N}$  presente no solo.

Os demais elementos desta expressão já foram

descritos anteriormente.

A quantidade de nitrogênio no solo, proveniente do fertilizante, expressa em mg/vaso, por sua vez foi calculada pela equação:

$$\text{NSPF (mg.vaso}^{-1}\text{)} = \frac{\text{NSPF (\%)} \times \text{NTS (mg.vaso}^{-1}\text{)}}{100} \quad [9]$$

Todos os elementos desta equação foram descritos nas expressões [7] e [8].

### 3.9.6. BALANÇO DO 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 e num determinado intervalo de tempo (URQUIAGA, 1982).

A quantidade de nitrogênio que entra no sistema pode ser a partir de fertilizantes e/ou adubos verdes, fixação biológica e pelas precipitações pluviais. A quantidade de nitrogênio que sai pode ser por lixiviação, por flúvio superficial, por volatilização, desnitrificação e colheita.

No presente estudo entretanto, vários compo

nentes do balanço deixaram de ser considerados. Estes componentes são: fixação biológica de nitrogênio, adição de nitrogênio pelas chuvas, perdas por lixiviação e por escoamento superficial.

A fixação biológica não foi considerada por ser quantitativamente desprezível nas condições em que se conduziu o experimento. Não houve adição de nitrogênio pela água das chuvas pelo fato de que a presente pesquisa foi conduzida em casa de vegetação e os vasos foram irrigados com água destilada. As perdas por lixiviação e escoamento superficial não ocorreram, pois se plantou em vasos com fundo fechado.

Entretanto, a volatilização e a desnitrificação poderiam ser as vias possíveis de escape do N-fertilizante do sistema.

Desta maneira, a equação geral do balanço de nitrogênio no sistema solo-planta para o presente experimento se reduz à seguinte expressão:

$$\Delta N = N_f - N_c \quad [10]$$

onde:

$\Delta N$  = saldo de nitrogênio no solo

$N_f$  = nitrogênio que entra como fertilizante

$N_c$  = nitrogênio que sai com a colheita.

Na realidade, a equação [10] corresponde ao balanço de nitrogênio aplicado como fertilizante, estando implícito o nitrogênio inicial do solo. Deve-se destacar que, quando o fertilizante aplicado é marcado, podem-se fazer balanços independentes das fontes de nitrogênio.

Baseados nesses antecedentes, para efetuar o cálculo de balanço de nitrogênio considerou-se a distribuição do nitrogênio em raízes, colmos, folhas e solo. Os dados para os órgãos da planta como para o solo foram os valores da quantidade de nitrogênio total proveniente do fertilizante expresso em mg N/vaso.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA

Na Tabela 3 são apresentados os resultados de produção de matéria seca obtidos nos diferentes órgãos da planta e na planta inteira de milho, sujeitos a duas fontes de nitrogênio e um tratamento controle, em três épocas de desenvolvimento da cultura. Pode ser observado, à primeira vista, que a adição de nitrogênio-fertilizante afetou significativamente o rendimento de matéria seca. Estes resultados ratificam o efeito positivo que a aplicação deste elemento tem sobre esta cultura.

Analisando os resultados, para a planta toda e seus órgãos separadamente, observa-se que houve um aumento de peso em função da idade das plantas quase na mesma proporção entre as duas fontes estudadas; em menor grau, este mesmo efeito se observa no tratamento controle.

Na primeira amostragem da raiz, ou seja aos



30 dias de idade das plantas, a análise estatística mostra que não houve diferenças significativas entre as médias das fontes e a testemunha. Isto quer dizer que a aplicação de um quarto do fertilizante nitrogenado 20 dias antes da colheita, não afetou marcadamente no acúmulo de matéria seca neste período. No entanto, aos 60 e 90 dias após o plantio se detectaram diferenças significativas ( $P=0,01$ ) entre as médias de fontes frente à testemunha, confirmando-se com estes resultados que a adição de nitrogênio fracionado estimula a proliferação do sistema radicular para a formação de novas raízes ou o alongamento das já existentes (SORENSEN, 1971). Estes resultados foram colocados na Figura 1a.

Aos 30 dias, não houve variação estatisticamente significativa nos valores médios no que se refere à parte aérea, que compreendeu neste estágio ao colmo e as primeiras folhas desenvolvidas. Entretanto para as amostras de 60 e 90 dias, em ambos os órgãos (colmo e folhas) separadamente, encontraram-se diferenças significativas ao nível de 1%, exceto nas folhas aos 90 dias que apresentaram um nível de probabilidade de 5%.

Em geral, observa-se um aumento dos valores de matéria seca, à medida que transcorre o período de crescimento das plantas. Este aumento é mais acentuado nos tratamentos que receberam a adição de nitrogênio.

Destaca-se o fato de que as médias de rendimento de matéria seca nos órgãos correspondentes à uréia e sulfato de amônio, têm um comportamento quase similar nas três épocas de estudo, com leve preferência pela uréia no colmo, aos 90 dias, e pelo sulfato de amônio nas folhas na mesma época. Estas diferenças não são estatisticamente detectáveis (Figuras 1b e 1c).

Esta conduta pode ser atribuída ao fato de que as plantas, encontrando-se confinadas em um volume limitado de solo, não tiveram condições para uma exploração seletiva de nutrientes das diferentes fontes (ROJAS, 1978).

Na avaliação deste parâmetro, como se poderá perceber, não se consideraram os níveis de enriquecimento isotópico, já que este fator não influi no comportamento dos resultados.

De um modo geral, os resultados do rendimento de matéria seca obtidos neste estudo, concordam com trabalhos similares de ANDRADE *et alii* (1976) e CALVACHE *et alii* (1982).

TABELA 3. Produção de matéria seca (g/pl) nos diferentes órgãos da planta e na planta inteira de milho, em função dos tratamentos em estudo nas diversas épocas de amostragem. (Médias de três repetições).

TRATAMENTOS	DIAS APÓS A SEMEADURA											
	30			60			90					
	At. & 15N exc.	Raiz g.pl <sup>-1</sup>	P.aerea g.pl <sup>-1</sup>	TOTAL g.pl <sup>-1</sup>	Raiz g.pl <sup>-1</sup>	Colmo g.pl <sup>-1</sup>	Folhas g.pl <sup>-1</sup>	TOTAL g.pl <sup>-1</sup>	Raiz g.pl <sup>-1</sup>	Colmo g.pl <sup>-1</sup>	Folhas g.pl <sup>-1</sup>	TOTAL g.pl <sup>-1</sup>
URÉIA	1,5	3,86 <sup>a</sup>	11,08 <sup>a</sup>	14,94	14,18 <sup>a</sup>	17,68 <sup>a</sup>	15,45 <sup>a</sup>	47,31	18,22 <sup>a</sup>	34,28 <sup>a</sup>	15,79 <sup>ab</sup>	68,29
	3,0	3,66 <sup>a</sup>	10,76 <sup>a</sup>	14,42	12,39 <sup>a</sup>	20,80 <sup>a</sup>	16,65 <sup>a</sup>	49,84	17,05 <sup>a</sup>	36,92 <sup>a</sup>	17,64 <sup>a</sup>	71,61
	6,0	3,49 <sup>a</sup>	11,18 <sup>a</sup>	14,67	12,21 <sup>a</sup>	17,32 <sup>a</sup>	16,91 <sup>a</sup>	46,44	15,60 <sup>a</sup>	35,28 <sup>a</sup>	16,35 <sup>ab</sup>	67,63
	9,0	3,64 <sup>a</sup>	11,03 <sup>a</sup>	14,66	12,24 <sup>a</sup>	20,30 <sup>a</sup>	16,45 <sup>a</sup>	48,99	17,56 <sup>a</sup>	36,24 <sup>a</sup>	17,18 <sup>ab</sup>	70,98
SULF. AMÔNIO	1,5	3,56 <sup>a</sup>	10,36 <sup>a</sup>	13,92	11,70 <sup>a</sup>	15,99 <sup>ab</sup>	16,62 <sup>a</sup>	44,31	14,87 <sup>a</sup>	29,22 <sup>a</sup>	17,20 <sup>ab</sup>	61,29
	3,0	3,57 <sup>a</sup>	10,90 <sup>a</sup>	14,47	12,89 <sup>a</sup>	18,13 <sup>a</sup>	17,06 <sup>a</sup>	48,08	19,41 <sup>a</sup>	31,60 <sup>a</sup>	18,01 <sup>a</sup>	69,02
	6,0	4,14 <sup>a</sup>	11,04 <sup>a</sup>	15,18	13,14 <sup>a</sup>	17,82 <sup>a</sup>	16,85 <sup>a</sup>	47,81	18,41 <sup>a</sup>	31,46 <sup>a</sup>	18,99 <sup>a</sup>	68,94
	9,0	3,66 <sup>a</sup>	10,49 <sup>a</sup>	14,15	12,26 <sup>a</sup>	15,98 <sup>ab</sup>	16,73 <sup>a</sup>	44,97	14,91 <sup>a</sup>	33,12 <sup>a</sup>	18,43 <sup>a</sup>	66,46
Controle		3,53 <sup>a</sup>	8,69 <sup>a</sup>	12,22	5,38 <sup>b</sup>	8,64 <sup>b</sup>	8,03 <sup>b</sup>	22,05	7,03 <sup>b</sup>	14,05 <sup>b</sup>	9,24 <sup>b</sup>	30,32
<i>Média Fontes</i>												
URÉIA		3,66 <sup>a</sup>	11,01 <sup>a</sup>	14,67	12,75 <sup>a</sup>	19,03 <sup>a</sup>	16,37 <sup>a</sup>	48,15	17,11 <sup>a</sup>	35,68 <sup>a</sup>	16,74 <sup>ab</sup>	69,53
SULF. AMÔNIO		3,73 <sup>a</sup>	10,70 <sup>a</sup>	14,43	12,50 <sup>a</sup>	16,98 <sup>a</sup>	16,81 <sup>a</sup>	46,29	16,90 <sup>a</sup>	31,35 <sup>a</sup>	18,16 <sup>a</sup>	66,41
CONTROLE		3,53 <sup>a</sup>	8,69 <sup>a</sup>	12,22	5,38 <sup>b</sup>	8,64 <sup>b</sup>	8,03 <sup>b</sup>	22,05	7,03 <sup>b</sup>	14,05 <sup>b</sup>	9,24 <sup>b</sup>	30,32
F TRATAMENTOS		0,60	1,61		11,66 <sup>**</sup>	4,62 <sup>**</sup>	9,58 <sup>**</sup>		9,16 <sup>**</sup>	7,54 <sup>**</sup>	3,20 <sup>**</sup>	
DMS (TUKEY 5%)		1,30	3,02		3,66	8,15	4,63		6,04	12,55	8,05	
C.V. (%)		12,38	9,93		10,81	16,77	10,34		13,28	13,97	17,01	

\* 5% de probabilidade

\*\* 1% de probabilidade

Médias com a mesma letra, não diferem estatisticamente ao nível de 5%.

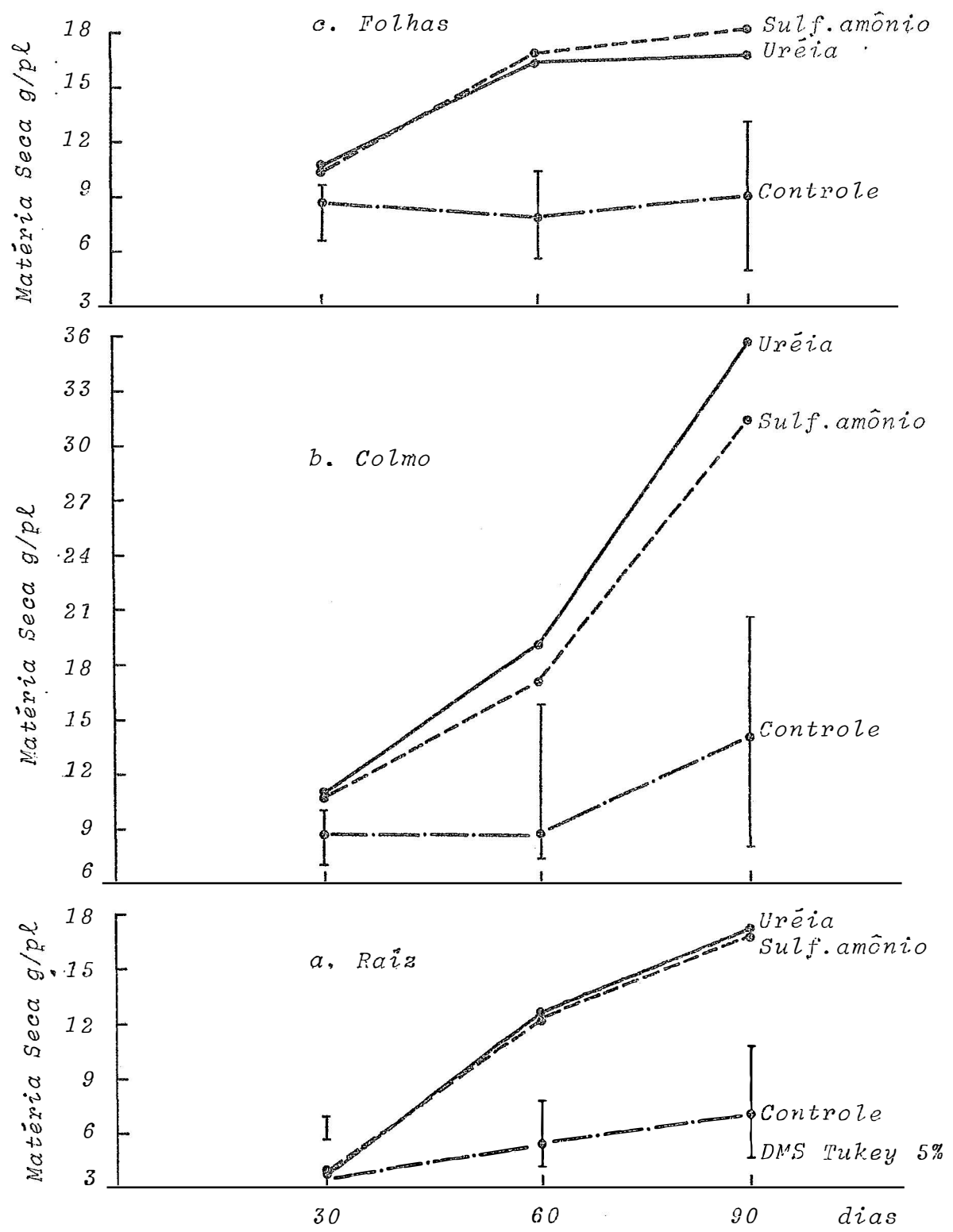


FIGURA 1. Acúmulo de matéria seca e sua distribuição nas diferentes partes da planta em três épocas de desenvolvimento da cultura de milho.

## 4.2. NITROGÊNIO NA PLANTA

### 4.2.1. PORCENTAGEM E QUANTIDADE DE NITROGÊNIO TOTAL NA PLANTA

Nas Tabelas 4 e 5 são apresentados os resultados de porcentagem e das quantidades de nitrogênio total absorvidas pelas diversas partes da planta e pela planta inteira, obtidos para o cultivo de milho, sujeito a duas fontes de nitrogênio em três épocas de amostragens.

A quantidade de nitrogênio total absorvido pela planta como um todo ou por suas partes é função do teor de nitrogênio nela contido e do seu rendimento de matéria seca. O aumento em um desses fatores implica um aumento na quantidade de nitrogênio absorvido, desde que o outro fator permaneça constante. No caso presente, a matéria seca tanto na raiz, no colmo e menos acentuadamente nas folhas mostraram um aumento no seu rendimento. Não aconteceu o mesmo com o teor de nitrogênio que teve uma redução mais ou menos constante no transcurso do tempo de desenvolvimento da planta que se fez mais acentuada a partir dos 60 dias.

Analisando o acúmulo de nitrogênio total expresso em mg/vaso na planta inteira, observa-se que há diferenças entre épocas de amostragens, fazendo-se mais marcantes estas diferenças, quando se comparam os tratamentos com

adição de N-fertilizante frente à testemunha ou controle. Os dados revelam também que a taxa de absorção deste elemento alcança sua posição máxima aos 60 dias com um valor médio de 507,31 mg/vaso para os tratamentos fertilizados com uréia, e 481,37 mg/vaso nos tratamentos com sulfato de amônio, para diminuir levemente aos 90 dias com valores médios de 469,75 e 465,61 mg/vaso respectivamente. Estes dados coincidem com os resultados obtidos por CALVACHE *et alii* (1982) e LIBARDI (1984).

A quantidade de nitrogênio absorvida pelas raízes, foi maior nos tratamentos que receberam fertilização nitrogenada do que naquele que não recebeu (Figura 2a). A quantidade de nitrogênio acumulada por esta parte da planta está relacionada diretamente com os rendimentos de matéria seca nos diferentes tratamentos estudados (Figuras 1a e 2a). É de se notar as diferenças altamente significativas, encontradas para os 60 e 90 dias ( $P=0,01$ ), quando comparadas as fontes e o controle, o que não aconteceu aos 30 dias de idade das plantas. Pela comparação entre os valores médios, verifica-se uma maior acumulação de nitrogênio neste órgão, aos 90 dias, com valores de 141,21 mg/vaso para uréia e 149,05 mg/vaso para o sulfato de amônio.

