



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE
NITROGÊNIO PARA O MILHO (*Zea mays*) EM
SOLO DO DISTRITO FEDERAL.**

DESIRÉE DUARTE SERRA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

BRASÍLIA/DF
MARÇO/2006

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE NITROGÊNIO PARA O MILHO
(*Zea mays*) EM SOLO DO DISTRITO FEDERAL.**

DESIRÉE DUARTE SERRA

ORIENTADOR: DR. PROF. SEBASTIÃO ALBERTO DE OLIVEIRA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

PUBLICAÇÃO: 219 /2006

**BRASÍLIA/DF
MARÇO/2006**


**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE NITROGÊNIO
PARA O MILHO (*Zea mays*) EM SOLO DO DISTRITO FEDERAL.**

DESIRÉE DUARTE SERRA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À FACULDADE DE AGRONOMIA
E MEDICINA VETERINÁRIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS AGRÁRIAS NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO DE DISCIPLINAS DE
GESTÃO DE SOLO E ÁGUA.**

APROVADA POR:



**SEBASTIÃO ALBERTO DE OLIVEIRA, Doutor, Professor Adjunto,
(UnB/FAV), CPF: 052.361.771-20 E-mail: oliveira@unb.br
(Orientador)**



**WENCESLAU J. GOEDERT, PhD, Professor Adjunto,
(UnB/FAV), CPF: 005.799.550-87 E-mail: goedert@unb.br
(Examinador interno)**



**CRISTIANO NUNES GONÇALVES, Doutor.
(CNPq/MCT), CPF: 538.878.401-00 E-mail: nunesg@cnpq.br
(Examinador externo)**

BRASÍLIA/DF, 27 de MARÇO de 2006.

FICHA CATALOGRÁFICA

Serra, Desirée Duarte

Avaliação da disponibilidade de nitrogênio para o milho (*Zea mays*) em solo do Distrito Federal. / Desirée Duarte Serra; orientação de Sebastião Alberto de Oliveira. – Brasília, 2006.

90 p. : il.

Dissertação de Mestrado (M) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2006.

1. Nitrogênio. 2. Solo. 3. Milho. 4. Extratores. I. Oliveira, S. A. de. II. Dr.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SERRA, D. D. **Avaliação da disponibilidade de nitrogênio para o milho (*Zea mays*) em solo do Distrito Federal.** Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2006, 93 p. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Desirée Duarte Serra

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Avaliação da disponibilidade de nitrogênio para o milho (*Zea mays*) em solo do Distrito Federal.

GRAU: Mestre

ANO: 2006

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Desirée Duarte Serra

CPF: 874306651/87

Telefone: (61) 32023384

E-mail: deserra@terra.com.br

Aos meus pais:

Walkíria e Antônio Carlos;

Ofereço

*Ao meu esposo Rodrigo e
ao meu querido filho Vítor;*

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por conceder-me perseverança e força nos momentos difíceis para concretizar esse trabalho.

À Universidade de Brasília, especialmente à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, pela oportunidade concedida para a realização do curso.

Ao Laboratório de Química do Solo (Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária/UnB) e, por conseguinte, ao Prof. Dr. Sebastião Alberto de Oliveira, pela orientação, compreensão, confiança, apoio e ensinamentos dispensados, além do esforço para contribuir com o meu crescimento profissional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo apoio financeiro concedido.

À Fazenda Água Limpa (UnB) e principalmente, a seus funcionários, pelo importante auxílio durante toda a condução do experimento.

Aos Laboratórios de Microbiologia, de Análise de Alimentos e de Sementes (Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária/UnB), e seus respectivos técnicos responsáveis, pelo apoio prestado.

À minha família, em especial ao meu marido Rodrigo e ao meu filho Vítor, pela paciência e compreensão quando dos momentos em que estive ausente, e que foram a inspiração para a conclusão deste trabalho.

Ao colega e funcionário da Syngenta, Jones Santos, pela disponibilização de material para a condução do experimento.

Aos colegas de curso Inara Barbosa, Thaís Coser, Anderson Cordeiro, Marina Rolim Bilich, Maria Fernanda Meneghin, Lídia Diniz, Leonice França, Cristhian Ferreira, Márcia Kaneco pelo constante apoio, amizade e estímulo durante todo o curso.

A todos os professores do Curso de Pós Graduação em Solos da UnB pelos ensinamentos, amizade e sugestões.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste projeto.

ÍNDICE

| Capítulos/Sub-capítulos | Página |
|--|---------------|
| INTRODUÇÃO GERAL | 1 |
| REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 5 |
| Fatores que afetam a disponibilidade de N no solo | 5 |
| Umidade | 5 |
| Clima | 7 |
| Lixiviação | 7 |
| Textura | 8 |
| Profundidade do solo | 9 |
| Matéria Orgânica | 11 |
| Atividade Microbiana | 14 |
| Avaliação da disponibilidade de N no solo | 15 |
| Métodos químicos para avaliação de N no solo | 16 |
| Método de extração com KMnO_4 em meio alcalino | 17 |
| Método de extração com KMnO_4 em meio ácido | 18 |
| Método de extração com NaHCO_3 | 19 |
| Método de extração com KCl | 19 |
| Método de extração com CaCl_2 | 20 |
| Método de extração com solução de Na_3PO_4 /bórax (tampão pH=11,2) | 20 |
| Método de extração com H_2O_2 | 21 |
| Resposta do milho à adubação nitrogenada | 21 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 26 |
| CAPÍTULO ÚNICO | 40 |
| AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE NITROGÊNIO PARA O MILHO (<i>Zea mays</i>) EM SOLO DO DISTRITO FEDERAL. | |
| RESUMO | 41 |
| ABSTRACT | 42 |
| INTRODUÇÃO | 43 |
| OBJETIVOS | 45 |
| MATERIAL E MÉTODOS | 45 |
| LOCAL DO EXPERIMENTO | 45 |

| | |
|--|----|
| CARACTERIZAÇÃO DO SOLO | 45 |
| TESTE DE CALIBRAÇÃO | 47 |
| RESPOSTA DO MILHO À ADUBAÇÃO NITROGENADA | 49 |
| ANÁLISE ESTATÍSTICA | 50 |
| DOSE ECONÔMICA | 50 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO | 51 |
| TESTE DE CALIBRAÇÃO | 51 |
| ANÁLISE DE NITROGÊNIO NOS GRÃOS | 65 |
| RESPOSTA DO MILHO À ADUBAÇÃO NITROGENADA | 72 |
| CONCLUSÕES | 78 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 79 |

ÍNDICE DE TABELAS

| TABELA | Página |
|---|---------------|
| Tabela 1. Caracterização química e granulométrica do solo da área experimental (FAL-UnB), e quantidade de calcário (PRNT = 100%) para elevar a saturação por bases a 50%. | 46 |
| Tabela 2. Valores médios de N (mg kg^{-1}), em diferentes formas, extraído do solo, para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm (média de quatro repetições). | 51 |
| Tabela 3. Coeficientes de determinação (R^2) obtidos a partir de regressão múltipla entre a produtividade da cultura milho (kg ha^{-1}) e o N (mg kg^{-1}) extraído do solo pelos diferentes extratores, para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm. | 63 |
| Tabela 4. Produtividade do milho em função das doses de N aplicadas (média de quatro repetições). | 74 |
| Tabela 5. Valor, em dólar, do milho e do fertilizante nitrogenado (Preços referentes a janeiro/2006 - U\$ 1 = R\$ 2,28). | 76 |
| Tabela 6. Doses econômicas e níveis críticos fisioeconômicos de N para o milho, a partir de três relações preço do quilograma de N (x)/preço do quilograma do milho (w). | 76 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| FIGURA | Página |
|---|--------|
| Figura 1. Imagem da área experimental, Fazenda Água Limpa – UnB (Fonte: http://earth.google.com/). | 46 |
| Figura 2. Produtividade da cultura do milho em função do N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, na prof. 0-20 cm, extraído com KCl 1N. | 52 |
| Figura 3. Produtividade da cultura do milho em função do N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, na prof. 20-40 cm, extraído com KCl 1N. | 52 |
| Figura 4. Produtividade da cultura do milho em função do N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, na prof. 0-20 cm, extraído com $\text{H}_2\text{O}_2/\text{MnO}_2$. | 54 |
| Figura 5. Produtividade da cultura do milho em função do N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, na prof. 20-40 cm extraído com $\text{H}_2\text{O}_2/\text{MnO}_2$. | 54 |
| Figura 6. Produtividade da cultura do milho em função do N (NH_4^+) no solo, na prof. 0-20 cm, extraído com solução tampão pH=11,2. | 55 |
| Figura 7. Produtividade da cultura do milho em função do N (NH_4^+) no solo, na prof. 20-40 cm, extraído com solução tampão pH=11,2. | 55 |
| Figura 8. Produtividade da cultura do milho em função do N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, na prof. 0-20 cm, extraído com solução tampão pH = 11,2 + NO_3^- . | 56 |
| Figura 9. Produtividade da cultura do milho em função do N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, na prof. 20-40cm, extraído com solução tampão pH = 11,2 + NO_3^- . | 56 |
| Figura 10. Produtividade da cultura do milho em função do N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, na prof. 0-20 cm, extraído com KCl 2M. | 57 |
| Figura 11. Produtividade da cultura do milho em função do N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, na prof. 20-40 cm, extraído com KCl 2M. | 57 |
| Figura 12. Teores de N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, extraídos com KCl 1N, em função das doses de adubo nitrogenado aplicada, na prof. 0-20cm. | 58 |
| Figura 13. Teores de N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, extraídos com KCl 1N, em função das doses de adubo nitrogenado aplicada, na prof. 20-40 cm. | 58 |
| Figura 14. Teores de N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, extraídos com $\text{H}_2\text{O}_2/\text{MnO}_2$, em função das doses de adubo nitrogenado aplicada, na prof. 0-20 cm. | 59 |