A quantidade de nitrogênio absorvida pelo colmo, aos 30 (parte aérea), 60 e 90 dias, também foi maior

nos tratamentos com adição de N-fertilizante, mostrando neste órgão uma leve preferência pela uréia que não é detectada estatisticamente (Figura 2b). Mais uma vez, nesta parte da planta, a absorção está relacionada com o rendimento de matéria seca, uma vez que tem um máximo de acúmulo aos 90 dias, com valores médios de 177,47 e 171,10 mg N/vaso para os tratamentos com uréia e sulfato de amônio respectivamente. As diferenças entre as duas fontes nitrogenadas e o tratamento controle no que se refere a este parâmetro são estatisticamente significativas para as três épocas de amostragem numa probabilidade de 1% ( $P=0,01$ ).

Nas folhas se observa, ao contrário do que ocorreu nas raízes e colmo, que a absorção está relacionada principalmente com o teor de nitrogênio, uma vez que apresenta a mesma distribuição em função do tempo e uma taxa máxima de absorção, deste elemento, aos 60 dias com valores para o sulfato de amônio e a uréia de 249,91 e 246,27 mg N/vaso respectivamente. Novamente se destaca neste órgão a eficiente absorção de N-fertilizante, em uma taxa quase similar nos tratamentos cuja base se encontrava na adição de uréia e sulfato de amônio, verificando-se ao contrário, diferenças significativas ( $P=0,01$ ), quando comparadas com o controle (Figura 2c).

A baixa acumulação de nitrogênio nas partes

das plantas em consequência da não aplicação ao solo de N-fertilizante, é relatada também por vários autores, entre eles: BARREIRA e LOPEZ (1964); BAEYENS (1970) e POJANES (1972), e, especialmente no milho, por: WARNCKE e BARBER (1973); VIEGAS (1978) e MALAVOLTA (1980), verificando-se uma vez mais com estes resultados a importância de uma adequada fertilização.

Comparando-se as quantidades de nitrogênio absorvidas pelas partes da planta e pela planta inteira, pode-se observar que, nas condições do presente estudo, o milho teve uma taxa de absorção maior deste elemento no período de 60 dias, como uma consequência da última aplicação do adubo nitrogenado (75% restantes) e uma leve diminuição aos 90 dias. Estes resultados ratificam a importância de uma adição fracionada do fertilizante, o que vem a estimular sua absorção num período em que a planta se encontra fisiologicamente mais ativa e onde seus requerimentos nutricionais são maiores (MALAVOLTA e GARGANTINI, 1966; LIPS *et alii*, 1971).

O fato de observar-se na raiz uma absorção crescente até aos 90 dias, pode relacionar-se com a disponibilidade desse elemento no solo, provocada pela segunda aplicação do fertilizante. Supõe-se também que, devido às condições de acidez do solo, o  $\text{NH}_4^+$  retido foi liberado de



TABELA 4. Teores médios de nitrogênio total em diversas partes da planta e na planta inteira em distintos estágios de desenvolvimento da cultura, nos tratamentos em estudo.

TRATAMENTOS	DIAS APÓS A SEMEADURA (D.A.S.)																									
	fonte	30 dias			60 dias			90 dias			Raiz	Colmo	Folhas	Total												
		At. %	<sup>15</sup> N exc	P. aérea	Total	Raiz	Colmo	Folhas	Total	Colmo					Folhas	Total										
URÉIA	1,5	1,05 <sup>a</sup>	1,51 <sup>a</sup>	1,39	0,87 <sup>a</sup>	0,81 <sup>a</sup>	1,60 <sup>a</sup>	1,09	0,82	0,50 <sup>a</sup>	0,85 <sup>a</sup>	0,67	3,0	1,00 <sup>a</sup>	1,48 <sup>ab</sup>	1,36	0,85 <sup>ab</sup>	0,77 <sup>ab</sup>	1,44 <sup>a</sup>	1,01	0,80	0,49 <sup>a</sup>	0,89 <sup>a</sup>	0,66		
	6,0	0,99 <sup>a</sup>	1,66 <sup>a</sup>	1,50	0,90 <sup>a</sup>	0,82 <sup>a</sup>	1,50 <sup>a</sup>	1,09	0,91	0,51 <sup>a</sup>	0,88 <sup>a</sup>	0,69	9,0	1,03 <sup>a</sup>	1,43 <sup>ab</sup>	1,33	0,91 <sup>a</sup>	0,77 <sup>ab</sup>	1,50 <sup>a</sup>	1,05	0,81	0,51 <sup>a</sup>	0,86 <sup>a</sup>	0,67		
SULF. AMÔNIO	1,5	1,11 <sup>a</sup>	1,73 <sup>a</sup>	1,57	0,95 <sup>a</sup>	0,84 <sup>a</sup>	1,53 <sup>a</sup>	1,13	0,92	0,59 <sup>a</sup>	0,81 <sup>ab</sup>	0,73	3,0	1,01 <sup>a</sup>	1,69 <sup>a</sup>	1,52	0,92 <sup>a</sup>	0,68 <sup>ab</sup>	1,47 <sup>a</sup>	1,03	0,81	0,49 <sup>a</sup>	0,83 <sup>ab</sup>	0,67		
	6,0	1,03 <sup>a</sup>	1,60 <sup>a</sup>	1,44	0,93 <sup>a</sup>	0,75 <sup>ab</sup>	1,45 <sup>a</sup>	1,05	0,90	0,57 <sup>a</sup>	0,86 <sup>a</sup>	0,74	9,0	1,07 <sup>a</sup>	1,71 <sup>a</sup>	1,54	0,95 <sup>a</sup>	0,88 <sup>a</sup>	1,52 <sup>a</sup>	1,14	0,92	0,56 <sup>a</sup>	0,71 <sup>bc</sup>	0,68		
Controle		0,83 <sup>a</sup>	1,03 <sup>b</sup>	0,97	0,64 <sup>b</sup>	0,46 <sup>b</sup>	0,70 <sup>b</sup>	0,59	0,68	0,36 <sup>a</sup>	0,59 <sup>c</sup>	0,50														
<i>Médias Fonte</i>																										
URÉIA		1,02 <sup>a</sup>	1,52 <sup>a</sup>	1,39	0,88 <sup>a</sup>	0,79 <sup>a</sup>	1,51 <sup>a</sup>	1,06	0,83	0,50 <sup>a</sup>	0,87 <sup>a</sup>	0,67														
SULFATO AMÔNIO		1,05 <sup>a</sup>	1,68 <sup>a</sup>	1,52	0,94 <sup>a</sup>	0,79 <sup>a</sup>	1,49 <sup>a</sup>	1,09	0,89	0,55 <sup>a</sup>	0,80 <sup>a</sup>	0,71														
CONTROLE		0,83 <sup>a</sup>	1,03 <sup>b</sup>	0,97	0,64 <sup>b</sup>	0,46 <sup>b</sup>	0,70 <sup>b</sup>	0,59	0,68	0,36 <sup>a</sup>	0,59 <sup>c</sup>	0,50														
F TRATAMENTOS		1,54	5,10**	-	4,34**	3,79*	17,03**	-	2,27	1,90	11,04**															
DMS (TUKEY 5%)		0,31	0,43	-	0,23	0,34	0,32	-	0,27	0,24	0,11															
C.V. (%)		10,83	10,91	-	8,97	15,54	8,00	-	11,07	16,59	6,32															

\* 5% de probabilidade

\*\* 1% de probabilidade

Médias seguidas de mesma letra ou sem letra, não diferem estatisticamente.

TABELA 5 - Médias da quantidade de nitrogênio total absorvido por diversas partes da planta e pela planta inteira no cultivo de milho nos diferentes tratamentos, em função do estágio de desenvolvimento.

Fontes	DIAS APÓS A SEMEADURA											
	30					60					90	
A & N exc.	Raiz mg./pl.	P. aérea mg./pl.	TOTAL mg	Raiz mg./pl.	Colmo mg./pl.	Folhas mg./pl.	TOTAL mg.	Raiz mg./pl.	Colmo mg./pl.	Folhas mg./pl.	TOTAL mg.	
URÉIA	1,5	40,52 <sup>a</sup>	167,31 <sup>a</sup>	207,83	123,35 <sup>a</sup>	141,33 <sup>a</sup>	246,89 <sup>a</sup>	511,57	149,98 <sup>a</sup>	172,19 <sup>a</sup>	134,30 <sup>a</sup>	456,47
	3,0	36,23 <sup>a</sup>	158,81 <sup>ab</sup>	195,04	106,76 <sup>a</sup>	159,29 <sup>a</sup>	238,74 <sup>a</sup>	504,84	134,06 <sup>a</sup>	176,26 <sup>a</sup>	155,34 <sup>a</sup>	465,71
	6,0	34,32 <sup>a</sup>	186,82 <sup>a</sup>	221,14	109,66 <sup>a</sup>	139,67 <sup>a</sup>	253,71 <sup>a</sup>	503,04	140,44 <sup>a</sup>	181,19 <sup>a</sup>	143,00 <sup>a</sup>	464,63
	9,0	37,27 <sup>a</sup>	157,61 <sup>ab</sup>	194,88	111,71 <sup>a</sup>	152,35 <sup>a</sup>	245,71 <sup>a</sup>	509,77	140,35 <sup>a</sup>	180,24 <sup>a</sup>	147,61 <sup>a</sup>	468,20
SULF. AMÔNIO	1,5	39,06 <sup>a</sup>	179,21 <sup>a</sup>	218,27	110,21 <sup>a</sup>	133,75 <sup>a</sup>	253,49 <sup>a</sup>	497,45	137,47 <sup>a</sup>	172,29 <sup>a</sup>	138,12 <sup>a</sup>	447,88
	3,0	36,48 <sup>a</sup>	182,92 <sup>a</sup>	219,40	118,80 <sup>a</sup>	122,17 <sup>a</sup>	250,81 <sup>a</sup>	491,78	156,73 <sup>a</sup>	154,82 <sup>a</sup>	150,44 <sup>a</sup>	461,99
	6,0	42,36 <sup>a</sup>	176,94 <sup>a</sup>	219,30	122,33 <sup>a</sup>	133,77 <sup>a</sup>	244,00 <sup>a</sup>	500,10	164,33 <sup>a</sup>	177,58 <sup>a</sup>	161,97 <sup>a</sup>	503,88
	9,0	39,06 <sup>a</sup>	177,90 <sup>a</sup>	216,96	116,14 <sup>a</sup>	140,66 <sup>a</sup>	251,36 <sup>a</sup>	508,16	137,65 <sup>a</sup>	179,72 <sup>a</sup>	131,32 <sup>a</sup>	448,69
Controle	-	29,12 <sup>a</sup>	90,27 <sup>b</sup>	119,39	34,41 <sup>b</sup>	38,31 <sup>b</sup>	56,23 <sup>b</sup>	128,95	47,84 <sup>b</sup>	49,02 <sup>b</sup>	54,14 <sup>b</sup>	151,0
<i>Média Fontes</i>												
URÉIA		37,08 <sup>a</sup>	167,64 <sup>a</sup>	204,72	112,87 <sup>a</sup>	148,16 <sup>a</sup>	246,27 <sup>a</sup>	507,31	141,27 <sup>a</sup>	177,47 <sup>a</sup>	145,07 <sup>a</sup>	469,75
SULFATO AMÔNIO		39,24 <sup>a</sup>	179,24 <sup>a</sup>	218,48	116,87 <sup>a</sup>	132,59 <sup>a</sup>	249,91 <sup>a</sup>	481,37	149,05 <sup>a</sup>	171,46 <sup>a</sup>	145,46 <sup>a</sup>	465,61
CONTROLE		29,12 <sup>a</sup>	90,27 <sup>b</sup>	119,39	34,41 <sup>b</sup>	38,31 <sup>b</sup>	56,23 <sup>b</sup>	128,95	47,84 <sup>b</sup>	49,02 <sup>b</sup>	54,14 <sup>b</sup>	151,0
F. TRATAMENTOS		1,95	4,29 <sup>**</sup>	-	10,53 <sup>**</sup>	12,22 <sup>**</sup>	55,80 <sup>**</sup>	-	8,09 <sup>**</sup>	12,25 <sup>**</sup>	7,99 <sup>**</sup>	-
DMS TRATAMENTOS		13,7	70,73	-	41,87	50,61	42,59	-	59,18	60,24	56,03	-
(TUKEY 5%)												
C.V.		12,9	15,04	-	13,81	13,69	6,56	-	15,38	13,12	14,48	-

\* = 5% de probabilidade  
 \*\* = 1% de probabilidade  
 Médias com a mesma letra não diferem estatisticamente.

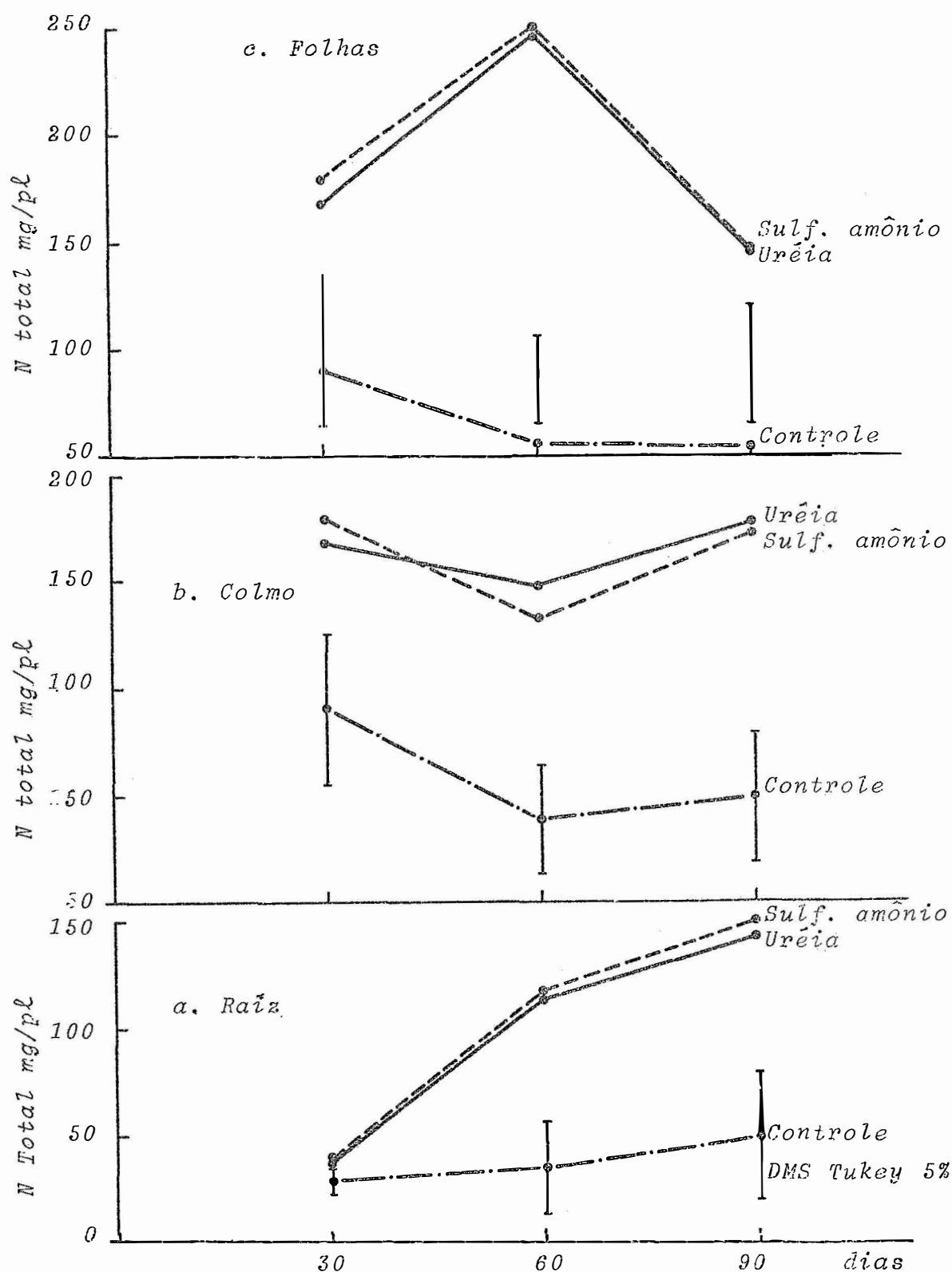


FIGURA 2. Acúmulo de nitrogênio total nos órgãos da planta, ao longo do ciclo da cultura de milho (*Zea mays* L)

forma lenta, facilitando uma acumulação na raiz e no colmo até este período. Nas folhas o padrão de acumulação é o mesmo que para os outros órgãos até os 60 dias. Logo após este período, promove-se uma translocação deste elemento aos órgãos de formação do grão, o que explica sua diminuição nesta parte da planta.

#### 4.2.2. PORCENTAGEM DE NITROGÊNIO NA PLANTA PROVENIENTE DO FERTILIZANTE

As porcentagens médias do nitrogênio proveniente do fertilizante em três partes da planta (raiz, colmo e folhas), nos diferentes tratamentos e nas diferentes épocas de amostragem, são apresentadas nas Tabelas 6, 7 e 8.

Os dados foram obtidos por meio da equação [4], tomando-se como base de cálculo a porcentagem de átomos de  $^{15}\text{N}$  presente na parte da planta considerada (Tabela 14 do apêndice) e a porcentagem de átomos de  $^{15}\text{N}$  nos fertilizantes (Tabela 15 do apêndice).