| | |
|--|----|
| Figura 15. Teores de N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, extraídos com $\text{H}_2\text{O}_2/\text{MnO}_2$, em função das doses de adubo nitrogenado aplicada, na prof. 20-40 cm. | 59 |
| Figura 16. Teores de N (NH_4^+) no solo, extraídos com solução tampão pH = 1,2, em função das doses de adubo nitrogenado aplicada, na prof. 0-20 cm. | 60 |
| Figura 17. Teores de N (NH_4^+) no solo, extraídos com solução tampão pH= 11,2, em função das doses de adubo nitrogenado aplicada, na prof. 20-40 cm. | 60 |
| Figura 18. Teores de N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, extraídos com solução tampão pH = 11,2 + NO_3^- , em função das doses de adubo nitrogenado aplicada, na prof. 0-20 cm. | 61 |
| Figura 19. Teores de N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, extraídos com solução tampão pH = 11,2 + NO_3^- , em função das doses de adubo nitrogenado aplicada, na prof. 20-40 cm. | 61 |
| Figura 20. Teores de N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, extraídos com KCl 2M em função das doses de adubo nitrogenado aplicada, na prof. 0-20 cm. | 62 |
| Figura 21. Teores de N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, extraídos com KCl 2M em função das doses de adubo nitrogenado aplicada, na prof. 20-40 cm. | 62 |
| Figura 22. Teores de N nos grãos (da kg^{-1}) em função dos teores de N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, extraídos com KCl 1 N, na prof. 0-20 cm. | 66 |
| Figura 23. Teores de N nos grãos (da kg^{-1}) em função dos teores de N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, extraídos com KCl 1 N, na prof. 20-40 cm. | 66 |
| Figura 24. Teores de N nos grãos (da kg^{-1}) em função dos teores de N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, extraídos com $\text{H}_2\text{O}_2/\text{MnO}_2$, na prof. 0-20 cm. | 67 |
| Figura 25. Teores de N nos grãos (da kg^{-1}) em função dos teores de N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, extraídos com $\text{H}_2\text{O}_2/\text{MnO}_2$, na prof. 20-40 cm. | 67 |
| Figura 26. Teores de N nos grãos (da kg^{-1}) em função dos teores de N (NH_4^+) no solo, extraídos com solução tampão pH=11,2, na prof. 0-20 cm. | 68 |
| Figura 27. Teores de N nos grãos (da kg^{-1}) em função dos teores de N (NH_4^+) no solo, extraídos com solução tampão pH =11,2, na prof. 20-40 cm. | 68 |

| | |
|--|----|
| Figura 28. Teores de N nos grãos (da kg^{-1}) em função dos teores de N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, extraídos com solução tampão $\text{pH}=11,2 + \text{NO}_3^-$ na prof. 0-20 cm. | 69 |
| Figura 29. Teores de N nos grãos (da kg^{-1}) em função dos teores de N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, extraídos com solução tampão $\text{pH}=11,2 + \text{NO}_3^-$ na prof. 20-40 cm. | 69 |
| Figura 30. Teores de N nos grãos (da kg^{-1}) em função dos teores de N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, extraídos com KCl 2M, na prof. 0-20 cm. | 70 |
| Figura 31. Teores de N nos grãos (da kg^{-1}) em função dos teores de N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, extraídos com KCl 2M, na prof. 20-40 cm. | 70 |
| Figura 32. Teores de N nos grãos de milho em função das diferentes doses de adubação nitrogenada (média de quatro repetições). | 71 |
| Figura 33. Produtividade da cultura do milho em função dos teores de N nos grãos (média de quatro repetições). | 72 |
| Figura 34. Produtividade da cultura do milho em função das diferentes doses de N aplicadas ao solo (média de quatro repetições). | 73 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| ANEXO | Página |
|---|---------------|
| Anexo 1. Croqui da área experimental, definindo blocos e parcelas. | 89 |
| Anexo 2. Atividades desenvolvidas durante o período experimental: 1) Preparo da área; 2) Emergência das plântulas; 3) Retirada amostras de solo (V3); 4) Vista geral; 5) K em cobertura (V6); 6) Controle lagarta do cartucho; 7, 8, 9) Vista geral; 10) Pré-colheita; 11) Colheita; 12) Análises laboratoriais. | 90 |

AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE NITROGÊNIO PARA O MILHO (*Zea mays*) EM SOLO DO DISTRITO FEDERAL.

RESUMO

Ao contrário do que ocorre com os outros macronutrientes primários, a análise de solo não fornece parâmetros seguros para prever as respostas à aplicação de nitrogênio. Com o objetivo de realizar o estudo de calibração do nitrogênio do solo, por meio de diferentes extratores químicos para o milho, foi instalado um experimento em um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa, no ano agrícola 2004/2005, na Fazenda Água Limpa/UnB. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com seis tratamentos de N (0-70-140-210-280-350 kg ha⁻¹). Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, as quais foram utilizadas no teste de calibração. Dentre os extratores químicos testados, os que apresentaram maior correlação com a produtividade do milho foram: H₂O₂/MnO₂ (R² = 0,821⁺); KCl 2M (R² = 0,788⁺) e solução tampão pH = 11,2 + NO₃⁻ (R² = 0,775⁺), sendo o método da solução tampão pH = 11,2 + NO₃⁻ o mais recomendado para análise de rotina, por ser um método rápido e simples. As menores correlações observadas foram para o NO₃⁻ + NH₄⁺ trocável, extraído pelo KCl 1N (R = 0,718), indicando que quando analisado individualmente, não é o índice mais apropriado para fins de adubação nitrogenada. A produtividade do milho foi afetada positivamente pela adubação nitrogenada, com rendimentos crescentes até 210 kg N ha⁻¹. A dose econômica de N, considerando a relação preço do N/preço do produto de 11/1 até 9/1, variou de 56 kg N ha⁻¹ até 83 kg N ha⁻¹, respectivamente.

Palavras-chave: análise de solo, adubação nitrogenada, *Zea mays*, teste de calibração.

EVALUATION OF NITROGEN AVAILABILITY FOR MAIZE (*Zea mays*) IN SOIL OF THE FEDERAL DISTRICT.

ABSTRACT

Different from other macronutrients, soil analysis does not supply safe parameters to foresee the answers to nitrogen fertilization. The purpose of this work was to carry through the study of calibration of soil nitrogen extracted by chemical extractors, for maize. An experimental trial was set up in a Dark Yellow Latosol, in agricultural year 2004/2005, at Água Limpa Farm/UnB. A randomized block design was used, with six treatments of N (0-70-140-210-280-350 kg ha⁻¹). Samples of soil were collected, in the depths of 0-20 cm and 20-40 cm, which was used in the calibration test. The following extractors showed the highest correlation with the productivity of the maize: H₂O₂/MnO₂ (R² = 0,821⁺); KCl 2M (R² = 0,788⁺) and buffer solution pH = 11,2 + NO₃⁻ (R² = 0,775⁺). Buffer solution pH = 11,2 + NO₃⁻ is the most recommended method for routine analysis, because it is simple and fast. Maize productivity was affected positively by nitrogen fertilization, with increasing incomes up to 210 kg N ha⁻¹. The economic dose of N, considering the relation price of N/price of the product 11/1 to 9/1, varied of 56 kg N ha⁻¹ up to 83 kg N ha⁻¹, respectively.

Key words: soil analysis, nitrogen fertilization, *Zea mays*, calibration test

INTRODUÇÃO GERAL

A matéria orgânica do solo (MOS) é um fator determinante da fertilidade e produtividade agrícola. O clima, o tipo, o uso e o manejo do solo influenciam os fatores físicos, químicos e biológicos que controlam a dinâmica da matéria orgânica (Basanta, 2004).

A MOS consiste na mistura de resíduos de plantas e de animais em vários estágios de decomposição, de substâncias sintetizadas microbiologicamente e ou quimicamente a partir do decaimento de produtos e de corpos de microrganismos vivos e mortos e de pequenos animais, e suas obras em decomposição (Schnitzer & Khan, 1972). Segundo Christensen (1992), a matéria orgânica é formada por substâncias muito heterogêneas intimamente associadas aos componentes inorgânicos do solo.

A decomposição da MOS é de fundamental importância para o desenvolvimento vegetal, pois mediante esse processo ocorre o fornecimento de macro e micronutrientes às plantas (Oliveira, 1987).

Dentre os macronutrientes, o nitrogênio é o nutriente absorvido em maiores quantidades pela maioria das culturas (Malavolta et al., 1989). Segundo Black (1975) e Malavolta (1977), a deficiência de nitrogênio no solo é o principal fator limitante do crescimento das plantas, pois estas o necessitam em grandes quantidades.

Os resíduos culturais são decompostos pelos microrganismos do solo que, dependendo da qualidade destes resíduos e das condições ambientais, mineralizam nitrogênio, que pode ser utilizado pelas plantas (Bartholomew, 1965).

A principal fonte de N no solo é a matéria orgânica e a maioria dos solos agrícolas contém toneladas de N orgânico em seus perfis (Figueiredo, 2003). No entanto, a maior parte deste N não está disponível para as plantas (Urquiaga & Zapata, 2000). Argenta et al. (2002) afirmam que a quantidade de N que é disponibilizada para as plantas de milho a partir da matéria orgânica depende muito do ambiente, o qual altera a resposta do rendimento de grãos à aplicação de fertilizante nitrogenado. Entretanto, grande parte das recomendações de adubação nitrogenada para as culturas baseia-se na expectativa de rendimento de grãos e no teor de matéria orgânica do solo. Elas são fundamentadas na hipótese de que a matéria orgânica irá liberar N em tempo hábil para o uso da planta, além do N fornecido pelos fertilizantes, satisfazendo, assim, as necessidades das culturas (Amado, 1997).

Rico & Datta (1982), em trabalho sobre absorção de N utilizando ^{15}N em 44 variedades de arroz, observaram que com o desenvolvimento das plantas, decresce a absorção de N

proveniente do fertilizante, ao mesmo tempo que aumenta a absorção de N proveniente da matéria orgânica do solo. No início da formação das panículas, mais de 60% do N absorvido era proveniente da fração orgânica do solo.

Desta forma, a utilização da matéria orgânica como parâmetro único para recomendar a adubação nitrogenada é insuficiente, pois, apesar de ser importante fonte de N para as plantas, é necessário que este nutriente seja liberado nas formas minerais (NH_4^+ e NO_3^-) para absorção pelas plantas (Anghinoni, 1986). No solo, em torno de 95% do N está na forma orgânica (não disponível) e apenas 5% na forma mineral (disponível) (Keeney, 1982b). Segundo Mengel (1996), a maior parte do N presente no solo é resistente à mineralização, e a absorção de N pelas culturas leva ainda a uma disponibilidade ainda menor do N mineralizável.

Além da quantidade de N limitada na matéria orgânica, outros processos importantes que governam o ciclo de N no solo são a mineralização e a imobilização (Argenta & Silva, 1999). A disponibilidade na rizosfera do nitrogênio das proteínas, aminoácidos, ácidos nucléicos e nucleotídeos constituintes dos resíduos vegetais dependem do balanço entre a quantidade de nitrogênio mineralizada e imobilizada durante o processo de decomposição.

É necessário conhecer a natureza e a dinâmica da matéria orgânica do solo para poder prever o comportamento dos fertilizantes e dos resíduos adicionados ao solo (Christensen, 1992). As dinâmicas das interações de N-fertilizante com N do solo são complexas e a influência de diferentes práticas de manejo do solo nessas dinâmicas ainda não é bem entendida (McCarty et al., 1995).

Scivittaro et al. (2003) afirmam que uma fração significativa do N proveniente de adubos verdes e minerais não é aproveitada pelas plantas, podendo permanecer no solo e ser utilizada por cultivos posteriores, ou ainda, ser perdida no sistema solo-planta. A determinação da dinâmica do N incorporado ao sistema, bem como sua mensuração, são fundamentais ao estabelecimento de práticas de manejos que permitam maximizar a eficiência de uso de adubos verdes e minerais como fonte de N para as culturas, contribuindo para a sustentabilidade do sistema produtivo.

Na maioria dos países em que a agricultura está em estágios mais avançados, o uso do teor de matéria orgânica do solo como parâmetro indicador do nível de N no sistema solo/planta durante a estação de cultivo está sendo substituído por outros que indicam o nível de N no solo (Argenta, 2001).

Em geral, parâmetros do solo predizem com maior segurança a quantidade de N a ser aplicada e, os da planta, a época de aplicação deste nutriente (Waskom et al., 1996; Sunderman et al., 1997; Schröder et al., 2000). Entre os parâmetros de planta, as medidas

relacionadas à folha (massa seca, área foliar) e a intensidade de cor verde do dossel parecem ser mais adequadas para a decisão sobre a quantidade de N a ser aplicada em relação aos testes de N no tecido, devido à menor variação entre os valores obtidos (Schröder et al., 2000). Além disso, os testes que determinam o teor de N no tecido vegetal possuem a desvantagem de não possibilitar correção da deficiência deste nutriente no mesmo ano agrícola, sendo apenas úteis para identificar se houve falta ou excesso desse nutriente em um determinado estágio de desenvolvimento.

Entre os parâmetros de solo utilizados como indicadores do nível de N estão os testes de capacidade e de intensidade (Schröder et al., 2000). Os testes de capacidade levam em consideração, para estimar a disponibilidade de N, parâmetros ambientais, o histórico da área e as propriedades do solo (Klausner et al., 1993). Já os testes de intensidade baseiam-se na quantidade de N mineral presente no solo, por meio de testes de pré-semeadura (Schröder et al., 2000), de pré-aplicação de N em cobertura (Binford et al., 1992), e de pós-colheita (Sims et al., 1995).

No Sul do Brasil, a recomendação de adubação nitrogenada apresentou melhoria expressiva recentemente (Rambo et al., 2004), passando a considerar a cultura anterior ao milho (N mineralizado ou N imobilizado), em adição ao teor de matéria orgânica do solo e à expectativa de rendimento de grãos (Amado et al., 2002). Considerando o sistema de recomendação como em constante aperfeiçoamento, a inclusão de parâmetros complementares de solo e de planta que permitam o monitoramento da disponibilidade deste nutriente durante o ciclo da cultura é uma melhoria potencial, visando maior precisão das doses recomendadas, bem como maior flexibilidade do manejo do N na cultura do milho (Argenta, 2001).

Contudo, ao contrário do que ocorre com os outros macronutrientes primários, a análise de solo não fornece parâmetros seguros para prever as respostas à aplicação de nitrogênio. Embora se calcule que pelo menos metade do nitrogênio absorvido pela planta de milho provenha do solo em culturas adubadas com até cerca de 100 kg ha⁻¹ (Büll & Cantarella, 1993), não há métodos seguros para avaliar a contribuição do solo. Reis et al. (2005) considera que ainda não existe um método capaz de avaliar satisfatoriamente a disponibilidade de nitrogênio no solo para as plantas, devido à maior parte desse elemento se encontrar sob a forma orgânica, tornando-se necessário trabalhos de pesquisa para estabelecer curvas de resposta em relação a várias doses de nitrogênio (Barbosa Filho, 1987).

Oliveira (1987), em criterioso trabalho de correlação, onde foram testados diversos extratores químicos, utilizando o trigo (*Triticum aestivum*) como planta indicadora do N

absorvido, observou que os extratores mais promissores, em ordem decrescente, foram: KCl 2N 100°C, H₂O₂/MnO₂, tampão fosfato-borato pH=11,2, KCl 2N/tampão fosfato-borato pH=11,2. Constatou também, no trabalho de calibração, que os teores de N (mineral e orgânico) do solo extraídos com diferentes extratores químicos, a duas profundidades, apresentaram altos coeficientes de correlação com a produtividade de grãos.

Aliado a complexidade das transformações do nitrogênio no solo, as quais, via de regra, resultam no baixo aproveitamento do nitrogênio dos fertilizantes pelas plantas, devemos considerar também os aspectos econômicos, visto que dentre os macronutrientes primários (N, P e K), o nitrogênio é o que apresenta, comparativamente, o custo mais elevado, e por essa razão, o aumento da eficiência da adubação nitrogenada é fundamental para o sucesso da exploração agrícola.

Os objetivos do presente trabalho foram realizar o estudo de calibração do nitrogênio do solo, por meio de diferentes extratores químicos para o milho; a obtenção de curvas de resposta do milho ao N; análise dos teores de nitrogênio nos grãos; além do cálculo da dose econômica e dos níveis críticos deste nutriente no solo.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O nitrogênio ocupa uma posição de destaque dentre os nutrientes essenciais para o crescimento das plantas. Seu estudo no solo abrange a distribuição e transformação das formas orgânicas e inorgânicas, como também a inter-relação existente com a atmosfera e a biosfera (Stevenson, 1982a). As informações referentes às quantidades de nitrogênio nos solos são baseadas no fato de que mais de 98% do nitrogênio total está na forma orgânica e o restante nas formas inorgânicas (Bremner, 1965). Entretanto, as formas orgânicas de N podem ser mineralizadas para tornarem-se disponíveis às plantas.

Fatores que afetam a disponibilidade de N no solo

A dinâmica do nitrogênio no solo, a longo prazo, não tem sido suficientemente estudada, e sua dinâmica a curto prazo é difícil de prever, uma vez que dependendo de diversos fatores, pode haver uma determinada quantidade de nitrogênio mineral no solo, a um dado momento (Raij, 1991).

O nitrogênio do solo, ao contrário dos demais nutrientes, está em constantes transformações, por ser bastante dinâmico, dificulta uma avaliação precisa de sua disponibilidade (Oliveira, 1987). De acordo com Figueiredo (2003), o nitrogênio possui grande instabilidade no solo, e por isso pode sofrer uma série de reações. Essas reações podem conduzi-lo a diferentes formas, dependendo das propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo.

Ao longo das diferentes reações e transformações em que o N toma parte no solo, este nutriente encontra-se numa concentração que expressa um equilíbrio entre as reações decorrentes da ação da microbiota e das condições ambientais (BNDE/ANDA, 1974).

Dentre os principais fatores que afetam a disponibilidade de N no solo, podem ser citados: umidade, clima, lixiviação, profundidade do solo, matéria orgânica e atividade microbiana.

Umidade

Sanchez (1981) afirma que a umidade talvez seja o fator dominante que mais afeta a constante de mineralização do nitrogênio nos solos tropicais.

O efeito da umidade sobre as mudanças no nitrogênio é função dos processos químicos, físicos e biológicos, pois a umidade afeta a amonificação, nitrificação, desnitrificação, movimento de nitratos e imobilização (Sousa, 1993). Em solos arenosos, o excesso de água

pode lixiviar rapidamente o nitrogênio inorgânico para além da zona das raízes, sendo que o processo da lixiviação é mais pronunciado em solos arenosos do que em solos argilosos (Jones, 1942).

Em solos de cerrado foi verificada ausência do N inorgânico ao longo do período seco do ano, mas com o início do período chuvoso, houve aumento do N inorgânico, indicando a importância da umidade do solo para os processos de mineralização (BNDE/ANDA, 1974).

De acordo com Alexander (1961) os microrganismos do solo responsáveis pela nitrificação são bastante sensíveis à variação da umidade do solo, e a maior atividade se verifica a um teor de umidade equivalente a dois terços da capacidade de campo.

Oliveira (1987), trabalhando com solos de Cerrado em condições de campo, observou que o nitrogênio mineralizado durante vinte e seis semanas apresentou um comportamento bastante variável. Até a sexta semana, dezessete dos vinte solos estudados apresentaram uma tendência ao aumento deste nitrogênio. Da sexta até a vigésima semana, a maioria dos solos apresentou uma tendência de diminuição do nitrogênio mineralizado, voltando a aumentar até a vigésima sexta semana. A variabilidade observada a partir da sexta semana foi ocasionada por uma possível diminuição da atividade microbiana, devido às variações na umidade e temperatura do solo, em condições de campo (Eno, 1960). No teste de incubação em laboratório, pelo fato de o nitrogênio inicial ter sido lixiviado, e a temperatura e umidade mantidas constantes, a massa microbiana, sob condições energéticas e nutricionais desfavoráveis, apresentou uma maior eficiência na decomposição da matéria orgânica e mineralização do nitrogênio. O mesmo não ocorre, provavelmente, em condições de campo (Oliveira, 1987).

Justice & Smith (1962) trabalhando com tensões de umidade variando de 0,3 a 10 bars não observaram nenhum efeito sobre a capacidade de mineralização de N do solo. Este resultado discorda dos obtidos por Robison (1957), Miller & Johnson (1964), Reichman et al. (1966), Stanford & Epstein (1974) e Cassmann & Munns (1980), os quais encontraram efeito da umidade do solo no nitrogênio no intervalo de 0,2 a 15 bars, tendo a máxima constante de mineralização ocorrido à capacidade de campo.

Segundo Cavalli & Rodriguez (1975), a capacidade de mineralização do solo está associada com a umidade relativa do mesmo através da equação:

$$Y = -0,138 + 1,11 (\theta/\theta_0)$$

Onde:

Y = mineralização relativa do nitrogênio;

θ = umidade atual do solo (%);

θ_0 = umidade na capacidade de campo (%).

Clima

O clima influencia o teor de nitrogênio no solo na medida em que a temperatura e a chuva afetam o desenvolvimento das plantas e a atividade dos microrganismos (Malavolta, 1976).