Observa-se que as porcentagens de nitrogênio proveniente dos fertilizantes foram quase similares no colmo e nas folhas e mais baixas nas raízes. Observa-se também que houve claras diferenças entre épocas de amostragens,

principalmente entre 30 e 60 dias, onde são alcançados os valores mínimos e máximos respectivamente; entretanto, aos 90 dias as porcentagens de nitrogênio diminuíram levemente em relação aos 60 dias (Figura 3).

Na raiz, os valores médios dos tratamentos, nas três épocas de amostragem, não apresentaram diferenças significativas para o fator fonte, mostrando mais uma vez não haver diferenças no comportamento da uréia e sulfato de amônio no que se refere à sua acumulação neste órgão. O incremento nos níveis de enriquecimento isotópico de  $^{15}\text{N}$  não mostraram significação estatística nesta parte da planta.

No colmo, os valores médios apresentaram resultados semelhantes aos obtidos na raiz. As fontes não diferem significativamente. Observando-se detidamente estes dados, percebe-se o comportamento similar das duas fontes aos 30 dias, entretanto aos 60 dias se mostra uma leve preferência pela uréia, invertendo-se esta tendência aos 90 dias, quando o sulfato de amônio ocupa lugar preferencial. Este fato também se aprecia nas folhas com as mesmas características. O fator enriquecimento isotópico do  $^{15}\text{N}$  e a interação fonte x enriquecimento, tão pouco apresentaram diferenças significativas em nenhuma das épocas de amostragem.

O nitrogênio derivado do fertilizante nas fo

lhas, apresentou uma tendência similar à do colmo, mostrando um máximo de acúmulo porcentual aos 60 dias de idade das plantas com valores médios de 66,93 e 66,23% para os tratamentos com uréia e sulfato de amônio respectivamente; aos 90 dias houve uma ligeira diminuição destes valores. As fontes de variação constituídas por fontes, enriquecimentos e a interação entre estes não apresentaram diferenças significativas.

O incremento significativo do nitrogênio do fertilizante nos diferentes órgãos a partir dos 30 dias para chegar a um máximo aos 60 dias, indica que a aplicação final do fertilizante (75% do restante aos 40 dias após o plantio) influenciou consideravelmente na sua assimilação, assim como a disponibilidade de umidade proporcionada por regas constantes do experimento. A ligeira tendência de diminuição a partir dos 60 dias, principalmente no colmo e nas folhas, indica que o nitrogênio proveniente do fertilizante foi redistribuído para outras partes da planta, como a formação do grão, também que pode ter existido perdas durante a senescência.

A pequena variação na composição isotópica do nitrogênio, acredita-se se deva em princípio à alta mobilidade e dinâmica dos compostos nitrogenados dentro da planta (HILL, 1980). De fato, a participação do nitrogênio

TABELA 6. Átomos de  $^{15}\text{N}$  em excesso, porcentagem e quantidade de nitrogênio total nas diferentes partes da planta proveniente do fertilizante após 30 dias da semeadura no cultivo de milho (*Zea mays* L.)

TRATAMENTOS		NITROGÊNIO NA PLANTA PROVENIENTE DO FERTILIZANTE (NPPF)							
Fonte	At. % $^{15}\text{N}$ exc.	Átomos $^{15}\text{N}$ Excesso		Raiz		P. aérea		TOTAL	
		Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea
		g		mg.vaso <sup>-1</sup>					
URÉIA	1,5	0,495	0,620	33,066	41,416	39,788	13,398	69,293	82,691
	3,0	0,994	1,236	33,266	41,365	39,861	12,052	65,692	77,744
	6,0	1,846	2,331	30,921	39,045	37,784	10,612	72,944	83,556
	9,0	3,015	3,719	33,570	41,410	39,910	12,511	65,266	77,777
SULF. AMÔNIO	1,5	0,495	0,642	33,088	42,914	41,155	12,924	76,906	89,830
	3,0	0,964	1,182	32,027	39,269	38,065	11,683	71,831	83,514
	6,0	1,948	2,460	32,543	41,096	39,444	13,785	72,715	86,500
	9,0	2,974	3,728	32,354	40,557	39,080	12,637	72,151	84,788
<i>Média Fontes</i>									
URÉIA				32,706 <sup>a</sup>	40,809 <sup>a</sup>	39,336 <sup>a</sup>	12,143 <sup>a</sup>	68,299 <sup>a</sup>	80,442 <sup>a</sup>
				32,503 <sup>a</sup>	40,959 <sup>a</sup>	39,436 <sup>a</sup>	12,757 <sup>a</sup>	73,401 <sup>a</sup>	86,158 <sup>a</sup>
F ONTES				0,10	0,01		0,36	4,07	
	ENRIQUECIMENTO			0,11	0,24		0,48	0,89	
		FORTE X ENRIQ.			0,14	0,25		1,10	0,39
C.V. (%)				13,3	11,4		15,5	8,1	

Médias com a mesma letra, não diferem estatisticamente.

TABELA 7 - Átomos de <sup>15</sup>N em excesso, porcentagem e quantidade N-total nos diferentes órgãos da planta proveniente do fertilizante (NPPF) aos 60 dias de idade das plantas.

TRATAMENTOS		NITROGÊNIO NA PLANTA PROVENIENTE DO FERTILIZANTE (NPPF)										
Fontes	A% <sup>15</sup> N exc.	Átomos <sup>15</sup> N		%		Folhas		TOTAL		mg/pl		TOTAL
		Raiz	Colmo	Folhas	Raiz	Colmo	Folhas	TOTAL	Raiz	Colmo	Folhas	
URÉIA.	1,5	0,933	1,060	1,012	62,325	70,808	67,602	67,215	76,878	100,073	166,902	343,853
	3,0	1,825	2,075	1,990	61,078	69,444	66,329	66,329	65,207	110,617	159,034	334,858
	6,0	3,608	4,148	3,999	60,435	69,481	66,985	66,260	66,328	97,044	169,948	333,315
	9,0	5,456	6,191	5,974	60,750	68,934	66,518	65,976	67,864	105,021	163,441	336,326
SULF. AMÔNIO	1,5	0,885	1,042	0,996	59,158	69,652	66,577	65,760	65,198	93,159	168,766	327,123
	3,0	1,914	2,034	1,980	63,588	67,741	65,781	65,738	75,542	82,759	164,955	323,286
	6,0	3,777	4,034	3,953	63,097	67,391	66,037	65,680	77,187	90,149	161,130	328,466
	9,0	5,612	6,557	6,117	61,053	71,333	66,547	66,616	70,907	100,337	167,273	338,517
<i>Média Fontes</i>												
URÉIA					61,147 <sup>a</sup>	69,667 <sup>a</sup>	66,926 <sup>a</sup>	66,445 <sup>a</sup>	69,065 <sup>a</sup>	103,189 <sup>a</sup>	164,831 <sup>a</sup>	337,088 <sup>a</sup>
SULF. AMÔNIO					61,724 <sup>a</sup>	69,029 <sup>a</sup>	66,235 <sup>a</sup>	65,949 <sup>a</sup>	72,209 <sup>a</sup>	91,601 <sup>a</sup>	165,534 <sup>a</sup>	329,348 <sup>a</sup>
F	FONTES				0,22	0,52	0,93		1,11	4,16	1,07	
	ENRIQUECIMENTO				0,39	1,19	0,29		0,99	0,45	1,00	
	FUNTE X ENRIQUECIMENTO				1,44	1,35	0,11		1,09	0,93	1,15	
DMS (TUKEY 5%)					-	-	-					
C.V. (%)					4,61	3,12	2,62		14,24	14,21	18,99	

medias com a mesma letra nao diferem estatisticamente.



TABELA 8. Átomos de  $^{15}\text{N}$  em excesso, porcentagem e quantidade de N total nas diferentes partes da planta proveniente do fertilizante (NPPF) aos 90 dias de idade das plantas de milho (*Zea mays* L.).

TRATAMENTOS	NITROGÊNIO NA PLANTA PROVENIENTE DO FERTILIZANTE											
	fonte	Át. $^{15}\text{N}$ excesso			%			mg. $\text{D.L.}^{-1}$			Ttotal	
At. $^{15}\text{N}$ exc.		Raiz	Colmo	Folhas	Raiz	Colmo	Folhas	Total	Raiz	Colmo		Folhas
URÉIA	1,5	0,786	0,918	0,987	52,505	61,323	65,932	59,782	78,747	105,592	88,547	272,886
	3,0	1,584	1,902	2,007	53,012	63,655	67,169	61,764	71,068	112,198	104,374	287,640
	6,0	3,069	3,659	3,696	51,407	61,290	61,409	58,493	72,196	111,051	88,530	271,777
	9,0	4,931	5,705	5,774	54,905	63,523	64,291	61,182	77,059	114,494	94,900	286,453
SULF. AMÔNIO	1,5	0,831	0,934	1,045	55,548	62,433	69,853	62,608	76,362	107,566	96,481	280,409
	3,0	1,694	1,892	1,995	56,279	62,857	66,279	61,740	88,206	97,415	99,710	285,231
	6,0	3,282	3,752	3,852	54,828	62,679	64,350	60,656	90,099	111,305	104,228	305,632
	9,0	4,683	5,781	5,949	50,946	62,892	64,719	59,745	70,053	113,029	84,989	268,071
<i>Média Fontes</i>												
URÉIA		52,957 <sup>a</sup>	62,446 <sup>a</sup>	64,825 <sup>a</sup>	60,305 <sup>a</sup>	74,767 <sup>a</sup>	110,834 <sup>a</sup>	94,088 <sup>a</sup>	279,689 <sup>a</sup>			
	SULF. AMÔNIO		54,400 <sup>a</sup>	62,715 <sup>a</sup>	66,300 <sup>a</sup>	61,187	81,180 <sup>a</sup>	107,304 <sup>a</sup>	96,352 <sup>a</sup>	284,836 <sup>a</sup>		
FONTES												
F ENRIQUECIMENTO		1,98	1,01	1,41					1,53	0,34	0,10	
	FORTE X ENRIQ.		0,60	1,02	1,88				0,35	0,45	0,69	
C.V. (%)												
		4,69	3,15	3,90					16,70	14,38	16,95	

Médias com a mesma letra, não diferem estatisticamente ao nível de 5%.

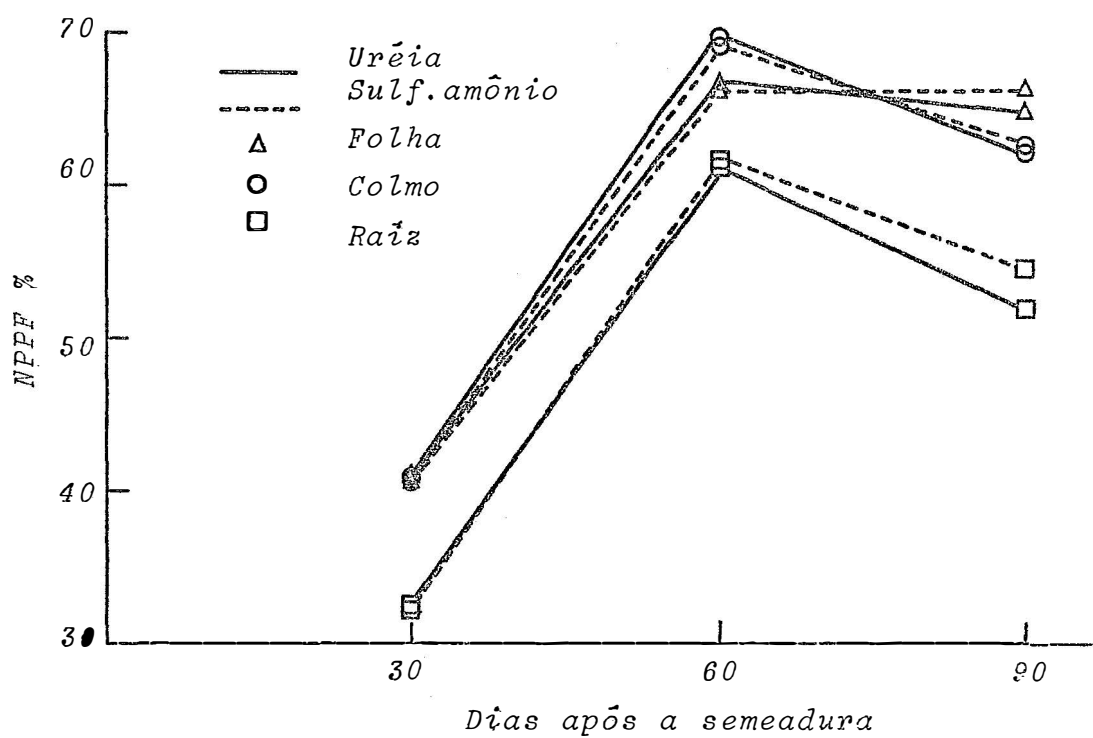


FIGURA 3. Porcentagem de nitrogênio total proveniente do fertilizante (NPPF), nos órgãos da planta em diferentes etapas de crescimento da cultura.

de uma série de compostos orgânicos essenciais na estrutura e metabolismo das plantas - ácidos nucleicos, aminoácidos, proteínas, coenzimas, etc. - alteram sua composição isotópica original. Estas variações, entretanto, não afetam na precisão dos resultados analíticos, quando se trabalha com material enriquecido.

#### 4.2.3. QUANTIDADE DE NITROGÊNIO NA PLANTA PROVENIENTE DO FERTILIZANTE

Nas Tabelas 6, 7 e 8 são apresentadas as quantidades médias de nitrogênio proveniente do fertilizante nas diversas partes da planta e na planta inteira expressadas em mg N/vaso, nos diferentes tratamentos em estudo.

Estes dados foram obtidos pela equação |5|, expressão que se baseia na quantidade de nitrogênio total na planta e o valor porcentual do nitrogênio proveniente do fertilizante.

Os resultados alcançados mostram diferenças nas épocas de amostragens. Pela comparação das médias aos 30, 60 e 90 dias de idade das plantas verifica-se um maior acúmulo de nitrogênio proveniente do fertilizante aos 60 dias nas folhas, aos 90, nas raízes e no colmo (Figura 4). Resultados similares foram obtidos por CALVACHE *et alii*

(1982).

Os efeitos dos tratamentos sobre a quantidade de de nitrogênio proveniente do fertilizante nos diversos órgãos e na planta toda, foram semelhantes aos seus efeitos sobre a quantidade total do nitrogênio absorvido. Desta maneira, os fatores que regulam seu acúmulo foram os mesmos que os discutidos no item 4.2.

Nos resultados da raiz, sobressai o valor máximo obtido aos 90 dias, com valores médios de 81,18 e 74,77 mg N/vaso para o tratamento adubado com sulfato de amônio e com uréia respectivamente, dados que mostram uma leve preferência pelo sulfato de amônio e que começa a destacar-se levemente aos 60 dias.

No colmo, observa-se a mesma distribuição do nitrogênio do fertilizante em função do tempo transcorrido. Neste órgão contrariamente o nitrogênio derivado da uréia se encontra mais acumulado aos 60 e 90 dias com valores médios de 103,19 e 91,60 mg N/vaso e 110,84 e 107,30mg N/vaso para a uréia e sulfato de amônio respectivamente.

Nas folhas, o acúmulo de nitrogênio absorvido derivado do fertilizante teve um incremento considerável a partir dos 30 dias para alcançar seu valor máximo aos 60 dias (165,54 mg N/vaso para a uréia e 164,83 mg N/vaso para

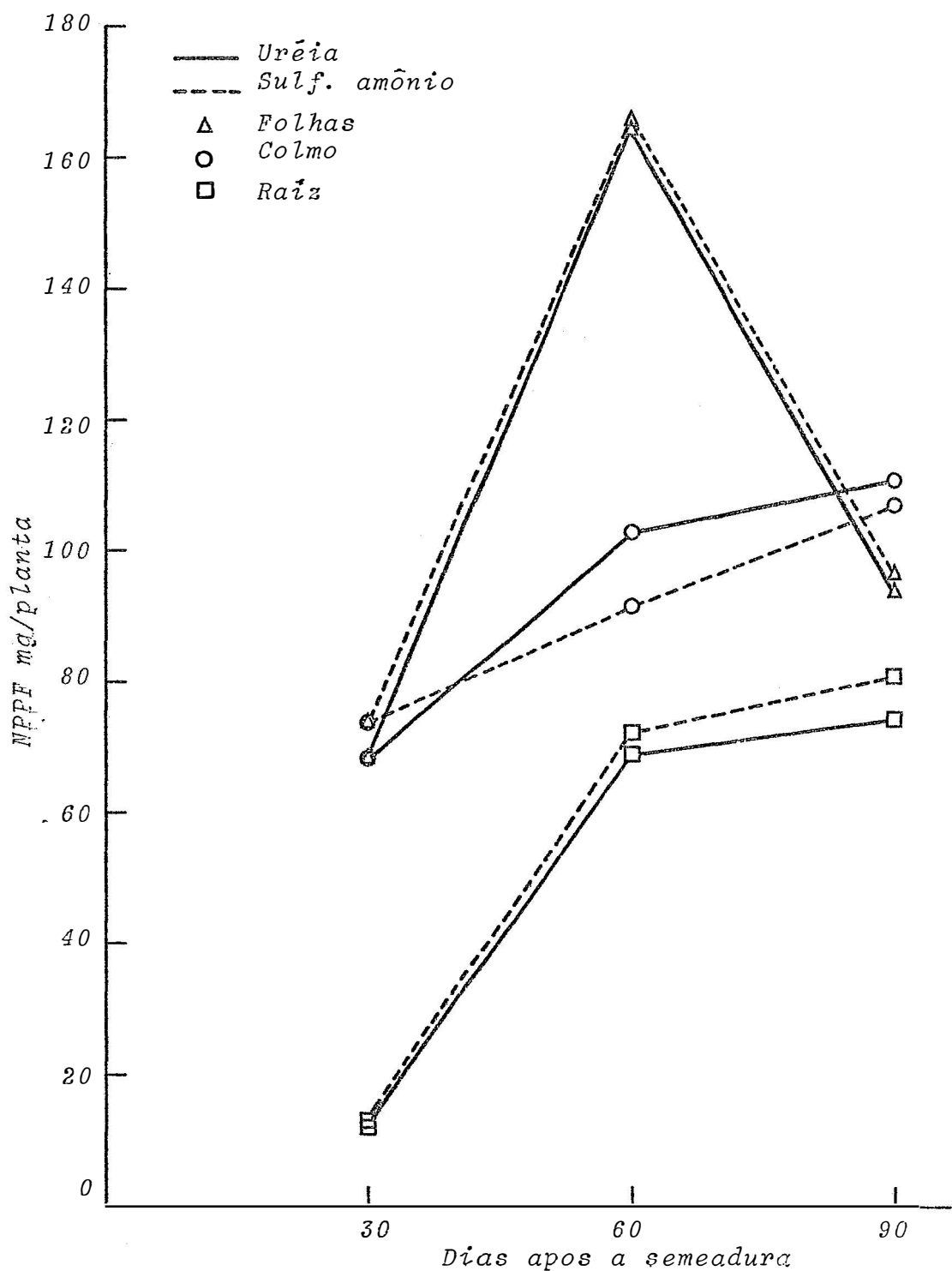


FIGURA 4. Quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF) e sua distribuição nas diferentes partes da planta nos distintos estádios de desenvolvimento da cultura.

o sulfato de amônio) e decresce acentuadamente até os 90 dias. Este fato pode ser provocado, como já se disse no ítem 4.2, por uma translocação deste elemento dirigida à formação do grão.