De acordo com Senstius (1958) e Scarsbrook (1965) a diminuição na temperatura reduz a disponibilidade de nitrogênio devido à diminuição da atividade microbiana. Algumas estimativas reportam que para cada aumento de 10 °C na temperatura do solo ocorre uma diminuição de duas a três vezes na concentração de N.

A precipitação pluviométrica inicialmente aumenta o conteúdo de nitrogênio até um determinado limite, devido provavelmente à maior decomposição dos resíduos vegetais e à fixação biológica do nitrogênio (Sousa, 1993). Porém, se o fornecimento de água exceder ao necessário para a máxima produção de matéria vegetal, o aumento no teor de nitrogênio pode ser devido à diminuição na velocidade de decomposição da matéria orgânica, como acontece em solos orgânicos desenvolvidos sob encharcamento (Malavolta, 1976).

A capacidade de mineralização de N dos solos é profundamente influenciada pela temperatura normalmente encontrada nas condições de campo, a qual pode variar de 0°C a 45°C (Stanford et al., 1973), sendo que a nitrificação cessa a 45°C, enquanto o processo da amonificação continua (Harmsen & Kollenbrander, 1965).

Os efeitos da temperatura e da umidade no teor de nitrogênio são descritos pela equação:

$$N = 0,55 e^{-0,8t} (1 - e^{-0,005h})$$

Onde:

N = % de nitrogênio;

t = temperatura média anual (°C);

h = fator de umidade = precipitação média anual (mm) dividida pelo déficit absoluto (mm de mercúrio) de saturação água-vapor = medida da precipitação efetiva.

Lixiviação

A baixa capacidade de adsorção de NO_3^- e NH_4^+ pelos solos, associados às condições de elevada precipitação, ocasiona a lixiviação do nitrogênio para as camadas subsuperficiais do

solo. Nessa situação, o deslocamento do N no perfil do solo é potencializado e a capacidade da planta em recuperar esse nutriente, diminuída (Corsi et al., 2000).

Verdade (1951), em observações realizadas em Terra Roxa Misturada, constatou variações para um mesmo local de 2 a 460 kg NO₃⁻ ha⁻¹ ano⁻¹, em trabalho cujo objetivo foi demonstrar a acentuada lixiviação de nitrato nos solos.

Chiang et al. (1983), em solos podzolizados arenosos, observaram que o aumento da precipitação intensifica a formação de NH₄⁺ na camada arável, ocasionando, ao mesmo tempo, a lixiviação de NO₃⁻. Esta acentuada lixiviação de nitrato é o principal fator responsável pela baixa eficiência de aproveitamento (11 a 36%) dos fertilizantes nitrogenados para o feijoeiro cultivado em Terra Roxa Estruturada (Neptune & Muraoka, 1978).

Martha Jr. (1999) e Oliveira (2001) verificaram que as perdas por lixiviação, conforme indicado pela presença de ¹⁵N em diferentes profundidades do solo, não são significativas em ambientes de pastagens bem manejadas. Esses estudos indicaram perdas inferiores a 5% do N proveniente do fertilizante, em profundidades ao redor de 30 cm. Esses baixos níveis de perdas por lixiviação justificam-se pelo fato de que os solos sob pastagem, de maneira geral, são profundos e vegetados por plantas forrageiras de elevada capacidade de extração de nutrientes (Martha Jr. & Vilela, 2002).

Textura

O material de origem influencia a textura do solo, e em algumas zonas climáticas, desde que a vegetação e a topografia sejam constantes, o conteúdo de matéria orgânica e de nitrogênio depende das propriedades texturais (Stevenson, 1982b).

Chiang et al. (1983) observaram que solos arenosos (7,6% de argila) apresentam uma maior constante de mineralização e 94 mg kg⁻¹ de nitrogênio potencialmente mineralizável. Solos argilosos (43,5% de argila), por sua vez, obtiveram menor constante de mineralização e N potencialmente mineralizável de 166 mg kg⁻¹. A menor constante de mineralização dos solos argilosos deve-se à formação de compostos organo-silicatados estáveis, dificultando a atividade microbiana. Desta forma, os solos argilosos apresentam uma maior capacidade de suprimento de N para as plantas (maior poder tampão nitrogenado). E por apresentarem uma maior CTC, o nitrogênio mineral não facilmente lixiviado também é maior, quando comparado aos solos arenosos (Oliveira, 1987).

Watson e Parsons (1974) estudaram a distribuição de carbono e nitrogênio nas frações organominerais da superfície de cinco solos, e constataram que em três dos cinco solos analisados, houve um aumento do nitrogênio orgânico à medida que diminuía o tamanho das

partículas. O nitrogênio total segue o mesmo padrão, sendo observado os seguintes valores percentuais médios: areia (0,1%), silte (0,8%) e argila (0,9%), sugerindo um enriquecimento de nitrogênio nos componentes orgânicos da fração silte e argila.

Profundidade do solo

Segundo Oliveira (1987), a profundidade do solo influencia a disponibilidade de nitrogênio através dos fatores: posição topográfica, gradiente textural e manejo do solo.

Solos litólicos de relevo fortemente ondulado apresentam uma maior facilidade de perdas de nitrogênio por arraste lateral da água, em relação aos solos de relevo plano a ondulado, devido à pouca profundidade da rocha matriz, que impede a infiltração da água de percolação. Solos de gradiente textural areia/muito argilosa apresentam lixiviação de nitrogênio menos pronunciada, em relação a solos de gradiente textural areia/média, para uma mesma posição geográfica.

A topografia pode exercer influência nas concentrações de N no solo por meio da formação de micro-climas que podem condicionar o regime de evapotranspiração local. A declividade do terreno que rege o escoamento superficial de água e a posição do lençol freático podem atuar na dinâmica de água do solo, principalmente na geração de ambientes redutores que podem estimular as perdas do nutriente.

Gonçalves e Benedetti (1997), em experimento com eucalipto verificaram que para todos os tratamentos testados, as maiores taxas de mineralização (amonificação + nitrificação) ocorreram na camada 0-5 cm do solo, indicando a maior atividade dos organismos mineralizadores da matéria orgânica nesta camada. De modo geral, quanto maior a profundidade de amostragem, menores foram as taxas de mineralização de N.

Urquiaga et al. (1984) observaram em um solo Terra Roxa Estruturada, em experimento de feijoeiro, que 71% do nitrogênio existente no solo proveniente do fertilizante encontrava-se a uma profundidade de 0-30 cm, 21% na profundidade de 30-60 cm e o restante (8%) na profundidade de 60-120 cm.

Keeney (1982a) afirma que a lixiviação de nitrogênio para camadas inferiores do perfil torna necessário que a amostragem de terra seja feita a maiores profundidades que a da camada arável.

Em solos de cerrado existe uma quantidade apreciável de N nítrico acumulada no subsolo, tanto em solos virgens como em solos cultivados (Oliveira, 1987). Em experimento com milho durante nove anos, em um Latossolo Vermelho-Amarelo muito argiloso, observou-se o acúmulo de nitrato na profundidade de 180-300 cm, enquanto que o mesmo

solo virgem, ou cultivado apenas um ano com soja, apresentaram duas zonas de acúmulo: uma a 0-30 cm de profundidade, e a outra na profundidade de 90-160 cm (Embrapa, 1982).

O nitrogênio existente no subsolo pode ser absorvido pelas plantas mediante o uso de práticas culturais que promovam um maior desenvolvimento radicular, como a calagem mais profunda e aplicação de gesso, e/ou de fertilizante superfosfato simples (Couto & Richey, 1986; Sousa et al., 1986).

Silva (1999), estudando a distribuição do carbono e nitrogênio em solos sob diferentes sistemas de manejo, verificou que, independentemente da área analisada, havia um decréscimo das relações C/N do solo à medida que se passava das frações grosseiras para as mais finas, e que os principais efeitos do cultivo nas áreas estudadas estiveram ligados a uma redução de carbono e nitrogênio associados às frações grosseiras e intermediárias e a um enriquecimento relativo desses elementos na fração fina do solo. Existem evidências de que os mecanismos ligados a tais alterações estejam associados com as diferenças entre as comunidades dos organismos decompositores do plantio convencional em relação às existentes em solos sob plantio direto.

Segundo Keeney & Bremner (1966a), o manejo do solo conduz a nítidas diminuições em todas as formas de nitrogênio, exceto em N-amônio não trocável. No entanto, os valores médios destas diminuições têm pouco efeito sobre a percentagem de distribuição do nitrogênio total. Trabalho realizado por esses autores em dez solos virgens e em seus análogos cultivados mostra que a percentagem média do nitrogênio total após o cultivo foi de 36,2% e a perda média das diferentes formas de nitrogênio, expressas como percentagem do N total perdido diminuíram na seguinte ordem: N hidrolisável (70,5%), N-aminoácido (29,8%), N não hidrolisável (29,5%), N hidrolisável não identificado (20,0%), N-amônio hidrolisável (17,1%), N-hexosamina (3,5%) e N amônio não trocável (0,5%).

Chan et al. (1992) verificaram que a redução do carbono orgânico do solo, como resultado de diferentes manejos de solo e cultura, foi acompanhada por significativas reduções no nitrogênio total e nos teores trocáveis de cálcio e de magnésio.

As alterações de manejo do solo e das espécies cultivadas podem, portanto, exercer significativas modificações na qualidade e na quantidade da matéria orgânica, na quantidade e nas formas de N no solo, principalmente no processo de mineralização de N, na eficiência no aproveitamento de fertilizantes pelas plantas e na movimentação de nutrientes para as camadas mais profundas do solo e alterando a produtividade das culturas (Vasconcellos et al., 2001)

Em avaliação da quantidade de nitrogênio imobilizado e a sua mineralização, nos sistemas plantio direto (SPD) e convencional (SC), ao longo do ciclo do milho, realizado por Vargas et al. (2005), detectou-se que a imobilização microbiana do nitrogênio foi maior no sistema plantio direto, levando a uma menor quantidade de nitrogênio mineral no solo, e resultando em menor acúmulo de nitrogênio na parte aérea do milho ao final do seu ciclo neste sistema, em comparação com o convencional. Não foi observada remineralização do nitrogênio imobilizado, indicando que a biomassa microbiana atuou mais como agente da mineralização de nitrogênio orgânico do que como fonte de nitrogênio potencialmente mineralizável.

Kristensen et al. (2000) encontraram uma relação C/N mais elevada na matéria orgânica total do solo sob plantio direto, atribuindo o fato à presença de compostos em estado menos avançado de humificação. Por outro lado, Calderón et al. (2001) afirmam que compostos com baixa relação C/N podem estar protegidos em agregados no sistema plantio direto, sendo, eventualmente mineralizados.

Diversas causas têm sido apontadas para explicar essa menor disponibilidade de nitrogênio no sistema plantio direto: maiores perdas por lixiviação e desnitrificação, menor mineralização dos resíduos da cultura anterior e do N orgânico do solo e uma maior imobilização microbiana do fertilizante nitrogenado aplicado em cobertura, além da possibilidade de interações entre alguns desses fatores (Amado et al., 2000). Mas, se por um lado a biomassa microbiana imobiliza o nitrogênio, diminuindo a sua disponibilidade para as culturas, por outro, pode se constituir em uma fonte de nitrogênio potencialmente mineralizável. Os nutrientes imobilizados pela comunidade microbiana podem atingir valores elevados, mas a sua reciclagem e liberação são mais rápidas do que as de outras frações da matéria orgânica do solo.

Matéria Orgânica

A matéria orgânica é a fração do solo formada por resíduos de plantas e animais em vários estágios de decomposição, células (vivas e mortas) e tecidos microbianos, e substâncias sintetizadas pela população do solo; e quando manejada, não apresenta a mesma estabilidade da frações minerais (Sousa, 1993). É pouco conhecida, embora seja uma das frações mais importantes para as plantas (Pereira & Peres, 1987), além de ser a principal reserva de nitrogênio (Kai et al., 1984).

O conteúdo de nitrogênio orgânico do solo é aumentado pela incorporação dos resíduos orgânicos após a colheita e adubação orgânica, e é influenciado pelos seguintes fatores:

quantidade e frequência de aplicação, qualidade do material orgânico, relação C/N, forma de incorporação, variações climáticas e atividade microbiana (Stevenson, 1982b; Mengel, 1996), e das características química e física do solo que receberá o resíduo (Chae & Tabatabai, 1986).

Se o material adicionado apresentar maior proporção de N em relação a C (baixa relação C/N), normalmente a concentração de N no solo não sofre decréscimo. Poderá ocorrer, sim, um acréscimo de N inorgânico devido à sua liberação do material que foi decomposto, processo que recebe o nome de mineralização de formas orgânicas de N.

Os microrganismos que realizam a decomposição da matéria orgânica absorvem os elementos carbono e nitrogênio na proporção de trinta partes de carbono, para uma parte de nitrogênio (C/N = 30/1) (Kiehl, 1985). Dessa forma, a utilização do carbono dos resíduos vegetais para a obtenção de energia e formação de estrutura é altamente dependente do nitrogênio daqueles resíduos, de tal forma que ele se acaba, o processo cessa. Nesse caso, muitas vezes, os microrganismos buscam o N disponível no solo, imobilizando-o na biomassa, podendo até mesmo criar situações de deficiência para as plantas (Silva, 1999).

Dentre as principais vantagens do manejo adequado da matéria orgânica, está a redução da necessidade de fertilizantes químicos, bem como o melhor aproveitamento dos nutrientes absorvidos, graças ao incremento na interação dos componentes orgânicos e minerais do solo (Pereira & Peres, 1987).

Sob condições naturais, os solos tendem a estabelecer um equilíbrio em relação ao conteúdo de nitrogênio e de carbono. Quando este equilíbrio é alterado, ocorrem mudanças, particularmente perdas, diminuindo rapidamente o nível de fertilidade. Não havendo a aplicação de fertilizantes, a mineralização da matéria orgânica, a fixação simbiótica e não simbiótica pelos microrganismos são os principais fatores no fornecimento de nitrogênio para as plantas. Geralmente o conteúdo de nitrogênio diminui e um novo equilíbrio é alcançado durante um longo período de cultivo intenso (Allison, 1973; Stevenson, 1982b).

Dados de campo mostram, ainda que indiretamente, a importância agrícola de se incorporar adubos orgânicos de baixa relação C/N. Em experimento realizado com milho em Latossolo Vermelho-Amarelo de cerrado, observou-se que a incorporação de mucuna preta (*Styrolobium aterrimum*) ocasionou um aumento na produção de 1966 kg grãos ha⁻¹, em relação à testemunha (3333 kg grãos ha⁻¹), enquanto que com a incorporação de palha de milho mais 20 kg N ha⁻¹, o incremento de produção foi de apenas 1058 kg grãos ha⁻¹ (Embrapa, 1985).

Mary et al. (1996) e Vasconcellos et al. (1999) demonstraram a importância do resíduo vegetal na remineralização do N imobilizado. Campbell et al. (1991), por outro lado, verificaram que a quantidade e a qualidade da matéria orgânica estavam associadas à quantidade de carbono e de nitrogênio que retornava ao solo via resíduo cultural. A qualidade dos resíduos de plantas adicionados ao solo pode alterar a matéria orgânica influenciando na sobrevivência de microrganismos nitrificadores ou amonificadores, em função dessas alterações físicas e químicas.

Em uma comparação entre a taxa de mineralização de N-orgânico de um solo sob pastagem com outro solo sob cultivo de sorgo, Robertson et al. (1993) verificaram maior mineralização para este último. O constante aporte de material orgânico com relação C/N larga, proveniente da morte de raízes da pastagem ("turnover" de raízes), conduz a maior atividade de microrganismos decompositores, com grande imobilização do N. Além da relação quantitativa entre C e N existente no material a ser incorporado, aspectos qualitativos podem determinar a taxa de mineralização do N-orgânico. A caracterização de relações como lignina:N e (lignina + polifenóis):N, tem possibilitado a obtenção de correlações mais estreitas com a taxa de mineralização de N-orgânico (Constantinides & Fownes, 1994).

A disponibilidade de nitrogênio no solo está também relacionada com a quantidade de matéria orgânica presente. Sahrawat (1982a), trabalhando em solos de arroz nas Filipinas, encontrou uma estreita correlação entre matéria orgânica e o nitrogênio mineralizado por incubação anaeróbica durante uma semana a 40°C.

Deng & Tabatabai (2000) observaram que a taxa de mineralização do nitrogênio é influenciada pelo tipo de resíduo cultural que está sobre o solo. O cultivo contínuo de monocultura reduz a quantidade de nitrogênio mineralizado, enquanto que a rotação aumenta essa quantidade.

Experimentos em laboratório e em casa de vegetação foram conduzidos por Sajjad et al. (2003), visando estudar as mudanças no N mineral, N húmico e N disponível às plantas durante o processo de decomposição de diferentes resíduos de plantas por diferentes períodos. A acumulação de N mineral no solo demonstrou depender das características químicas dos resíduos vegetais. Maior quantidade de N mineral foi disponibilizado em solos com resíduos vegetais com relação C/N baixa. Também observou-se que esses resíduos contribuíram em maior quantidade com o N húmico e mantiveram um elevado estoque de N potencialmente mineralizável.

Trabalho semelhante foi desenvolvido no Brasil por Demétrio (1988), onde avaliou-se o efeito da incorporação de diferentes resíduos de culturas - leguminosa feijão-bravo-do-Ceará

(*Canavalia brasiliensis*) e do capim-colonião (*Panicum maximum*) - sobre o conteúdo de C, N e frações da matéria orgânica de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo e sobre a produção de matéria seca e acúmulo de N em milho, cultivado em casa de vegetação por 102 dias. Nesse experimento, o conteúdo de C das frações alcalino-solúveis do material húmico não foi alterado, o que não se verificou na fração humina e matéria orgânica livre, com aumento no conteúdo, principalmente nos tratamentos com feijão-bravo. O conteúdo de N aumentou linearmente com a incorporação de feijão-bravo e colonião, detectando-se um aumento na fração ácido fúlvico livre com a incorporação de 40 e 60 t ha⁻¹ de feijão-bravo, quando comparado ao controle. A incorporação de feijão-bravo aumentou o teor de N do solo, proporcionando maior produção e acúmulo de N no milho, semelhante à obtida com a aplicação de 560 kg ha⁻¹ de N, demonstrando, novamente, a influência do manejo do solo e das culturas na disponibilidade de N no solo.

Basanta (2004) salienta que inúmeros estudos têm demonstrado que os diferentes resíduos das espécies normalmente utilizadas na agricultura apresentam uma concentração de C de aproximadamente 400 g kg⁻¹ (Alexander, 1977; Virgil & Kissel, 1991). Dessa forma, a relação C/N expressa o mesmo que a concentração de N (Virgil & Kissel, 1991). Ou seja, em termos de qualidade do resíduo, a concentração de nitrogênio é a principal variável que governa a dinâmica da mineralização do nitrogênio.

Atividade Microbiana

A dinâmica dos nutrientes, entre eles o nitrogênio, introduzidos através dos resíduos vegetais no sistema solo-planta, é determinada pela composição específica da comunidade de microrganismos quimio-organotróficos (Seneviratne, 2000), e da mesofauna do solo (Tian et al., 1992).

A mineralização do nitrogênio ocorre através da conversão, pelos microrganismos, das formas orgânicas de nitrogênio provenientes da matéria orgânica e da decomposição da biomassa microbiana em formas inorgânicas (NH₄⁺ e NO₃⁻).

A temperatura, aeração, umidade e propriedades químicas do solo são os principais fatores limitantes da atividade microbiana. Mesmo assim, a população microbiana do solo tem limites de adaptação maiores que as plantas superiores: podem respirar em solos bastante secos que não permitam o crescimento vegetal, como também em solos saturados com água (Black, 1975).

A atividade microbiana na rizosfera envolve respiração, amonificação, nitrificação, desnitrificação, decomposição da matéria orgânica e liberação de nutrientes. A quantidade de nitrogênio disponível para as plantas na rizosfera pode ser menor, pelo fato deste ser absorvido pelas plantas e/ou imobilizado pelos microrganismos (Correia, 1980).

Entre os fatores que influenciam o processo de nitrificação, existem aqueles que controlam as concentrações de N-NH_4^+ , N-NO_2^- e N-NO_3^- no solo. Esses são os inibidores das atividades da urease e dos microrganismos nitrificadores (Victoria et al., 1988). Alguns desses inibidores ocorrem naturalmente, provenientes da liberação de aminoácidos e de bases nitrogenadas liberadas pela decomposição da matéria orgânica do solo ou por substâncias liberadas pelas raízes de algumas plantas (Clark & Paul, 1970).