No que se refere às fontes estudadas, o teste F mostra que não houve diferenças estatisticamente significativas em nenhuma das épocas de amostragem, o que quer dizer que a planta teve um padrão de absorção similar para as duas fontes.

Os diferentes níveis de enriquecimento isotópico do  $^{15}\text{N}$  nos fertilizantes utilizados no experimento, não diferem significativamente nos resultados dos diferentes órgãos em nenhuma das épocas de amostragem. Isto vem a ratificar a precisão da análise isotópica mesmo a baixos enriquecimentos. As mínimas diferenças encontradas não comprometem os resultados finais deste parâmetro.

#### 4.2.4. EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO FERTILIZANTE NITROGENADO

Na Tabela 9, encontram-se os valores de eficiência de utilização dos fertilizantes nitrogenados, calculados por meio da expressão |6|, para as diferentes partes da planta e a planta toda nos diferentes estádios de desen

volvimento.

Analisando-se os resultados da eficiência de uso das fontes pela planta inteira, observa-se que, nos primeiros 30 dias de idade, a absorção foi eficiente, alcançando os valores médios de 73,51% para os tratamentos fertilizados com sulfato de amônio e 67,47% para os tratamentos, com uréia. Sem dúvida alguma estes valores altos estão relacionados com a disponibilidade do N-fertilizante no solo logo após o desbaste (10 dias de idade das plantas). Esta primeira aplicação em uma quantidade de 116 mg N/vaso, foi adicionada em solução, o que facilitou sua recuperação pela planta além de não ter competição nenhuma na absorção do fertilizante, as condições adequadas de temperatura e umidade em que se manteve o experimento criaram um ambiente adequado para que, nesta etapa, a planta utilize eficientemente adubo nitrogenado.

Aos 60 dias, a planta manteve seu bom uso de N-fertilizante, aproveitando da segunda aplicação feita aos 40 dias de idade das plantas em uma quantidade de 348 mg N/vaso equivalente a 75% da dose total. Neste período de máxima atividade metabólica, a planta alcançou valores de eficiência na utilização dos fertilizantes entre 72,65 e 71,73% para a uréia e sulfato de amônio respectivamente. Resultados com esta mesma tendência foram obtidos por HERA (1979) que

provou que a época de aplicação do fertilizante é mais importante que a fonte química no uso eficiente da adubação nitrogenada.

A recuperação deste elemento diminuiu levemente aos 90 dias (61,39% para a uréia e 60,28% para o sulfato de amônio), com uma tendência a decair mais no decorrer do período vegetativo das plantas. Pode-se explicar este fato como consequência do esgotamento do nitrogênio fertilizante disponível no solo.

Os resultados obtidos para este parâmetro podem também ser explicados, relacionando-os com os dados de porcentagem de nitrogênio acumulado na planta, proveniente do fertilizante; os mesmos que apresentam uma distribuição quase similar. Isto pode ser observado na Figura 5 que mostra os gráficos dos dois parâmetros juntos.

Na raiz como na planta toda, nas diferentes épocas de amostragem, não se encontraram diferenças significativas; quando comparados os valores médios das plantas. Outro fator que não apresentou diferenças detectáveis estatisticamente foi o enriquecimento isotópico do  $^{15}\text{N}$ . Esta parte da planta mostrou uma eficiência de utilização do fertilizante na primeira amostragem de 10,4% e 10,5% para o sulfato de amônio e para a uréia respectivamente. No entanto,



na segunda e terceira amostragem para as mesmas fontes, alcançou valores percentuais de 14,8 ; 15,5; 16,1 e 17,5 respectivamente.

A parte aérea (colmo mais folhas) coletada aos 30 dias do período vegetativo da cultura, foi a que apresentou maior eficiência no uso do nitrogênio da uréia (57%) e do sulfato de amônio (62,6%). Estes resultados estão em função da quantidade de N-fertilizante aplicada até esse período de desenvolvimento das plantas. De fato, estes valores altos indicam que, nas condições do experimento, a absorção e acumulação do nitrogênio do fertilizante foi favorável neste estágio da cultura.

Os valores obtidos da eficiência de absorção do nitrogênio para o colmo aos 60 e 90 dias mostraram que houve uma utilização levemente crescente para estes períodos, sem alcançar diferenças estatísticas. Os resultados para a uréia foram de 22,2% e 23,8% e para o sulfato de amônio entre 19,7% e 23,1%.

A recuperação do nitrogênio até os 60 dias pelas folhas foi considerável, o que se mede pela eficiência alcançada no seu acúmulo por esses órgãos neste período (35,5% e 35,6% para a uréia e sulfato de amônio). A partir desse período de crescimento das plantas, embora as fo

lhas como órgãos fundamentais nas transformações metabólicas dos nutrientes, mantinham eficiência na utilização do nitrogênio, este foi translocado em benefício da formação dos órgãos de reprodução, motivo pelo qual se observa uma diminuição da eficiência no uso do fertilizante neste período. Outra causa provável pode ter sido o esgotamento do adubo no solo.

Em geral, estes resultados confirmam o fato de que o aumento na disponibilidade de nitrogênio no solo, em época certa, influi no aumento da quantidade de nitrogênio absorvido, elevando-se conseqüentemente a eficiência de utilização do mesmo.

O período entre 30 e 60 dias após a semeadura seria considerado como o recomendável para a adubação nitrogenada nesta cultura, particularmente quando cultivada em solos pobres em nitrogênio.

Em comparação com a literatura, as eficiências de utilização do fertilizante nitrogenado observadas neste experimento podem ser consideradas um pouco altas, pois são relatadas eficiências, para a planta toda, que variam entre 30 e 60% (CHO *et alii*, 1967; IVANKO, 1972; BROADBENT e CARLTON, 1978; CHABALIER e PICHOT, 1979; CALVACHE *et alii*, 1982). Como o experimento foi conduzido em vasos com fundo fechado, não havendo, portanto, perdas do fertili

zante por lixiviação e por deflúvio superficial, e o fato de que o fertilizante foi aplicado dissolvido em água, o que segundo TERMAN (1979), reduz as perdas por volatilização e aumenta sua disponibilidade, fizeram com que a eficiência de recuperação e utilização do nitrogênio seja quantitativamente elevada.

No que diz respeito aos fatores que influem no uso eficiente dos fertilizantes nitrogenados pelas culturas, vários autores coincidem em assinalar como responsáveis o tipo de solo, condições climáticas, reação do solo, conteúdo de argila, temperatura do solo, distribuição das chuvas, dose, localização e época de aplicação do fertilizante nitrogenado e sua interação com outros nutrientes tais como o fósforo e potássio (NEPTUNE e MUTAOKA, 1978; HERRA, 1979; CHABALIER e PICHOT, 1979; ARORA, 1980; MALAVOLTA, 1980).

Os diferentes níveis de enriquecimento isotópico do  $^{15}\text{N}$  nos fertilizantes não alteraram significativamente os resultados finais da eficiência. As leves diferenças encontradas que não reduzem a sensibilidade dos dados; provavelmente foram devidos a variações acontecidas dentro da planta, o que não compromete a confiabilidade dos resultados. GUIRAUD (1984), analisando soluções marcadas com diferentes enriquecimentos em um espectrômetro de massas, ob

TABELA 9 - Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUF) em três estádios de desenvolvimento da cultura de milho (*Zea mays* L.).

TRATAMENTOS	DIAS APÓS A SEMEADURA											
	30			90								
	Fonte	A% N exc.	Raiz P. aérea %	TOTAL	Raiz	Colmo	Folhas %	TOTAL	Raiz	Colmo	Folhas %	TOTAL
URÉIA	1,5	11,409	53,927	65,336	16,568	21,567	35,970	74,105	16,971	22,757	19,083	58,811
	3,0	10,400	56,613	67,013	14,053	23,840	34,275	72,168	15,316	24,181	22,494	61,991
	6,0	9,279	61,060	70,339	14,294	20,915	36,627	71,836	15,559	23,934	19,079	58,572
	9,0	10,841	56,333	67,174	14,626	22,634	35,224	72,484	16,607	24,675	20,457	61,734
SULF.AM.	1,5	11,063	65,851	76,914	14,051	20,077	36,372	70,500	16,457	23,182	20,793	60,432
	3,0	9,842	60,977	70,819	16,281	17,836	35,557	72,676	19,010	20,973	21,484	61,472
	6,0	11,802	61,758	73,560	16,635	19,429	34,726	70,790	19,418	23,988	22,463	65,869
	9,0	10,876	61,866	72,742	15,282	21,624	36,050	72,956	15,098	24,460	18,317	57,775
<i>Média dos Tratamentos</i>												
FONTES	URÉIA	10,482 <sup>C</sup>	56,983 <sup>C</sup>	67,465	14,885 <sup>C</sup>	22,239 <sup>C</sup>	35,524 <sup>C</sup>	72,648	16,113 <sup>C</sup>	23,887 <sup>C</sup>	20,277 <sup>C</sup>	60,277
	SULF.AMÔNIO	10,896 <sup>C</sup>	62,613 <sup>C</sup>	73,509	15,562 <sup>C</sup>	19,741 <sup>C</sup>	35,676 <sup>C</sup>	71,731	17,496 <sup>C</sup>	23,126 <sup>C</sup>	20,765 <sup>C</sup>	61,387
ENRIQ.	1,5	11,236 <sup>a</sup>	59,889 <sup>a</sup>		15,309 <sup>a</sup>	20,822 <sup>a</sup>	36,171 <sup>a</sup>		16,714 <sup>a</sup>	22,969 <sup>a</sup>	19,938 <sup>a</sup>	
	3,0	10,121 <sup>a</sup>	58,745 <sup>a</sup>		15,167 <sup>a</sup>	20,838 <sup>a</sup>	34,916 <sup>a</sup>		17,208 <sup>a</sup>	22,577 <sup>a</sup>	21,991 <sup>a</sup>	
	6,0	10,541 <sup>a</sup>	61,409 <sup>a</sup>		15,465 <sup>a</sup>	20,172 <sup>a</sup>	35,677 <sup>a</sup>		17,489 <sup>a</sup>	23,961 <sup>a</sup>	20,771 <sup>a</sup>	
	9,0	10,858 <sup>a</sup>	59,099 <sup>a</sup>		14,954 <sup>a</sup>	22,129 <sup>a</sup>	35,637 <sup>a</sup>		15,853 <sup>a</sup>	24,517 <sup>a</sup>	19,385 <sup>a</sup>	
F	FONTES	0,37	2,92		0,46	2,16	0,20		1,53	0,34	1,13	
	ENRIQ.	0,48	0,21		0,07	0,45	0,27		0,35	0,45	0,90	
	FONTE X ENRIQ.	1,10	0,84		1,43	0,93	0,49		1,44	0,34	0,89	
DMS (TUKEY 5%)	-	-		-	-	-		-	-	-		60.
C.V. (%)	15,57	10,40		15,11	14,21	6,91		16,70	14,39	7,14		

Médias com as mesmas letras não diferem estatisticamente.

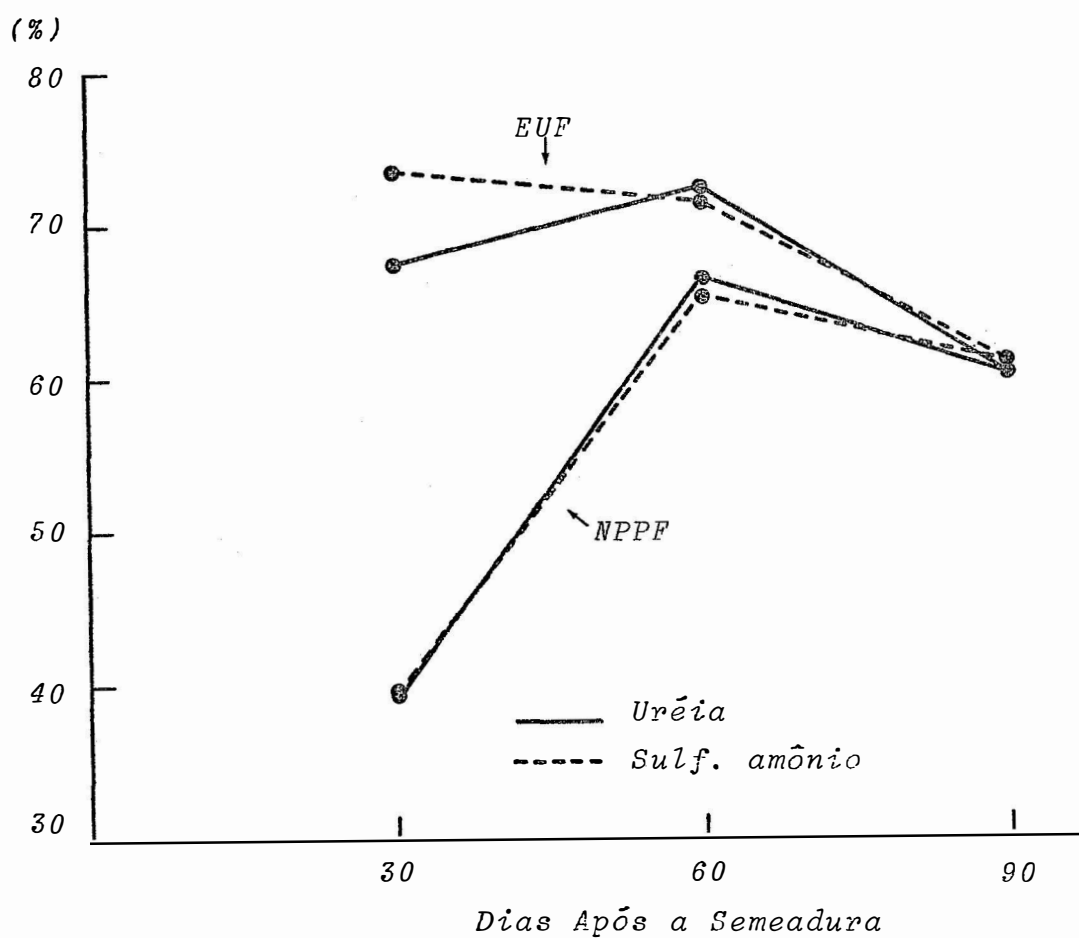


FIGURA 5. Eficiência de Utilização do fertilizante nitrogenado (EUF) e da porcentagem de nitrogênio proveniente do fertilizante (NPPF), na planta toda em função da idade da cultura.

teve reprodutividade nos resultados com um erro aproximado de 0,003 átomos %  $^{15}\text{N}$ . Este mesmo autor cita MARIOTTI e LETOLLE (1978) que encontraram resultados similares.

#### 4.2.5. NITROGÊNIO NA PLANTA PROVENIENTE DO SOLO

As porcentagens e quantidades expressos em mg/vaso de nitrogênio na planta toda e nas diferentes partes da mesma proveniente do solo, encontram-se na Tabela 10.

Pode-se observar nos resultados que a quantidade acumulada do nitrogênio originário do solo, na planta toda, teve um ligeiro incremento em função do crescimento das plantas, alcançando valores máximos aos 90 dias. Esta variação levemente crescente a partir dos 30 dias pode ser atribuída à aplicação do fertilizante nitrogenado, principalmente a segunda aplicação, que provocou alteração na quantidade de nitrogênio disponível, favorecendo a mineralização da matéria orgânica existente no solo (BARBER, 1968 ; MALAVOLTA, 1976). Este aumento na disponibilidade do nitrogênio do solo para as plantas é conhecido como "Priming effect" (FRIED e BROESHART, 1974; FRIED *et alii*, 1975).