É possível que haja comportamento diferenciado de cultivares quanto à interação com a biomassa microbiana no solo, influenciando a relação $\text{N-NH}_4^+/\text{N-NO}_3^-$, tanto no seu aspecto qualitativo como quantitativo da nutrição. Também há influência da fonte de nitrogênio sobre a biomassa microbiana do solo, determinando relações $\text{N-NH}_4^+/\text{N-NO}_3^-$ distintas durante o ciclo da cultura subsequente à aplicação do resíduo vegetal. A diferença na constituição química do resíduo cultural poderia ocasionar diferentes efeitos na liberação de substâncias inibidoras da nitrificação, tendo-se, por consequência, diferenças na relação $\text{N-NH}_4^+/\text{N-NO}_3^-$ em solos tratados com diferentes resíduos (Vasconcellos et al., 2001).

Vargas et al. (2004) analisaram as alterações na estrutura da comunidade microbiana ao longo do ciclo do milho, na presença de resíduos de aveia-preta e da aplicação de nitrogênio, uma vez que a disponibilidade de resíduos de aveia-preta, com relação C/N elevada, resulta em imobilização microbiana de nitrogênio no solo, exigindo cuidados no manejo da adubação nitrogenada da cultura subsequente. A presença de resíduos de aveia-preta, no início do ciclo do milho, favoreceu a população fúngica, em ambos sistemas de manejo.

Já a aplicação de nitrogênio favoreceu a população bacteriana, resultando em diminuição das relações C/N e C/nitrogênio reativo com ninidrina (N-Nin) da biomassa microbiana e em aumento da imobilização microbiana deste nutriente.

Avaliação da disponibilidade de N no solo

O termo nitrogênio potencialmente disponível foi utilizado pela primeira vez por Purvis & Leo (1961). Este termo inclui o N hidrolisado a partir da matéria orgânica do solo e pequenas quantidades de NH_4^+ trocável que podem estar presentes no solo.

Scarsbrook (1965) define o N disponível como sendo o nitrogênio da zona radicular, proveniente de várias fontes, cuja forma química pode ser absorvida pelas raízes das plantas.

Conforme Jenkinson (1968), Stanford et al. (1973) e Stanford (1977), solos diferentes têm capacidades distintas de mineralização de N, e portanto, diferentes quantidades de N disponível. Ao se estimar a adubação nitrogenada, tanto o N inorgânico inicial como o potencialmente mineralizável deveriam ser considerados.

Segundo Mengel (1982), durante o período de crescimento das plantas, entre 20 a 50 kg ha⁻¹ de N podem ser mineralizados em solos com elevadas quantidades de N orgânico. Portanto, em tais solos o N potencialmente mineralizável deve ser incluído na avaliação do N.

A avaliação da capacidade do solo em fornecer N orgânico às plantas tem sido uma das maiores dificuldades no estudo do nitrogênio do solo (Oliveira, 1987). Uma avaliação criteriosa da disponibilidade de N no solo pode ser realizada através de métodos biológicos e químicos (Prasad, 1965; Keeney & Bremner, 1966b; Jenkinson, 1968; Smith & Stanford, 1970; Balasudaram et al., 1977; Keeney, 1982a; Sahrawat, 1982b). Diversos métodos biológicos e químicos foram propostos, entre 1940 e 1963, na tentativa de fornecer índices da disponibilidade de nitrogênio (Keeney, 1982a).

Os métodos biológicos foram gradativamente sendo substituídos pelos químicos, embora ainda sejam utilizados como padrões em estudo de correlação, e seu uso seja recomendado pela American Society of Agronomy (Gianello & Bremner, 1988). A maior restrição ao uso de extratores químicos está no fato de uma simples análise química não levar em consideração os processos de mineralização e de imobilização, os quais ocorrem concomitantemente durante a decomposição da matéria orgânica (Jenkinson, 1968).

Os resultados obtidos com os métodos biológicos são muito influenciados pelo modo e duração da estocagem das amostras de solo, o que não ocorre com os métodos químicos (Keeney & Bremner, 1966a e 1966b; Jenkinson, 1968).

Métodos químicos para avaliação de N no solo

Muitos são os métodos químicos desenvolvidos para avaliação de N disponível no solo. Keeney (1982a) apresenta uma excelente revisão bibliográfica sobre os diferentes métodos empregados para quantificar o N orgânico facilmente mineralizável e o N inorgânico.

Kai et al. (1984) criticam o uso de métodos químicos para a avaliação de N no solo, uma vez que estes métodos ignoram a atividade dos microorganismos do solo, como também a liberação seletiva das frações de N orgânico.

Gallagher & Bartholomew (1964) e Keeney & Bremner (1966b) afirmam que os métodos químicos mostram correlação mais estreita com o nitrogênio absorvido pelas plantas que os métodos biológicos.

Diversos pesquisadores (Boswell et al., 1962; Keeney & Bremner, 1966b; Gasser, 1969; Oien & Selmer-Olsen, 1980; Sahrawat, 1982b; Giroux & Sen Tran, 1987; Gianello & Bremner, 1988) concordam que apesar dos métodos químicos não levarem em consideração a atividade microbiana, as altas correlações obtidas e a rapidez nas análises justificam o uso dos mesmos.

Método de extração com KMnO_4 em meio alcalino

É o extrator mais estudado, tendo sido proposto pelo Prof. Dr. Emil Troug na década de 30 (Richard et al., 1960), e em 1950, indicado pela Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists, para a caracterização do nitrogênio orgânico dos adubos orgânicos (Subbiah & Asija, 1956).

Troug (1954) foi o primeiro pesquisador a utilizar esta solução extratora para estimar o nitrogênio orgânico do solo de fácil mineralização, chegando a propor uma tabela de adubação nitrogenada para algumas culturas. Foram utilizados os níveis críticos estabelecidos por M.M. Shibata em 1951, em sua tese de doutorado, sob a orientação do Prof. Dr. Emil Troug (Richard et al., 1960).

Segundo Stanford (1978), o KMnO_4 em meio alcalino oferece resultados mais precisos e confiáveis para o índice de N potencialmente mineralizável do que KMnO_4 /ácido. Estes resultados concordam com os obtidos por Sahrawat (1982a).

Kresge & Merkle (1957) obtiveram correlação significativa ($R = 0,89^+$) entre o N-NH_4^+ extraído com KMnO_4 /alcalino e o nitrogênio produzido por incubação aeróbica. Conforme estes autores, 10% do N total do solo é biologicamente ativo, e a acidez do solo favorece a acumulação de N orgânico ativo, enquanto que a calagem diminui a fonte de N orgânico, devido a uma maior atividade biológica.

Richard et al. (1960) encontraram uma baixa correlação ($R = 0,651$) entre o N extraído com permanganato de potássio em meio alcalino e o nitrogênio absorvido pelas plantas de milho. Resultados semelhantes foram obtidos por Peterson et al. (1960) para o tabaco. Admite-se como adequado o extrator cujo coeficiente de correlação (R) é maior ou igual a 0,71, ou seja, explica pelo menos 50% da associação entre as variáveis (Oliveira, 1987).

Dolmat et al. (1980) conseguiram extrair uma quantidade de N disponível correspondente a 16,74% do N total do solo com KMnO_4 /alcalino a quente.

O extrator KMnO_4 /alcalino tem sido recomendado na Índia para solos de arroz inundado (Sahrawat, 1982a). Sahrawat & Burford (1982) verificaram que a solução de KMnO_4 /alcalino modificado extraiu de 10 – 40% do N disponível na forma de NO_3^- , em solos sob condição de

chuva e seca pronunciadas. Os resultados mostraram que o NO_3^- deve ser incluído na análise do extrato obtido com aquela solução.

Hussain & Malik (1985b), trabalhando com trinta e cinco solos do Paquistão, e utilizando a metodologia modificada por Sahrawat & Burford (1982), que permite a inclusão de nitratos, encontraram correlações significativas com o N absorvido por plantas de trigo ($R = 0,76$), e o nitrogênio mineralizado por incubação aeróbica ($R = 0,84$).

Oliveira (1987), em trabalho realizado com solos do cerrado, constatou correlação significativa entre o N extraído com KMnO_4 /alcalino com o N mineralizado por incubação em laboratório ($R = 0,633$).

Método de extração com KMnO_4 em meio ácido

De acordo com Stanford & Smith (1978), cerca de 50% do N potencialmente mineralizável é extraído pelo KMnO_4 /ácido, sendo que o N extraído corresponde de 10 – 20% do N total do solo. Foram encontradas elevadas correlações entre o N extraído em solos calcários ($R = 0,86$) e não calcários ($R = 0,91$), com o N potencialmente mineralizável.

Hussein et al. (1984) afirmam que a extração de N do solo com KMnO_4 /ácido é um método simples e rápido para avaliação de N no solo. Em trabalho realizado em 35 tipos de solo do Paquistão ($\text{pH} = 7,4 - 7,9$), utilizando o trigo como planta teste, os autores obtiveram correlações significativas entre o N extraído em diferentes concentrações de KMnO_4 (0,05N; 0,1N e 0,2N) + H_2SO_4 1N, e o N absorvido.

Sahrawat (1982a) observou boa correlação entre o N extraído por KMnO_4 /ácido e o N liberado por incubação anaeróbica em solos de arroz inundado ($R = 0,80^{++}$). Hussain & Malik (1985a), utilizando uma solução de KMnO_4 0,2N em meio ácido, encontraram uma correlação de 0,80 com o N produzido por incubação aeróbica, e uma correlação de 0,69 com o N absorvido pelo trigo.

Hadas et al. (1986) sugerem a utilização de KMnO_4 /ácido, pois o mesmo extrai mais N-NH_4^+ em solos calcários do que em solos não calcários. O coeficiente de correlação com o N total foi de $0,982^{+++}$.

Em trabalho realizado por Oliveira (1987), em solos do cerrado, a fração de N orgânico extraída com KMnO_4 /ácido apresentou correlação significativa ($R = 0,705$) com N produzido por incubação no laboratório.

Método de extração com NaHCO₃

Fox & Piekielek (1978), em teste realizado em campo com oito solos da Pensilvânia (EUA), encontraram correlação significativa ($R = 0,77$) entre o N extraído com NaHCO₃ e a capacidade do solo em fornecer N ao milho.

Segundo MacLean (1964), a correlação entre o N extraído com NaHCO₃ 0,01M e o N absorvido pela aveia foi de 0,850. O mesmo autor comenta que compostos orgânicos nitrogenados se acumulam em solos ácidos e que a mineralização dos mesmos é acelerada pelo aumento do pH no solo.