Isto se reflete claramente nas taxas de absorção do nitrogênio do solo pelos tratamentos com fertilização, alcançando valores médios aos 30 dias de 124,7 e

133,2 mg N/vaso para plantas fertilizadas com uréia e sulfato de amônio. No entanto, o tratamento controle mostrou uma taxa de absorção menor de 119,3 mg N/vaso. Estas diferenças se acentuam aos 60 dias e diminuem novamente na última amostragem. A análise de variância dos dados não mostrou estas diferenças como significativas estatisticamente, porém as fontes de nitrogênio não apresentaram diferenças entre si. Este comportamento foi o mesmo dentro dos níveis de enriquecimento isotópico de  $^{15}\text{N}$ .

Embora os resultados sejam quantitativamente baixos comparados com os alcançados em experimentos de campo, onde as taxas de absorção do nitrogênio proveniente do solo são maiores (CALVACHE *et alii*, 1982), para as condições do presente experimento com uma massa de solo de 6,5 kg/vaso, com conteúdo baixo de matéria orgânica, a disponibilidade deste elemento pode ser considerada razoável. De fato outra das causas está relacionada com a alta eficiência na utilização do fertilizante nitrogenado pelas plantas. Na Figura 7, podem-se observar as variações do nitrogênio total absorvido pela planta, aquela que derivou do fertilizante incorporado e aquela que a planta absorveu do solo.

Analisando isoladamente a raiz, observa-se que aos 30 dias de idade das plantas, os valores do nitrogênio absorvido, proveniente do solo, são muito próximos

nos diferentes tratamentos. Entretanto, no colmo se apre  
ciam diferenças leves, quando comparados os tratamentos aduba  
bados com o controle. Na segunda amostragem, estas diferença  
s são maiores, principalmente nas folhas, alcançando resul  
tados médios de 81,4 mg N/vaso para os tratamentos fertiliz  
ados com uréia, 84,3 mg N/vaso para os tratamentos fertiliz  
ados com sulfato de amônio e 56,2 mg N/vaso para as planta  
tas sem fertilização.

Aos 90 dias a quantidade de nitrogênio do solo  
acumulada nas raízes e colmo, teve uma distribuição similar  
que, no período de amostragem anterior, quando compara  
das as taxas de absorção do nitrogênio próprio do solo nos  
diferentes tratamentos.

Em geral a tendência de absorção do nitrogêni  
o do solo pelos diferentes órgãos da planta apresenta uma  
distribuição que se pode relacionar claramente com a dispon  
ibilidade de nitrogênio do fertilizante aplicado no solo  
(Figura 6).

No período de 0 a 30 dias, quando a planta  
teve disponível só um quarto do fertilizante, a absorção do  
nitrogênio do solo foi máxima. Com a segunda aplicação do  
adubo aos 40 dias (três quartas partes restantes) a absorç  
ão do nitrogênio do solo atingiu limites mínimos, embora  
esta adição provocasse mineralização do nitrogênio orgânica



TABELA 10. Porcentagem e quantidade de nitrogênio na planta e nos órgãos, proveniente do solo (NPPS). Valores Médios de três repetições

TRATAMENTOS	NITROGENIO NA PLANTA PROVENIENTE DO SOLO (NPPS)																			
	fonte	30 D.A.S.			60 D.A.S.			90 D.A.S.			mg. vaso <sup>-1</sup>									
		At. N exc	mg. vaso <sup>-1</sup>	%	mg. vaso <sup>-1</sup>	%	mg. vaso <sup>-1</sup>	%	mg. vaso <sup>-1</sup>	%	mg. vaso <sup>-1</sup>	%	mg. vaso <sup>-1</sup>	%						
	Raiz	P.aerea	Total	Raiz	Colmo	Folhas	Total	Raiz	Colmo	Folhas	Total	Raiz	Colmo	Folhas	Total					
URÉIA	1,5	67,000	58,584	27,282	97,889	125,171	37,653	29,142	32,354	46,338	41,304	79,853	167,495	47,495	38,722	34,091	71,106	66,37	45,635	183,111
	3,0	66,756	58,674	24,166	93,178	117,344	39,267	30,567	33,384	41,593	48,528	79,874	170,000	47,010	36,356	32,767	63,081	64,09	51,017	178,188
	6,0	69,096	60,960	23,556	115,987	139,543	39,570	30,519	33,009	42,987	42,568	83,690	169,245	48,604	38,721	38,096	68,163	70,053	54,183	192,399
	9,0	66,440	58,594	24,694	92,259	116,953	39,253	31,066	33,475	43,830	47,340	82,228	173,348	45,095	36,477	35,709	63,310	65,168	52,802	181,280
SULF. AMÔNIO	1,5	66,974	57,085	26,227	102,050	129,050	40,842	30,37	33,378	44,985	40,445	84,598	170,028	44,452	37,612	30,125	61,101	64,924	40,888	166,913
	3,0	68,007	60,742	25,060	112,187	137,247	36,412	32,27	34,208	42,853	39,294	85,606	167,753	43,732	37,165	33,732	68,667	57,576	50,719	176,962
	6,0	67,469	58,910	28,667	105,304	133,971	36,903	32,609	33,951	44,957	43,634	82,675	171,266	45,177	37,332	35,645	73,963	66,182	57,375	197,520
	9,0	67,657	59,443	26,449	106,135	132,584	38,947	28,666	33,453	45,305	40,243	84,362	169,91	49,057	37,142	36,586	66,868	66,536	47,749	181,153
URÉIA		67,324 <sup>a</sup>	59,204 <sup>a</sup>	24,925 <sup>a</sup>	99,828 <sup>a</sup>	124,75	38,936 <sup>a</sup>	30,336 <sup>a</sup>	33,057 <sup>a</sup>	43,687 <sup>a</sup>	44,935 <sup>a</sup>	81,413 <sup>a</sup>	170,03	47,051 <sup>a</sup>	37,569 <sup>a</sup>	35,166 <sup>a</sup>	66,415 <sup>a</sup>	66,420 <sup>a</sup>	50,909 <sup>a</sup>	183,74
		67,528 <sup>a</sup>	59,045 <sup>a</sup>	26,601 <sup>a</sup>	106,612 <sup>a</sup>	133,213	38,276 <sup>a</sup>	30,979 <sup>a</sup>	33,747 <sup>a</sup>	44,525 <sup>a</sup>	40,904 <sup>a</sup>	84,310 <sup>a</sup>	169,74	45,605 <sup>a</sup>	37,313 <sup>a</sup>	34,022 <sup>a</sup>	67,650 <sup>a</sup>	63,805 <sup>a</sup>	49,183 <sup>a</sup>	180,63
F	FONTES	0,01	0,01	0,90	0,52		0,32	0,52	0,93	0,12	2,78	1,11		1,98	0,11	1,21	0,10	0,77	0,56	
	ENRIQUECIMENTO	0,11	0,24	0,26	0,30		0,34	1,14	0,29	0,36	0,34	0,03		0,60	0,97	2,67	0,49	1,06	2,03	
	FORTE X ENRIQ.	0,14	0,25	0,53	0,48		1,46	1,35	0,11	0,09	1,03	0,30		3,08	0,56	1,35	0,94	0,32	0,73	
C.V. (%)	6,4	7,8	16,7	16,9		7,3	7,0	5,2	13,2	13,7	8,1		5,4	5,0	7,4	14,1	11,1	11,2		

Médias com as mesmas letras não diferem estatisticamente ao nível de 5%

D.A.S. = Dias Após a Semeadura

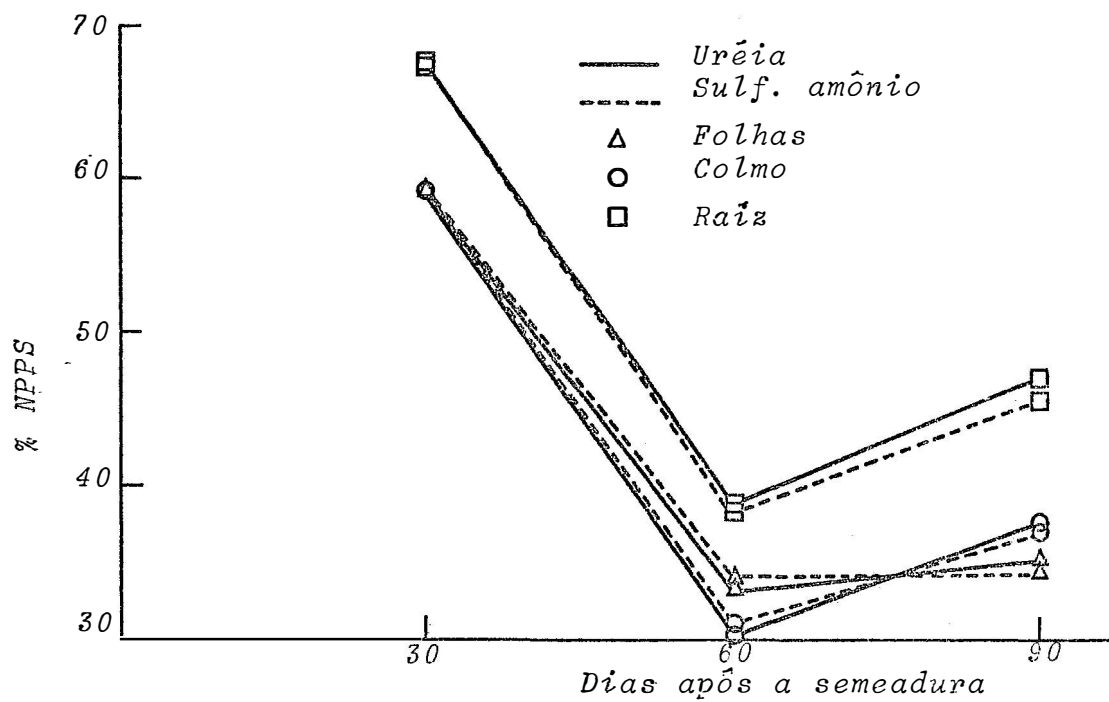


FIGURA 6. Porcentagem do nitrogênio nos diferentes órgãos da planta de milho proveniente do solo (NPPS) em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura.

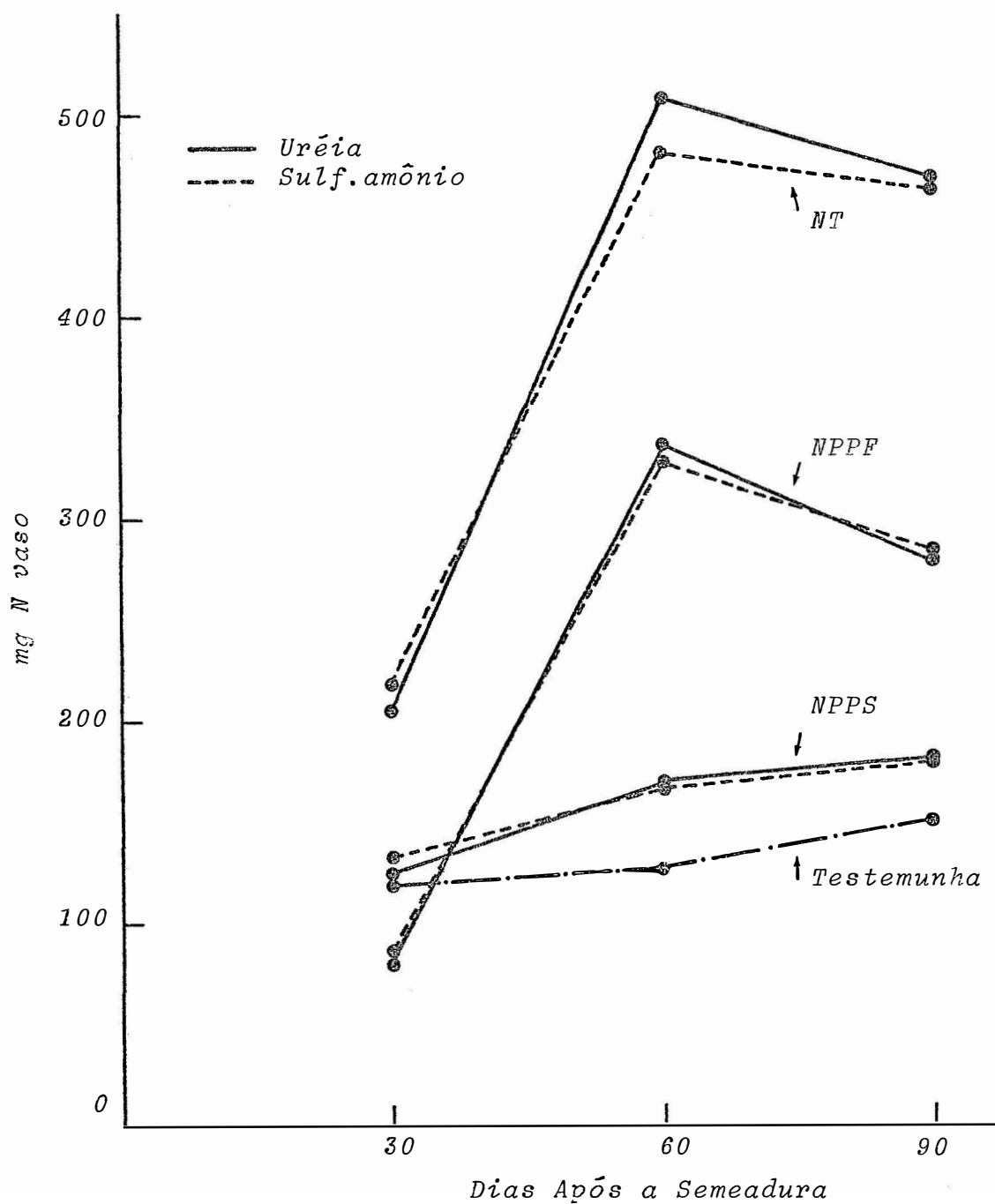


FIGURA 7. Variações do Nitrogênio Total na Planta (NTP), proveniente do fertilizante (NPPF), do solo (NPPS) e da testemunha, nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura.

co no solo, as plantas, neste período de 30 a 60 dias, encontraram nitrogênio solúvel do fertilizante. A partir deste período, aumentando os requerimentos deste elemento pela planta, a absorção de nitrogênio oriundo do solo foi-se acrescentando até os 90 dias, tendência que continua em razão do esgotamento do nitrogênio do fertilizante.

### 4.3. NITROGÊNIO NO SOLO

#### 4.3.1. TEOR E QUANTIDADE DE NITROGÊNIO TOTAL NO SOLO

Na Tabela 11, são apresentadas as médias das porcentagens e das quantidades de nitrogênio total no solo em três períodos de coleta para os diferentes tratamentos.

Pode-se observar que o teste F da análise de variância não mostrou diferenças significativas entre os tratamentos para os dois parâmetros em nenhuma das épocas de amostragem. Isto pode ter ocorrido em virtude de que a diferença entre as quantidades de nitrogênio do solo extraídas nos diferentes tratamentos foram pequenas em relação à quantidade total de nitrogênio no solo, fato que foi discutido no item 4.2.5.

A aplicação das fontes nitrogenadas ao solo não alterou nos resultados de nitrogênio total. Isto pode

TABELA 11. Médias das porcentagens e das quantidades de nitrogênio total no solo, nos diferentes tratamentos em três épocas de estudo.

TRATAMENTOS	NITROGÊNIO TOTAL NO SOLO								
	30 D.A.S.			60 D.A.S.			90 D.A.S.		
	fontes	At. %	$^{15}N$ exc.	%	g. vaso <sup>-1</sup>	%	g. vaso <sup>-1</sup>	%	g. vaso <sup>-1</sup>
URÉIA	1,5	0,0693	4,504	0,0670	4,344	0,0675	4,387		
	3,0	0,0697	4,530	0,0702	4,563	0,0642	4,173		
	6,0	0,0670	4,355	0,0637	4,140	0,0667	4,335		
	9,0	0,0702	4,563	0,0637	4,140	0,0640	4,160		
SULF. AMÔNIO	1,5	0,0710	4,615	0,0637	4,140	0,0668	4,342		
	3,0	0,0692	4,498	0,0600	3,900	0,0682	4,433		
	6,0	0,0680	4,420	0,0685	4,452	0,0632	4,108		
	9,0	0,0682	4,433	0,0653	4,244	0,0645	4,192		
Controle	-	0,0702	4,563	0,0693	4,504	0,0640	4,160		
<i>Média Fontes</i>									
URÉIA		0,0691 <sup>a</sup>	4,488 <sup>a</sup>	0,0661 <sup>a</sup>	4,299 <sup>a</sup>	0,0656 <sup>a</sup>	4,264 <sup>a</sup>		
SULF. AMÔNIO		0,0691 <sup>a</sup>	4,491 <sup>a</sup>	0,0644 <sup>a</sup>	4,184 <sup>a</sup>	0,0657 <sup>a</sup>	4,243 <sup>a</sup>		
CONTROLE		0,0702 <sup>a</sup>	4,563 <sup>a</sup>	0,0693 <sup>a</sup>	4,504 <sup>a</sup>	0,0640 <sup>a</sup>	4,160 <sup>a</sup>		
F TRATAMENTOS		0,10	0,10	1,60	1,70	0,24	0,23		
DMS (TUKEY 5%)		0,019	1,26	0,012	0,80	0,018	1,22		
C.V. (%)		9,7	9,7	6,5	6,5	9,9	10,0		

Médias com a mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5%.

D.A.S. = Dias-Depois a Semeadura

ser visto na comparação destes tratamentos frente ao tratamento controle.

De modo geral, os teores de nitrogênio encontrados no solo, nas três épocas de coleta, podem ser consideradas baixos, pois segundo MALAVOLTA (1976) solos com teores de nitrogênio inferiores a 0,08 são considerados baixos.

Poderia ter-se presumido uma diminuição das quantidades de nitrogênio total no solo a partir dos 60 dias devido à absorção pela planta embora em quantidades baixas, mas que puderam provocar uma queda nos valores aos 90 dias. Observa-se, porém, nos resultados que não aconteceu isto.

#### *4.3.2. PORCENTAGEM E QUANTIDADE DE NITROGÊNIO NO SOLO PROVENIENTE DO FERTILIZANTE*

Na Tabela 12, são apresentados resultados da porcentagem e da quantidade de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante, nos três períodos de amostragem das plantas.

No que diz respeito a estes parâmetros, pode-se observar, nos dados obtidos, que as quantidades de nitrogênio no solo derivado do fertilizante adicionado fra

cionadamente foram baixos, alcançando níveis mínimos aos 30 dias. Aos 60 e 90 dias estes valores se acrescentam. A consequência destes resultados pode ser devida a que, aos 30 dias, a planta teve uma boa eficiência de utilização do adubo aplicado no período do desbaste, o que evitou sua retenção no solo. Aos 60 e 90 dias a planta manteve eficiente absorção do nitrogênio proveniente da segunda aplicação, minimizando, desta forma, sua concentração no solo.

Embora as quantidades de nitrogênio do fertilizante encontradas no solo fossem baixas, as diferenças na sua concentração, nos diferentes tratamentos, permitem observar a conduta das fontes adicionadas,

A análise estatística dos dados mostra diferenças significativas ( $P=0,05$ ) para o fator fonte, mas não para o enriquecimento isotópico de  $^{15}\text{N}$ , isto aos 60 e 90 dias. O teste Tukey demonstra que as médias dos tratamentos fertilizados com uréia diferem das médias dos tratamentos com sulfato de amônio. Na primeira amostragem não diferem estatisticamente os resultados.

As maiores quantidades de nitrogênio retidas no solo encontram-se nos tratamentos fertilizados com sulfato de amônio. Isto quer dizer que a uréia teve um índice maior de perda do nitrogênio, enquanto o sulfato de amônio ficou retido nos colóides do solo.

15  
 TABELA 12 - Átomos N em excesso, porcentagem e quantidade de N total no solo. Proveniente do fertilizante (NSPF) em diferentes períodos de desenvolvimento da cultura de milho (*Zea mays* L.).

TRATAMENTOS	30 D.A.S.						60 D.A.S.						90 D.A.S.					
	At.º N. exc.	15 N exc.	%	mg.vaso <sup>-1</sup>	At.º N exc.	15 N exc.	%	mg.vaso <sup>-1</sup>	At.º N exc.	15 N exc.	%	mg.vaso <sup>-1</sup>	At.º N exc.	15 N exc.	%	mg.vaso <sup>-1</sup>		
Fontes	1,5	0,004	0,267	12,027	0,022	1,470	0,868	38,083	0,013	0,040	1,339	55,876	0,055	0,088	0,980	40,768		
URÉIA	3,0	0,007	0,234	10,601	0,024	0,803	36,641	0,034	0,064	2,126	82,915	0,137	0,172	1,871	79,415			
SUL. AM.	6,0	0,018	0,301	13,131	0,085	1,424	58,461	0,181	0,289	101,918	0,256	0,415	1,773	74,333				
	9,0	0,035	0,390	17,796	0,181	2,015	83,431	0,223	0,351	1,426	58,461	0,075	0,163	1,773	74,333			
	1,5	0,005	0,334	15,414	0,034	2,273	94,113	0,023	0,051	1,694	75,095	0,075	0,163	1,773	74,333			
	3,0	0,007	0,233	10,480	0,064	2,126	82,915	0,051	0,075	1,256	51,608	0,075	0,163	1,773	74,333			
	6,0	0,018	0,301	13,304	0,137	2,289	101,918	0,137	0,289	101,918		0,075	0,163	1,773	74,333			
	9,0	0,029	0,315	13,964	0,172	1,871	79,415	0,172	0,315	13,964		0,163	1,773	74,333				
<i>Médias Fontes</i>																		
URÉIA			0,298 <sup>a</sup>	13,389 <sup>a</sup>		1,428 <sup>a</sup>	60,765 <sup>a</sup>								1,027 <sup>a</sup>	43,667 <sup>a</sup>		
SULF. AMÔNIO			0,296 <sup>a</sup>	13,290 <sup>a</sup>		2,139 <sup>b</sup>	89,590 <sup>b</sup>								1,565 <sup>b</sup>	66,943 <sup>b</sup>		
FONTES			0,04	0,06		8,51*	7,61*								8,97*	8,75*		
F ENRIQUECIMENTO			0,53	0,64		0,98	0,87								0,27	0,25		
FORTE X ENRIQUECIMENTO			0,11	0,13		0,36	0,31								1,64	0,21		
C.V. (%)			19,9	20,0		16,5	17,0								15,0	16,0		

D.A.S. = Dias após a semeadura  
 \* 5% de probabilidade  
 \*\* 1% de probabilidade  
 Letras com a mesma letra não diferem estatisticamente.



Estas diferenças se verificam tanto aos 30, 60 como aos 90 dias, alcançando valores máximos na segunda amostragem com valores de 60,7 mg N/vaso para os tratamentos adubados com uréia e 89,5 mg N/vaso para as unidades experimentais fertilizadas com sulfato de amônio.

#### 4.4. BALANÇO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DO FERTILIZANTE NO SISTEMA SOLO-PLANTA

Na Tabela 13, apresenta-se o balanço da quantidade de nitrogênio aplicada com o fertilizante ao sistema solo-planta em estudo, em três épocas de desenvolvimento da cultura de milho.

Para as condições do presente trabalho, no ítem 3.9.6. foram mencionados os elementos que influem no balanço de massa do nitrogênio no sistema em estudo. Consequentemente a equação do balanço de nitrogênio constituiu-se apenas em dois termos, a quantidade de nitrogênio aplicado com o adubo marcado e a quantidade do nitrogênio exportado pela cultura.

A partir, então, da quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante nas diferentes partes da planta (Tabelas 6, 7 e 8) e no solo (Tabela 12), construiu-se a Tabela 13 que apresenta valores médios do balanço em três pe

ríodos de desenvolvimento das plantas, os valores individuais por época podem ser vistos nas Tabelas 16, 17 e 18 do apêndice.

Como se pode ver nestes resultados, aos 30 dias após a semeadura, a soma do nitrogênio nos diferentes órgãos da planta proveniente do fertilizante e do nitrogênio no solo também proveniente do fertilizante, foi de 93,8 mg/vaso para os tratamentos fertilizados com uréia e 99,4 mg/vaso para os tratamentos com sulfato de amônio. Como, durante o período de 10 a 30 dias após o plantio, foram aplicados 116 mg N/vaso, observa-se, por estes resultados, que, na realidade, houve pequena perda do nitrogênio do solo. Estas perdas foram de 22,1 e 16,5 mg N/vaso para os tratamentos com uréia e sulfato de amônio respectivamente.

Aos 60 dias, após a semeadura, a soma do que a planta absorveu com o que ficou no solo, foi de 397,8 mg N/vaso para os tratamentos com uréia e 418,9 mg N/vaso, para os com sulfato de amônio. Considerando que, no período de 40 a 60 dias, o solo recebeu o restante da dose do adubo nitrogenado estabelecido para o experimento (348 mg N/vaso), pode-se ver que foi recuperado pela planta e ficou retido no solo um total de 85% do fertilizante aplicado como uréia e 90% como sulfato de amônio.

Resultados com aproximadamente a mesma dis

tribuição foram obtidos aos 90 dias após o plantio. Nesta época, foram detectadas no sistema solo-planta, devido à absorção do nitrogênio do fertilizante marcado e do nitrogênio residual no solo, as porcentagens totais de 69% para os tratamentos adubados com uréia e 75% com sulfato de amônio.

Analisando estes resultados, pode-se dizer que houve perda de N-fertilizante nas três épocas estudadas. Os tratamentos fertilizados com uréia foram os que mostraram maior perda. No entanto, o sulfato de amônio foi mais retido no solo. Isto pode ser atribuído às características de acidez do solo e ao fato de o sulfato de amônio ser aplicado em solução, o que, segundo TERMAN (1979), elimina ou reduz as perdas, principalmente por volatilização desta fonte nitrogenada.

Finalmente, observa-se que, com o uso do fertilizante marcado com  $^{15}\text{N}$ , foi possível contabilizar o total de nitrogênio fornecido ao sistema solo-planta, durante o desenvolvimento da cultura de milho. A quantidade de adubo adicionada que o balanço não contabilizou, pode ter talvez ainda ficado no solo fixado nos colóides ou perdido por volatilização. A possível perda por desnitrificação foi desprezada baseados nos antecedentes expostos por TERMAN (1979), que afirma que esta via de perda é significativa apenas em condições reduzidas, causadas por uma má drena

gem e, especialmente, em solos inundados, o que não foi o caso do presente experimento.

TABELA 13 - Balanço do Nitrogênio proveniente do fertilizante no sistema solo-planta nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura. Valores médios.

FONTES	DAS	Distribuição do Fertilizante Marcado			N no Sistema Solo - planta		Perda		N Aplicado mg. vaso <sup>-1</sup>	
		Raiz	Colmo	Folhas	Solo	mg. vaso <sup>-1</sup>	%	mgN. vaso <sup>-1</sup>		%
URÉIA	30	12,143	68,299	-	13,389	93,831	80,84	22,169	19,11	116
	60	69,063	103,184	164,831	60,763	397,846	85,74	66,154	14,26	464
	90	74,767	110,834	94,088	43,854	323,543	69,73	140,457	30,27	464
SULFATO DE AMÔNIO	30	12,757	73,401	-	13,291	99,449	85,733	16,527	14,27	116
	60	72,709	91,601	165,539	89,590	418,939	90,24	45,061	9,71	464
	90	81,180	107,304	96,352	66,943	351,779	75,81	112,221	24,14	464

DAS= Dias Após a Semeadura

## 5. CONCLUSÕES

Levando-se em consideração as condições em que foi conduzido o experimento, após análise dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

1. A adubação nitrogenada aumenta sensivelmente a produção de matéria seca e a quantidade de nitrogênio total acumulada na planta durante seu crescimento, alcançando o máximo aos 60 dias.
2. As porcentagens máximas de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante ocorreram aos 60 dias após a semeadura (66% da uréia e 65% do sulfato de amônio).
3. O acúmulo maior de nitrogênio total na planta proveniente do fertilizante se dá aos 60 dias de idade da cultura (337 mg N/pl proveniente da uréia e 329 mg N/pl do sulfato de amônio).

4. *As quantidades de nitrogênio nos diversos órgãos da planta provenientes do fertilizante variam entre as épocas de desenvolvimento da cultura, ocasionada pela redistribuição do nitrogênio nas partes vegetativas da planta e pela translocação para os órgãos de produção do grão.*
5. *As partes da planta onde se acumula mais o nitrogênio, procedentes do fertilizante, são as folhas com 164 e 165 mg N/pl aos 60 dias de idade.*
6. *As taxas de absorção do nitrogênio proveniente do fertilizante não foram afetadas pelo tipo de fonte nitrogenada.*
7. *A eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pela planta toda, varia levemente conforme os estádios da cultura, tornando-se máximo aos 60 dias com 72% para a uréia e 71% para o sulfato de amônio.*
8. *Embora as quantidades de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante fossem baixas, as diferenças significativas a partir dos 60 dias ( $P=0,05$ ) permitiram observar o comportamento das fontes nitrogenadas.*

9. Na última coleta ficaram no solo 43 mg/vaso (da uréia) e 66 mg/vaso (do sulfato de amônio) do nitrogênio derivado do fertilizante como efeito residual.
10. O balanço do nitrogênio do fertilizante mostra que a uréia perdeu-se em maior quantidade (140 mg N/vaso) comparada com o sulfato de amônio (112 mg N/vaso) com valores máximos alcançados aos 90 dias.
11. O incremento no nível de enriquecimento isotópico do  $^{15}\text{N}$  no fertilizante não alterou sensivelmente a precisão dos resultados analíticos.
12. Quando comparados os efeitos dos fertilizantes mais enriquecidos (9 % átomos em excesso) e menos enriquecidos (1,5 % átomos em excesso) nos resultados dos parâmetros isotópicos (NPPF e EUF), observa-se que não existiram diferenças significativas.
13. O adubo marcado com  $^{15}\text{N}$  acima de 1,5 % átomos em excesso apresenta resultados analíticos de alta precisão.



## 6. LITERATURA CITADA

AQUINO, A.R.L., 1984. Níveis e Modos de Aplicação de Uréia -<sup>15</sup>N no Arroz (*Oryza sativa* L.) Submetido a Veranicos Piracicaba, ESALQ/USP. 134p. (Tese de Doutorado).

ARAUJO SILVA, J.C., 1982. Movimento e Perdas por Lixiviação de Nitrogênio - CO(<sup>15</sup>NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> - em um Alfisol Cultivado com Milho (*Zea mays* L.). Piracicaba, ESALQ/USP. 59p. (Dissertação de Mestrado).

ARORA, R.P.; M.S. SACHDEY; 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.

BAEYENS, J., 1970. Nutrição de las Plantas de Cultivo. Vers En Castellano de J.M. Mateo Box. Ed. Lemos. Madrid. p. 309-336.

- BARTHOLOMEW, W.V.; L.B. NELSON e C.H. WERKMAN, 1950. The Use of Nitrogen Isotope  $^{15}\text{N}$  in Field Studies With Oats . *Agron. J.*, Madison, 42:100-103.
- BARBER, D.A., 1968. Effects of Microorganisms on the Absorption of Organic Nutrients by Plants. *In: IAEA. Isotopes and Radiation in Soil Organic Matter Studies.* Vienna. p. 365-375.
- BARREIRA, D. e E. LOPEZ, 1964. Fertilización Nitrogenada del Trigo en Distintos Periodos de su Desarrollo. *Rev. Inv. Agr. Série 2, Vol. I, nº 6, INTA.* Buenos Aires. 75p.
- BROADBENT, F.E. e A.B. CARLTON, 1978. Field Trials With Isotopically Labelled Nitrogen Fertilizer. *In: Nielsen, D.R. e J.G. Mac-Donald, Eds. Nitrogen in the Environment.* New York, Academic Press. p.1-41.
- 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.

- BROESHART, H., 1974. Quantitative Measurement of Fertilizer Uptake by Crops. *Nath. J. Agric. Sci.*, Wageningen , 22:245-254.
- BURRIS, R.H.; J.F. EPPLING; H.R. WAHLIN e P.W. WILSON, 1943. Detection of Nitrogen Fixation With Isotopic Nitrogen *J. Biol. Chem.*, Baltimore, 48:349-357.
- CALVACHE, A.M.; P.L. LIBARDI e K. REICHARDT, 1982. Utilização do Nitrogênio Fertilizante por Dois Híbridos de Milho. *Fundação Cargill*.
- CHO, C.M.; G. PROKSCH e A.C. CALDWELL, 1967. The Effect of Placement on the Utilization of Nitrogen by Maize as Determined by  $^{15}\text{N}$ -Labelled Ammonium Sulphate. *In: IAEA . Isotopes in Plant Nutrition and Physiology*. Vienna. p. 47-53.
- COCHRANE, T., 1970. Interpretación de los Resultados de Análisis de Suelos. *Misión Británica en Agricultura Tropical*. La Paz. 65p.
- CRUZ, J.C., 1980. Sistema de Produção de Milho, Avaliação Agronômica e Econômica. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. EMBRAPA, Sete Lagoas. M.G.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1979. Manual de Métodos de Análise do Solo. Rio de Janeiro. 282 p.

FAO, 1985. Crop Production Levels and Fertilizer Use. Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin nº 2. Roma. 25p.

FIEDLER, R. e G. PROKSCH, 1975. The Determination of Nitrogen-15 by Emission and Mass Spectrometry in Biochemical Analysis. *Anal. Chim. Acta*, 78 (1975). p.1-62.

FREITAS, J.R., 1984. Dinâmica do Nitrogênio em Solo Terra Roxa Estruturada (TRE) Tratado com Matéria Orgânica e Sulfato de Amônio Enriquecidos com o Isótopo  $^{15}\text{N}$ . Piracicaba, ESALQ/USP. (Dissertação de Mestrado).

FRIED, M., 1973. Effect of Cultural Practices on Efficiency of Fertilizer Use Determined by Direct Measure in Field Experiment Using Isotopically Labelled Fertilizers. Pontifical Academic Scientiarum Serepta. Varia. nº 38.

FRIED, M. e H. BROESHART, 1974. Priming Effect of Nitrogen Fertilizers on Soil Nitrogen. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 38:858.

FRIED, M.; R.J. SOPER e H. BROESHART, 1975.  $^{15}\text{N}$  - Labelled Single-Treatment Fertility Experiment. *Agron.J.*, 67:393-396.

FRIED, M.; 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.

GALLO, P.B., 1980. Aproveitamento do Nitrogênio Residual da Soja pelo Milho. Instituto Agronômico do Paraná. Londrina. 25p.