Michrina et al. (1982), em estudo realizado com dois extratores (NaHCO₃ 0,01M e CaCl₂ 0,01M) concluíram que foram extraídas frações específicas da matéria orgânica do solo pelas duas soluções, existindo diferenças significativas na natureza química dos dois extratos. Constataram também uma correlação altamente significativa ($R = 0,92$) entre o N extraído por CaCl₂ 0,01M e o N absorvido pelo milho, enquanto que a correlação com o NaHCO₃ foi de 0,69.

Gianello & Bremner (1986b) desaconselham o uso do método NaHCO₃ 0,01M para extração de N, uma vez que o coeficiente de correlação obtido ($R = 0,69$) foi inferior ao encontrado por outros métodos para 33 solos brasileiros e 30 solos do estado de Iowa (USA). Além disso, é um método que requer filtração da suspensão.

Giroux & Sen Tran (1987), obtiveram uma correlação significativa ($R = 0,81^{++}$) entre o N extraído em solos do Canadá com NaHCO₃ 0,01M e N absorvido pelas plantas de beterraba açucareira. Segundo estes autores, o N hidrolisado pela solução extratora de NaHCO₃ é de 1 – 2% do N total. Os solos que contêm a maior fração de N orgânico mineralizável são os que apresentam matéria orgânica jovem, pouco oxidada e biologicamente mais ativa.

Método de extração com KCl

O extrator KCl 2N a 80°C foi utilizado por Selmer-Olsen et al. (1981), resultando em correlação significativa ($R = 0,84$) entre o N extraído e N absorvido pelas plantas de aveia em trinta e seis solos da Noruega. Oien & Selmer-Olsen (1980) afirmam que este método extrai muito pouco nitrogênio orgânico.

Gianello & Bremner (1986a), estudando a disponibilidade de N do solo com KCl 2N a 100°C durante 4h, verificaram elevadas correlações com o N extraído por incubação aeróbica ($R = 0,92^{+++}$) e anaeróbica ($R = 0,95^{+++}$).

Dos diferentes métodos usados para avaliar a disponibilidade de nitrogênio potencialmente mineralizável testados por Oliveira (1987), o KCl 2N 100°C durante 4h

apresentou altos coeficientes de correlação com o nitrogênio absorvido pelo trigo ($R = 0,959$) e com a produção de grãos ($R = 0,995^{++}$).

Este método, além de simples, é rápido e preciso (CV de 1,0 a 3,4%), permite analisar no mesmo extrato o nitrogênio facilmente mineralizável, e os teores iniciais de nitrato e amônio do solo (Oliveira, 1987).

Eciolaza & Oliveira (1993) encontraram estreita correlação ($R = 0,879^{+++}$) com o N absorvido pelo milho, concordando com os resultados obtidos por outros autores (Ozus & Hanway, 1966; Sahrawat, 1980, Velly et al., 1980).

Método de extração com CaCl_2

O extrator CaCl_2 0,01M foi proposto por Stanford (1968), que encontrou um coeficiente de correlação significativo ($R = 0,975$) com o nitrogênio extraído com uma solução de pirofosfato de sódio. Consiste em uma metodologia que mantém constante a força iônica durante o processo de extração, e o pH próximo aos valores *in situ*, ajudando a prevenir a dispersão da argila durante a extração.

Dolmat et al. (1980), utilizando CaCl_2 0,01M em ebulição como solução extratora, constataram que o N disponível correspondeu a 1,08% do N total. Smith & Stanford (1970) encontraram uma correlação significativa entre o N extraído por incubação anaeróbica ($R = 0,90$) e aeróbica ($R = 0,70$), e o N extraído com este extrator. Segundo os autores, este extrator não é indicado para solos ricos em calcário.

Stanford & Demar (1970) observaram que este método apresenta a desvantagem de requerer equipamento específico para as extrações, as quais são muito trabalhosas. Estes resultados concordam com os obtidos em trabalho posterior (Stanford & Smith, 1976).

Método de extração com solução de Na_3PO_4 /bórax (tampão pH=11,2)

Tracey (1952), baseando-se em informações de Morgan (1936), segundo o qual os açúcares aminados (glucosamina e galactosamina) liberam N na forma de amônia em solução alcalina, quando aquecida a 100°C , propôs um método de extração de N orgânico com solução de Na_3PO_4 /bórax a pH=11,2. Esta solução apresenta a vantagem de hidrolisar também o nitrogênio presente em aminas e amidas (Tracey, 1952).

Gianello & Bremner (1986b e 1988) encontraram uma estreita correlação ($R = 0,96$) entre o nitrogênio extraído e o nitrogênio mineralizado por incubação anaeróbica. Trata-se de um método simples, rápido, e que fornece resultados reproduzíveis. O coeficiente de variação variou de 0,9 a 2,7%, podendo ser considerado baixo para o tipo de análise a que se propõe.

Segundo os autores, os açúcares aminados (glucosamina e galactosamina) e as amidas (asparagina e glutamina) são os únicos compostos contendo N orgânico (dentre os cinquenta compostos testados) que sofrem decomposição nestas condições.

Oliveira (1987), em teste realizado com solos do cerrado, encontrou correlação significativa entre o N extraído com a solução tampão pH = 11,2 e o N absorvido pelo trigo ($R = 0,792$), e com a produção de grãos ($R = 0,989^+$).

Método de extração com H₂O₂

Sahrawat (1980) encontrou estreita correlação ($R = 0,81$) entre o N extraído com H₂O₂ 30% e o N absorvido pelo arroz. Correlação significativa ($R = 0,86$) foi também obtida com o N mineralizado por incubação anaeróbica (Sahrawat, 1982a) e o N extraído com esta solução em solos com arroz inundado nas Filipinas, indicando ser um extrator bastante promissor. Estes resultados foram posteriormente confirmados pelo autor ($R = 0,82^{++}$) (Sahrawat, 1982b e 1983).

Oliveira (1987) encontrou estreitas correlações entre o N extraído com H₂O₂ 30%/MnO₂ durante 30 minutos com o N mineralizado em incubação anaeróbica ($R = 0,925^{++}$) e o N absorvido pelo trigo ($R = 0,81^{++}$). O mesmo autor encontrou elevadas correlações com a produção de trigo, nas profundidades de 0-25 e 0-50 cm ($R = 0,993^{++}$ e $R = 0,995^{++}$, respectivamente). Este método é rápido, simples, consome pouco reagente, além de formar pouca espuma em presença de liga metálica, permitindo a análise conjunta no mesmo extrato de nitrato e amônio. Entretanto, apresenta a desvantagem de provavelmente não ser apropriado para solos derivados de rochas básicas e ricos em óxidos de Mn.

Eciolaza & Oliveira (1993) obtiveram elevados coeficientes de correlação ($R > 0,93$) para a H₂O₂/MnO₂ em diferentes concentrações e tempos de extração, concluindo que a água oxigenada pode ser considerada uma solução extratora forte, comparável a KMnO₄/ácido ou KMnO₄/alcalino, e que também extraem larga fração do N total com relação a outros extratores (Stanford & Smith, 1978; Dolmat et al., 1980; Sahrawat, 1980 e 1982a; Hussain & Malik, 1985a; Hadas et al., 1986).

Resposta do milho à adubação nitrogenada

O milho é a cultura que apresentou maior incremento no seu potencial produtivo na segunda metade do século XX, expressando ganhos em produtividade de 1,0 a 1,5% por ano, nas diferentes regiões do mundo (Slaffler e Otegui, 2000). Dentre os fatores responsáveis pelo

aumento do rendimento potencial do milho, encontra-se a maior utilização de fertilizantes nitrogenados (Tollenaar et al., 1994; Sangoi et al., 2002).

Segundo Lemaire & Gastal (1997), o N é o elemento exigido em maior quantidade pelo milho, e é o que mais freqüentemente limita a produtividade de grãos, pois o N exerce importante função nos processos bioquímicos da planta. Ele é constituinte de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos, fitocromos e da clorofila (Cantarella, 1993). Além disso, afeta as taxas de iniciação e expansão foliar, o tamanho final e a intensidade de senescência das folhas (Schröder et al., 2000). A adubação nitrogenada influi positivamente na produtividade de grãos da cultura do milho, como também aumenta o índice de área foliar, massa de mil grãos, altura de plantas, rendimento da biomassa e índice de colheita (Ulger et al., 1987; Bull, 1993).

Estima-se que a necessidade de N para produção de uma tonelada de grãos varie de 20 a 28 kg ha⁻¹ (Cantarella, 1993). A sua absorção pela planta ocorre durante todo o ciclo vegetativo, sendo pequena nos primeiros 30 dias. Nesta fase, as plantas absorvem menos do que 0,5 kg ha⁻¹ dia⁻¹ (Schröder et al., 2000). No entanto, a ocorrência de deficiência de N nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura reduz o número de óvulos nos primórdios da espiga (Schreiber et al., 1988) e o crescimento e o desenvolvimento da planta (Varvel et al., 1997). Desta maneira, a adequada disponibilidade de N é importante durante todo o ciclo da cultura.

De maneira geral, Sousa & Lobato (2002) recomendam a aplicação de 30 kg ha⁻¹ de nitrogênio na semeadura e o restante (até 180 kg ha⁻¹) dividido em duas aplicações iguais quando a planta apresentar 4 e 8 folhas, respectivamente. Para solos com baixo potencial de lixiviação (solos argilosos), Fancelli & Dourado-Neto (1996) recomendam reduzir o parcelamento a duas aplicações: na semeadura (30 a 40 kg N ha⁻¹), e o restante quando a planta apresentar quatro folhas completamente desenvolvidas. Dessa forma, as fontes nitrogenadas mais eficientes, aplicadas na superfície do solo, seriam o nitrato de amônio e o sulfato de amônio, devido às perdas por lixiviação.

Técnicas surgidas recentemente propõem o aumento das doses de N aplicadas na semeadura, com diminuição da adubação nitrogenada em cobertura (Reichardt et al., 1979; Coelho et al, 1991).