GUIRAUD, G. e L.A. BUSCARLET, 1974. Comparaison entre Spectrométrie de Masse et Spectrométrie d'Emission pour les Analyses Isotopiques d'Azote. *Int. Journ. of Applied Rad. an Isotopes*, 1975. vol.26. p.187-193.

GUIRAUD, G., 1984. Contribution du Marquage Isotopique a l'Evaluation des Transferts d'Azote entre les Compartiments Organiques et Mineraux dans les Systemes Sol-Plante. Soutenu. A l'Universite Pierre et Marie Curie . 335p. (Tesis de Doutorado).

HAUCK, R.D. e M. BYSTROM, 1970.  $^{15}\text{N}$  - A Selected Bibliogra  
phy for Agricultural Scientists. The Iowa State Univ .  
Press, Amas, Iowa. 206p.

HAUCK, R.D., 1973. Nitrogen Tracers in Nitrogen Cycles Stu  
dies - Past Use and Future Needs. *J. Environ. Qual.* Vol.  
2(3):317-327.

HAUCK, R.D. e J.H. BREMENER, 1976. Use Tracers for Soil  
and Fertilizer Nitrogen Research. *Adv. Agron.*, 28:219 -  
266.

HERA, C., 1979. Some Aspects of Nitrogen Fertilization U  
sing  $^{15}\text{N}$ . In: IAEA . *Isotopes and Production in Resear*  
*ch on Soil-Plant Relationships*. Vienna. p.107-123.

HILTBOLD, A.E.; V.W. BARTHOLOMEW e C.H. WERKMAN, 1951. The  
Use of Tracer Techniques in the Simultaneous Measurement  
of Mineralization and Immobilization of Nitrogen in Soil.  
*Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison. 15:166-173.

HILL, J., 1980. The Remobilization of Nutrients from Lea  
ves. *Journ. Plant Nutr.* New York, 2:407-444.

- IAEA, 1970. Fertilizer Management Practices of Maize: Results of Experiments With Isotopes. Vienna. 78p. (Technical Report Series, n<sup>o</sup> 121).
- IAEA, 1974. Isotopes Studies on Wheat Fertilization. Vienna 75p. (Technical Report Series, n<sup>o</sup> 157).
- IAEA, 1976. Tracer Manual on Crops and Soils. Vienna , 277p. (Technical Report Series, n<sup>o</sup> 171).
- IAEA, 1983. A Guide to the Use of Nitrogen-15 and Radioisotopes in Studies on Plant Nutrition: Calculations and Interpretation of Data. IAEA - Tecno1 - 288. Vienna.
- IVANKO, S. e A. MAXIANOVA, 1968. The Effect of Nutritional Conditions on Root Metabolism and the Composition of Nitrogens Compound Translocated from the Root to the Aerial Part of Plants. *In*: Isotopes Studies on the Nitrogen Chain. IAEA, Vienna.
- IVANKO, S., 1972. Recent Progress in the Use of <sup>15</sup>N in Research on Nitrogen Balance Studies in Soil-Plant Relationship. *In*: IAEA. Isotope and Radiation in Soil-Plant Relationships Including Forestry. Vienna. p.483-497.

JACKSON, M.L., 1976. Análisis Químico de Suelos. 3<sup>ra</sup> ed. Barcelona, Omega, 662p.

JANSSON, S.L., 1966. Nitrogen Transformation in Soil Organic Matter. *In: Report of the FAO/IAEA. Tech. Meeting (Braunschweig, Germany, 1963). Pergamon Press . N. Y. p.283-296.*

KISER, R.W., 1965. Introduction Mass Spectrometry and its Applications. Ed. Prentice - Hall, Inc. Engl. e Wood Cliffe, M.S. 356p.

LIBARDI, P.L., 1984. Balanço de Nitrogênio em Culturas Agrícolas e Desvios Encontrados na sua Quantificação. Piracicaba, ESALQ/USP. 113p. (Tese de Livre-Docente).

LIPS, S.H., 1971. N e K Recirculation in Plants and its Importance for Adequate Nitrate Nutrition. *In: Recent Advances in Plant Nutrition. Gamish - R.M. 1:207-214.*

MALAVOLTA, E., e H. GARGANTINI, 1966. Nutrição Mineral e Adubação. *In: Instituto Brasileiro da Potassa. Cultura e Adubação do Milho. São Paulo. p.381-424.*



MALAVOLTA, E., 1976. Manual de Química Agrícola. Nutrição de Plantas e Fertilidade do Solo. São Paulo. Ceres. p. 150-250.

MALAVOLTA, E. e J. PIRES DANTAS, 1978. Nutrição e Adubação do Milho. In: *Melhoramento e Produção de Milho no Brasil*. ESALQ/USP. Fundação Cargill. Piracicaba, p.429-475.

MALAVOLTA, E., 1980. Nutrição Mineral e Adubação do Milho. Ed. ULTRAFERTIL. Série Divulgação Técnica. Piracicaba. 12p.

MEDEIROS, J.B., 1974. Efeito de Níveis de Nitrogênio e Densidade de Plantas Sobre o Rendimento de Grãos e de Outras Características Agronômicas de Dois Cultivares de Milho. Porto Alegre. 87p.

MUZILLI, O., 1982. Adubação Nitrogenada no Milho do Paraná. Instituto Agronômico do Paraná. Londrina.

NAUDE, S.M., 1930. The Isotopes of Nitrogen Mass in and Oxygen Masses 18 and 17 and their Abundance. *Phys. Rev.*, 36:333-346. Apud. Chem. Abstr., 24:5604.

- NEPTUNE, A.M.L. e A. CAMPANELLI, 1970. Efeitos de Diferentes Épocas e Métodos de Aplicação do Nitrogênio para o Milho e da Localização do Fósforo e Nitrogênio Aplicados Juntos ou em Separado na Absorção destes Nutrientes e na Produção de Milho Utilizando  $^{15}\text{N}$  e  $^{32}\text{P}$ . In: *Reunião Brasileira do Milho*, 8<sup>a</sup>. Porto Alegre, Anais, p. 80-82.
- NEPTUNE, A.M.L. e T. MURAOKA, 1978. Aplicações de Uréia- $^{15}\text{N}$  em Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) Cultivar Carioca. *R. bras. Ci. Solo*. Campinas, 2:51-55.
- OLSON, R.A., 1979. Isotopes Studies on Soil and Fertilizer Nitrogen. In: IAEA. *Isotopes and Radiation in Research on Soil-Plant Relationships*. Vienna, p.3-32.
- POJANES, L., 1972. Nitrogen Nutrition and Yield Relation of Winter Wheat. *Agron. J.* 64:571-573.
- PONS, A.L. e C.N. NUSS, 1980. Efeito de Métodos de Aplicação de Nitrogênio em Cobertura na Cultura de Milho. In: *XIII Reunião Brasileira de Milho e Sorgo*, Londrina.
- RAIJ, B.V., 1981. Avaliação da Fertilidade do Solo. *Instituto da Potassa & Fosfato (EUA)* e Instituto Internacional da Potassa (Suíça). 142p.

- RANZANI, G.; O. FREIRE e T. KINJO, 1967. Levantamento da Carta de Solos do Município de Piracicaba. ESALQ/USP. Piracicaba, 85p.
- REICHARDT, K.; P.L. LIBARDI; R.L. VICTORIA e G.P. VIEGAS, 1979. Dinâmica do Nitrogênio num Solo Cultivado com Milho. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 3;17-20.
- RITTEMBERG, D., 1946. The Preparation of Gas Sample for Mass-Espectrometric Analysis. In: WILSON, D.W. *et alii* (ed.). *Preparation and Measure of Isotopic Tracers*. Ann Arbor. Michigan. 31p.
- ROJAS, G.M., 1978. Fisiologia Vegetal Aplicada. Ed. McGraw-Hill. México. 251p.
- SMITH, J.N.; J.O. LEGG e J.N. CARTER, 1963. Equipment and  $^{15}\text{N}$  analysis of Soil and Plant Material With the Mass Spectrometer. *Soil Sc.* New Brunswick, 96:313-318.
- SORENSEN, C.H., 1971. Influence of Factors on Nitrate Concentration in Plants in Relations to Nitrogen Metabolism. *Recent Advances in Plant Nutrition*, 1:229-233.

- STONE, L.F., 1982. Produtividade e Utilização do Nitrogênio pelo Arroz: Efeitos de Deficiência Hídrica, Cultivares e Vermiculita. Piracicaba, ESALQ/USP, 200p. (Tese de Doutorado).
- TANAKA, A. e J. YAMAGUCHI, 1977. Producción de Matéria Seca, Componentes del Rendimiento y Rendimiento del Grano en Maiz. Trad. del Ingles por J. Kohashe. Colégio de Posgraduados de Chapingo. México, 124p.
- TERMAN, G.L., 1974. Volatilization Losses of Nitrogen as Ammonia from Surface-Applied Fertilizers, Organic Amendments and Crop Residues. *Adv. Agron.*, New York, 31:189-223.
- TRIVELIN, P.C.; E. SALATI e E. MATSUI, 1973. Preparo de Amostras para Análise de  $^{15}\text{N}$  por Espectrometria de Massa. CENA. Boletim Técnico nº 2, Piracicaba, 4lp.
- URQUIAGA, S., 1982. Dinâmica do Nitrogênio no Sistema Solo-Planta na Cultura de Feijão Cultivar Carioca. Piracicaba, ESALQ/USP. 154p. (Tese de Doutorado).
- VIEGAS, G.P., 1978. Práticas Culturais do Milho. In: PATERNIANI, E. (ed.). *Melhoramento e Produção do Milho no Brasil*. Piracicaba. ESALQ/USP. p.376-428.

VOSE, P., 1980. Introduction to Nuclear Techniques in Agronomy and Plant Biology. New York. Pergamon, 291p.

WARNCKE, D. e S. BARBER, 1973. Ammonium and Nitrate Uptake by Corn (*Zea mays* L.) as Influenced by Nitrogen Concentrations and  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  Ratio. *Agron. Dour.*, 65:950 - 954.

WIJLER, J. e C.C. DELWICHE, 1954. Investigations of the Denitrifying Process in Soil. *Plant and Soil*, The Hague, 5:155-169.

YAMAMURO, S., 1981. The Accurate Determination of Nitrogen-15, with Emission Spectrometer. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 27(4):405-419.

ZAPATA, F., 1981. Técnicas Isotópicas en Estudios de Fertilidad de Suelos e Nutrición Mineral de las Plantas. In: Curso Internacional Sobre El Empleo de Técnicas Isotópicas en el Estudio de las Relaciones Suelo-Planta. México. p.656-687.

## 7. APÊNDICE

TABELA 14 - Porcentagem da abundância de átomos de <sup>15</sup>N nas diferentes partes da planta nas distintas épocas de amos-  
tragem. Valores médios de três repetições.

TRATAMENTOS	DIAS APÓS A SEMEADURA															
	A % N exc.	30			60			90								
		Raiz	P. aérea	Folhas	Raiz	Colmo	Folhas	Raiz	Colmo	Folhas						
URÉIA	1,5	0,874	0,997	1,320	1,445	1,401	1,169	1,306	1,372	3,0	1,373	1,613	2,212	1,967	2,290	2,392
	6,0	2,225	2,708	3,995	4,533	4,388	3,452	4,047	4,081	9,0	3,994	4,096	5,843	6,363	6,093	6,159
SULF. AMÔNIO	1,5	0,874	1,019	1,272	1,427	1,385	1,214	1,322	1,430	3,0	1,343	1,559	2,301	2,424	2,280	2,380
	6,0	2,327	2,837	4,164	4,419	4,342	3,665	4,140	4,237	9,0	3,353	4,105	5,999	6,542	6,169	6,334
Controle	-	0,379	0,377	0,387	0,385	0,389	0,383	0,388	0,385							
<i>Média dos Tratamentos</i>																
FONTES	URÉIA	1,966	2,353	3,343	3,753	3,633	2,975	3,434	3,501	ENRIQUECIMENTO	1,586 <sup>b</sup>	1,586 <sup>b</sup>	2,256 <sup>b</sup>	2,031 <sup>e</sup>	2,285 <sup>b</sup>	2,386 <sup>b</sup>
	SULF. AMÔNIO	1,974	2,380	3,434	3,803	3,651	3,005	3,478	3,595	ENRIQUECIMENTO	2,276 <sup>c</sup>	2,773 <sup>c</sup>	4,079 <sup>c</sup>	3,058 <sup>c</sup>	4,093 <sup>c</sup>	4,159 <sup>c</sup>
		0,874 <sup>a</sup>	1,008 <sup>a</sup>	1,246 <sup>a</sup>	1,445 <sup>a</sup>	1,393 <sup>a</sup>	1,191 <sup>a</sup>	1,314 <sup>a</sup>	1,401 <sup>a</sup>	ENRIQUECIMENTO	3,373 <sup>d</sup>	4,101 <sup>d</sup>	5,921 <sup>d</sup>	6,435 <sup>d</sup>	6,131 <sup>d</sup>	6,246 <sup>d</sup>
F	FONTES	0,01	0,50	3,97	0,97	0,14	0,11	0,49 <sup>**</sup>	3,02 <sup>**</sup>	F	139,75 <sup>**</sup>	138,85 <sup>**</sup>	1978,32 <sup>**</sup>	2341,65 <sup>**</sup>	537,96 <sup>**</sup>	1168,55 <sup>**</sup>
	ENRIQUECIMENTO	139,75 <sup>**</sup>	138,85 <sup>**</sup>	1978,32 <sup>**</sup>	2201,99 <sup>**</sup>	2341,65 <sup>**</sup>	537,96 <sup>**</sup>	1168,55 <sup>**</sup>	1538,99 <sup>**</sup>	F	0,12	0,10	1,17	0,83	1,66	0,65
	FONTE X ENRIQUECIMENTO	0,12	0,10	1,17	4,58 <sup>**</sup>	0,83	1,66	0,15	0,65	DMS (TUKEY 5%)	0,38	0,47	0,18	0,19	0,31	0,22
C.V. (%)		11,58	12,03	3,32	3,25	3,11	6,22	4,40	3,75							

\* 5% de probabilidade  
\*\* 1% de probabilidade  
Médias com a mesma letra, não diferem estatisticamente ao nível de 5%.

TABELA 15 - Porcentagem de  $^{15}\text{N}$  (átomos %) dos fertilizantes utilizados no experimento.

TRATAMENTOS		$^{15}\text{N}$
FONTES	ÁTOMOS $^{15}\text{N}$ EXC.	ABUNDÂNCIA
URÉIA	1,5	1,870
URÉIA	3,0	3,361
URÉIA	6,0	6,343
URÉIA	9,0	9,354
SULF. AMÔNIO	1,5	1,867
SULF. AMÔNIO	3,0	3,381
SULF. AMÔNIO	6,0	6,357
SULF. AMÔNIO	9,0	9,563



TABELA 16 - Balanço do nitrogênio proveniente do fertilizante no sistema solo - planta aos 30 dias de idade das plantas.

FONTES	Átomos N <sup>-15</sup> excessivos no Fertiliz.	Distribuição do Fertilizante Marcado (mg)			NDF. no Sistema Solo-planta		Perda		Nitrogênio Aplicado mg.vaso <sup>-1</sup>
		Raiz	Parte Aérea	Solo	mg.vaso <sup>-1</sup>	%	mg.vaso <sup>-1</sup>	%	
URÉIA	1,5	13,398	69,293	12,023	94,718	81,65	21,282	18,35	116
	3,0	12,052	65,692	10,601	88,345	76,16	27,655	23,84	116
	6,0	10,612	72,944	13,131	96,687	83,35	19,313	16,65	116
SULFATO DE AMÔNIO	1,5	12,924	76,906	15,414	105,244	90,73	10,756	9,27	116
	3,0	11,683	71,831	10,480	93,994	81,03	22,006	18,97	116
	6,0	13,785	72,715	13,304	99,804	86,04	16,196	13,96	116
	9,0	12,637	72,151	13,964	98,752	85,13	17,248	14,87	116

Médias das perdas:

Uréia = 22,17 mgN

Sulf. Amônio = 14,27 mgN

NPF = Nitrogênio proveniente do fertilizante.

TABELA 17 - Balanço do nitrogênio proveniente do fertilizante no sistema : solo-planta aos 60 dias de idade das plantas.

FONTES	% ÁTOMOS <sup>15</sup> N EXCESSO	DISTRIBUIÇÃO DO FERTILIZANTE (mg)				NPF NO SISTEMA SOLO-PLANTA		PERDA		NITROGÊNIO APLICADO mg. vaso <sup>-1</sup>
		RAIZ	COLMO	FOLHAS	SOLO	mg. vaso <sup>-1</sup>	%	mgN. vaso <sup>-1</sup>	%	
URÉIA	1,5	76,88	100,07	166,90	64,02	407,87	87,9	56,13	12,1	464
	3,0	65,21	110,62	159,03	36,64	371,50	80,06	92,50	19,94	464
	6,0	66,32	97,04	169,95	58,96	392,27	84,54	71,73	15,46	464
	9,0	67,86	105,02	163,44	83,43	419,75	90,46	44,25	9,54	464
SULFATO DE AMÔNIO	1,5	65,20	93,16	168,77	94,11	421,24	90,78	42,76	9,22	464
	3,0	75,54	82,76	164,99	82,91	406,2	87,54	57,80	12,46	464
	6,0	77,19	90,15	161,13	101,92	430,39	92,76	33,61	7,24	464
	9,0	70,91	100,34	167,23	79,41	417,89	90,06	46,11	9,94	464

Médias das perdas  
 URÉIA = 66,15 mgN  
 SULF. AMÔNIO = 45,07 mgN

NPF = Nitrogênio proveniente do fertilizante

TABELA 18 - Balanço de nitrogênio proveniente do fertilizante no sistema solo - planta aos 90 dias de crescimento da cultura.

FONTES	% Átomos 15 N excesso	Distribuição do Fertilizante Marcado				NPF no Sistema Solo - planta		Perda		N Aplicado mg. vaso <sup>-1</sup>
		Raiz	colmo	folhas	solo	mg. vaso <sup>-1</sup>	%	mg. vaso <sup>-1</sup>	%	
URÉIA	1,5	78,75	105,59	88,55	38,083	310,97	67,02	153,03	32,98	464
	3,0	71,07	112,20	104,37	55,88	343,52	74,03	120,48	25,97	464
	6,0	72,20	111,05	80,53	39,94	303,72	65,46	160,28	34,54	464
	9,0	77,06	114,49	94,9	40,77	327,22	70,52	136,78	29,48	464
SULFATO DE AMÔNIO	1,5	76,36	107,57	96,48	66,74	347,15	74,82	116,85	25,18	464
	3,0	88,21	97,31	99,71	75,09	360,32	77,66	103,68	22,34	464
	6,0	90,10	111,31	104,23	51,61	357,25	76,99	106,75	23,01	464
	9,0	70,05	113,03	84,99	74,33	342,40	73,74	121,60	26,21	464

Médias de Perdas:

Uréia = 142,64 mgN.vaso<sup>-1</sup>  
Sulf. Amônio = 112,22 mgN.vaso<sup>-1</sup>

NPF = Nitrogenio proveniente de fertilizante.

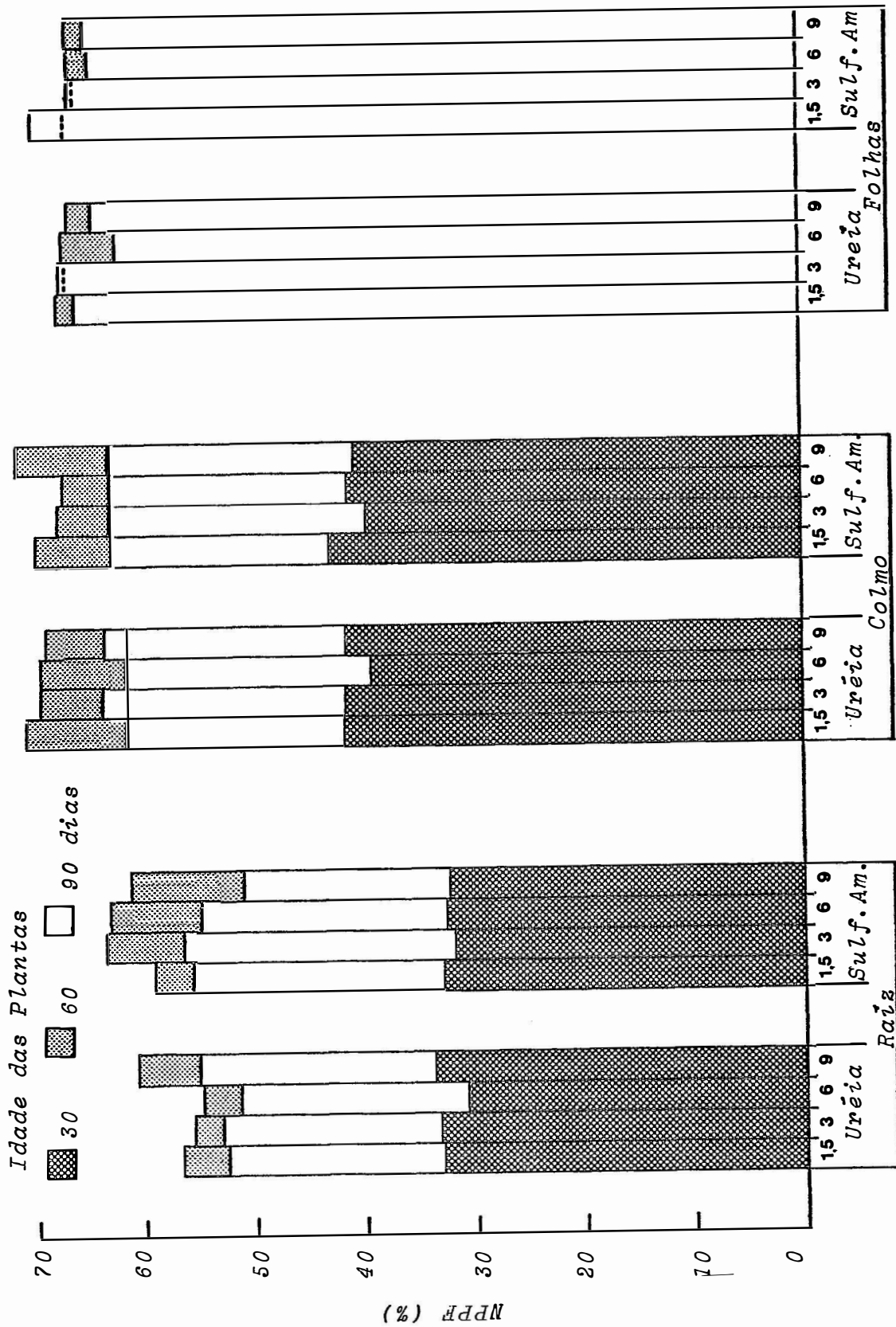


FIGURA 8. Teor porcentual da acumulação de nitrogênio total nas diferentes partes da planta proveniente do fertilizante. (Valores das Tabelas 6, 7 e 8).

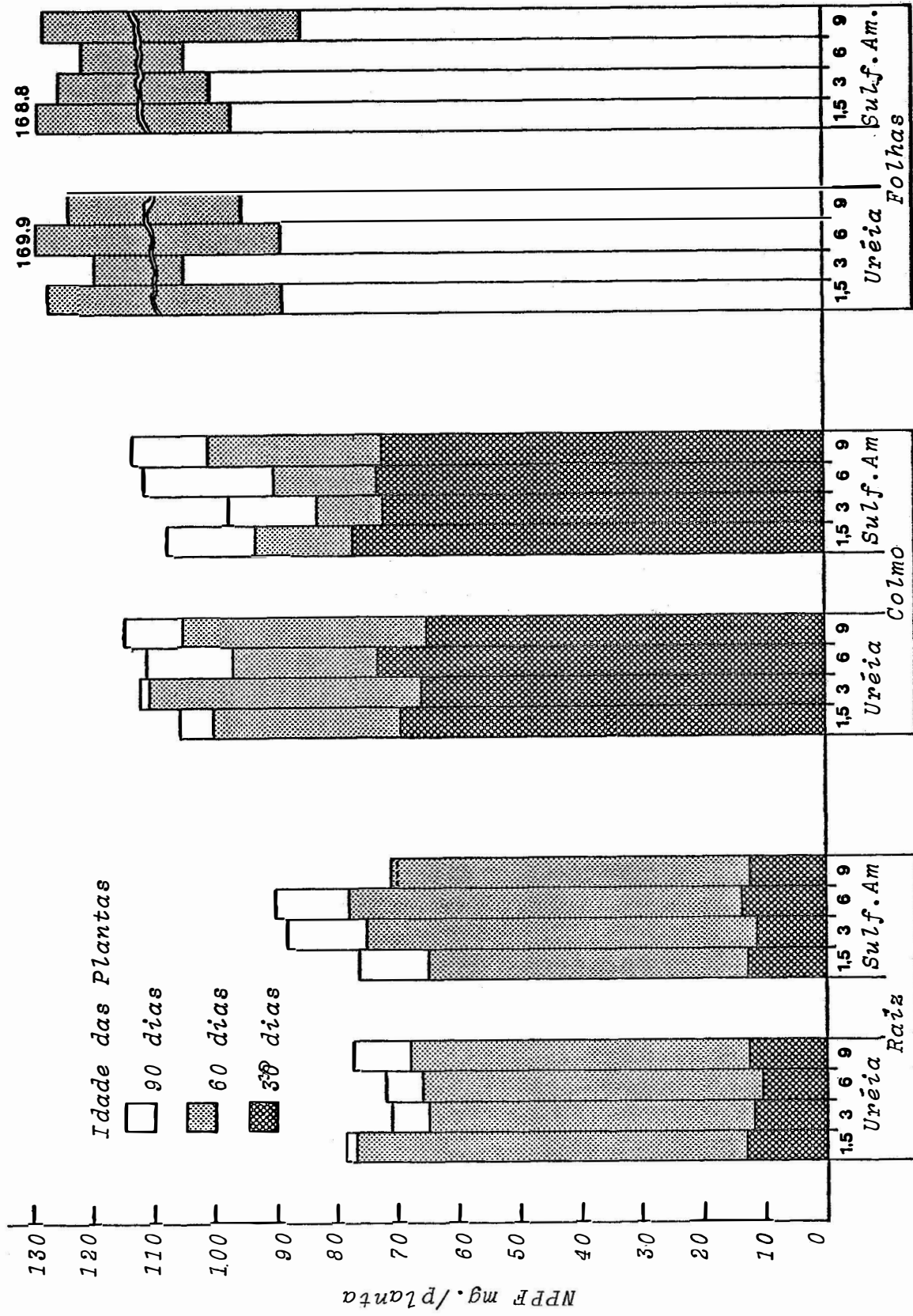


FIGURA 9. Acúmulo do nitrogênio total proveniente do fertilizante, nas diferentes partes da planta, em função dos estádios de desenvolvimento da cultura. (Valores das Tabelas 6, 7 e 8).

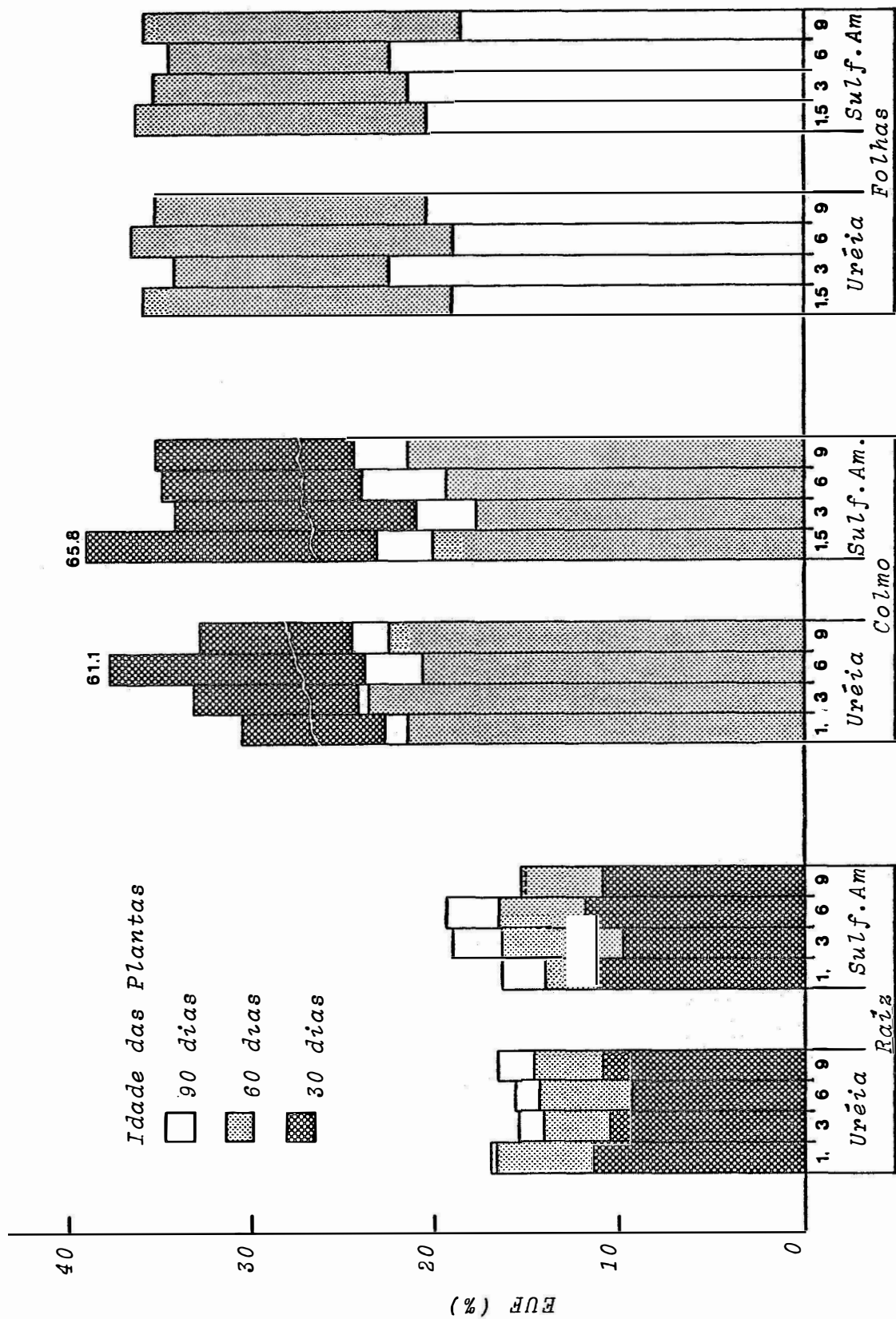


FIGURA 10. Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado nas diferentes partes da planta (Valores da Tabela 9).

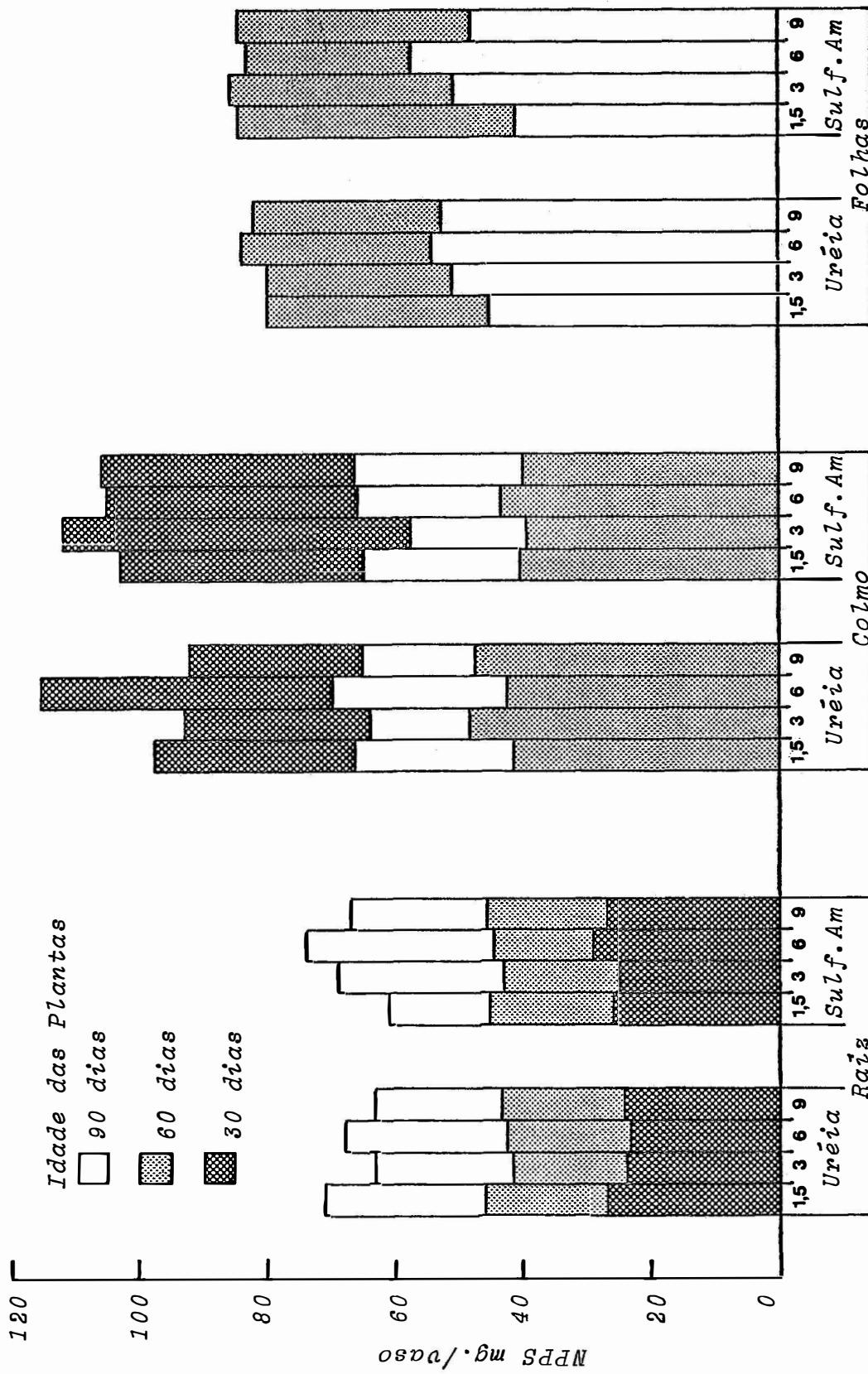


FIGURA 11. Quantidade de nitrogênio nos órgãos da planta proveniente do solo (NPPS).