Enquanto no Brasil a quantidade utilizada de N é, em média, de 60 kg ha⁻¹, na China é de 130 kg ha⁻¹ e nos Estados Unidos, de 150 kg ha⁻¹ (International Fertilizer Industry Association, 2002). Segundo Uhart & Andrade (1995) e Escosteguy et al. (1997), o N determina o desenvolvimento das plantas de milho, com aumento significativo na área foliar e

na produção de massa de matéria seca, resultando em maior produtividade de grãos. A recuperação aparente do N do fertilizante vem sendo usada como uma estimativa da eficiência da adubação, que decresce com o aumento da dose aplicada. No entanto, segundo Grove (1979), é a recuperação líquida do N, ou seja, o aumento da quantidade de N na matéria seca da parte aérea por unidade do fertilizante, que melhor relaciona absorção de N pela cultura com o N aplicado.

De acordo com Huber et al. (1994), existem quatro características que determinam a resposta do rendimento de grãos de milho à disponibilidade de nitrogênio: as taxas de absorção do nutriente ao longo do ciclo da cultura, a capacidade de armazenamento de N nas estruturas vegetativas da planta, a eficiência de reciclagem do nitrogênio das frações vegetativas para as estruturas reprodutivas e o poder de demanda dos grãos por compostos nitrogenados e carbonatados.

As diferenças encontradas na resposta a nutrientes podem ser explicadas por mecanismos fisiológicos como diferentes taxas de absorção e translocação e diferenças morfológicas no sistema radicular (Malavolta & Fornasieri Filho, 1983). Nowick & Hoffpauir (1984) declaram que duas áreas nas quais a eficiência de utilização de nitrogênio pode diferir são a absorção e remobilização.

Devido à alta exigência de nitrogênio, o milho é uma cultura que geralmente responde à aplicação da adubação nitrogenada com incremento em várias características que influenciam a produção final (Da Ros et al., 2003). Resultados de experimentos conduzidos no Brasil, sob diversas condições de solo, clima e sistemas de cultivo, mostram resposta generalizada do milho à adubação nitrogenada (Coelho et al., 1992). Entretanto, as respostas encontradas estão relacionadas às características inerentes aos cultivares utilizados, às condições de uso do solo e de clima, ao manejo da cultura, do suprimento de nitrogênio do solo e das doses de nitrogênio aplicadas (Muchow & Sinclair, 1995). A magnitude das respostas ao elemento nas condições brasileiras tem sido variável com a maioria das pesquisas, indicando respostas significativas a doses de 30 a 90 kg ha⁻¹ (Jakelaitis et al., 2005). Esse fato é, em parte, devido aos níveis relativamente baixos, porém, são encontradas respostas de até 200 kg ha⁻¹ de N aplicado (Mello et al., 1988; Coelho & França, 1995).

Sousa & Lobato (2002) afirmam que na Região do Cerrado, as respostas do milho à adubação nitrogenada chegam a doses de até 200 kg ha⁻¹ ou mais. Com doses em torno de 100 kg ha⁻¹ de N, é possível produzir cerca de 8 t ha⁻¹ de grãos de milho em um solo com 30 a 40 g dm³ de matéria orgânica. Campos (2004), afirma que o milho pode responder favoravelmente a até 150-200 kg ha⁻¹ de N. Novais et al. (1974), Melgar et al. (1991) e

Jakelaitis et al. (2005) obtiveram incrementos na produção de milho, de acordo com o aumento da adubação nitrogenada até cerca de 250 kg N ha⁻¹.

Broadbent & Carlton (1978) estudaram vários níveis de fertilização nitrogenada em milho irrigado durante um período de três anos, e encontraram eficiência máxima quando a dose aplicada foi de 200 kg ha⁻¹ de N. As doses maiores aumentavam a produção, mas diminuía a eficiência de utilização do fertilizante. Segundo Campos (2004), doses menores de fertilizante nitrogenado resultam em maior eficiência de utilização de N pela cultura do milho.

Estudos realizados por Ferreira (1997), com relação ao efeito da adubação nitrogenada sobre a produção do milho, mostraram um aumento desta variável com o incremento das doses de N, obtendo-se a máxima produção com a dose de 200 kg ha⁻¹ de N.

O decréscimo na produtividade decorrente da aplicação de doses superiores a 210 kg N ha⁻¹, conforme Alves et al. (1996), Malavolta et al. (1997) e Mar et al. (2003), mostra que essas doses podem ter contribuído para desequilíbrio entre outros elementos.

Oliveira (1989) afirma que a decomposição da matéria orgânica do solo é geralmente o processo mais importante de suprimento natural de nitrogênio para as plantas. Contudo, em muitas situações o solo é incapaz de suprir todo o requerimento de nitrogênio das culturas, o que obriga a utilização de fertilizantes para a obtenção de produtividade satisfatória.

Segundo Arnon (1975) e Raij (1991), um solo com teor de 27 g dm⁻³ de matéria orgânica na camada de 0-20 cm, seria capaz, teoricamente, de fornecer o equivalente a 54 kg ha⁻¹ de N, considerando uma taxa média de mineralização de 2% do N orgânico durante o ciclo da cultura, o que possibilita obter 2700 kg ha⁻¹ de grãos de milho. Fornasieri Filho (1992) confirma que, em solos com teor de matéria orgânica não limitantes, os efeitos da adubação nitrogenada são, via de regra, pouco pronunciados.

Escosteguy et al. (1997) constataram num Latossolo Vermelho-Escuro, distrófico, com teor de matéria orgânica de 35 g dm⁻³, que a contribuição do N do solo foi bastante significativa, pois a produtividade da testemunha foi de 5812 kg ha⁻¹, na semeadura de agosto, e de 6176 kg ha⁻¹ na de outubro. O suprimento de N do solo foi estimado entre 96 e 103 kg N ha⁻¹, para uma produção de 1000 kg ha⁻¹ de grãos de milho.

Em experimentos realizados em solos dos cerrados, durante quatro anos consecutivos com milho (Cargil 111), foi observado que as produções obtidas sem aplicação de nitrogênio atingiram cerca de 60% (3600 kg ha⁻¹) daquela conseguida com 140 kg N ha⁻¹. Esta razoável produção sem aplicação de nitrogênio pode ser explicada pela decomposição da matéria

orgânica do solo, em virtude da calagem, bem como pela fixação de nitrogênio atmosférico pelo *Spirillum sp* (Embrapa, 1976).

Cantarella (1999) constatou que em solos argilosos, as áreas com baixo potencial de produção de milho não responderam à adição de N, ao passo que nos ensaios com probabilidade de maiores rendimentos, as respostas médias mais econômicas situam-se em torno de 30 a 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Em solos arenosos, as repostas ao N foram altas, mesmo quando os patamares de produtividade foram baixos, e a dose mais econômica foi de 55 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, M. **An introduction to soil microbiology**. New York, John Willey and sons, 1961. 472 p.

ALEXANDER, M.I.H. **Introduction to soil microbiology**. 4ed. New York: John Willey, 1977. 472 p.

ALLISON, F. Developments in soil science. In: **Soil organic matter and its role in crop production**. New York: Elsevier Scientific Pub. Comp., 1973. Cap. 3, 637 p.

ALVES, V.M.C.; NOVAIS, R.F.; OLIVEIRA, M.F.G.; BARROS, N.F. Efeito da omissão de fósforo na absorção de nitrogênio por híbridos de milho (*Zea mays* L.). **Revista Ceres**, Viçosa, v.43, n. 248, p. 435-443, 1996.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação da adubação nitrogenada para o milho no Rs e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.2, p. 241-248, 2002.

AMADO, T.J.C. et al. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.1, p.179-189, 2000.

AMADO, T.J.C. **Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo do solo**. 1997. 201p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1997.

ANGHINONI, I. Adubação nitrogenada nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: SANTANA, M.B.M. **Adubação nitrogenada no Brasil**. Ilhéus: Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira/Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1986. p. 1-18.

ARGENTA, G. **Monitoramento do nível de nitrogênio na planta como indicador da adubação nitrogenada em milho**. 2001. 112f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da.; MIELNICZUK, J.; BORTOLINI, C.G. Parâmetros de planta como indicadores do nível de nitrogênio na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.4, p. 519-527, 2002.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da. Adubação nitrogenada em milho implantado em semeadura direta após aveia-preta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.29, n.4, p. 745-754, 1999.

ARNON, I. **Mineral nutrition of maize**. Bern: International Potash Institute, 1975. 425p.

BALASUDARAM, C.S.; CHANDRAMANI, R.; KHAN, H.H.; SHANMUGAN, M. Pour une meilleure utilisation de l'azote par le riz grace a l'etude des responses de la culture aux caracteristiques analytiques du sol. **Agronomie Tropicale**, Paris, v.32, n.4, p. 360-363, 1977.

BARBOSA FILHO, M.P. **Nutrição e adubação do arroz**: sequeiro e irrigado. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e Fosfato, 1987. 129 p. (Boletim Técnico, 9).

BARTHOLOMEW, W.V. Mineralization and immobilization of nitrogen in the decomposition of plant and animal residues. In: BARTHOLOMEW, W.V.; CLARK, F.E. (Ed.) **Soil Nitrogen**. Madison: ASA, 1965. p.287-306.

BASANTA, M. del V. **Dinâmica do nitrogênio na cultura de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo de resíduos da colheita**. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo – Esalq. Piracicaba, 2004.

BINFORD, G.D.; BLACKMER, A.M.; MEESE, B.G. Optimal concentrations of nitrate in cornstalks at maturity. **Agronomy Journal**, Madison, v.84, n.5, p. 881-887, 1992.

BLACK, C.A. **Relaciones agua-suelo-plantas**. Buenos Aires, Ed. Hemisfero Sur, 1975, v.2. 865 p.

BNDE/ANDA. **Resposta a ensaios de adubação na região Centro-Sul**. s. l. 1974. 150 p.

BOSWELL, F.C.; RICHER, A.C.; CASIDA, L.E. Available Soil Nitrogen Measurements by Microbiological Techniques and Chemical Methods. **Soil Sci. Soc. Proc.**, Pennsylvania, v.26, p. 254-257, 1962.

BREMNER, J.M. Organic forms of nitrogen. In: BLACK, C.A. **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties**. (serie 9). Madison: American Society of Agronomy, 1965. Part 2, cap. 85, p. 1238-1255.

BROADBENT, F.E.; CARLTON, A.B. Field trials with isotopically labeled nitrogen fertilizer. In: NIELSEN, D.R.; MAC DONALD, J.G. (Ed.) **Nitrogen in the environment**. New York: Academic Press, 1978. p. 1-41.

BULL, L.T.; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.63-145.

CALDERÓN, F.J. et al. Short-term dynamics of nitrogen, microbial activity, and phospholipid fatty acids after tillage. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v.65, n.1, p.118-126, 2001.

CAMPBELL, C.A.; LAFOND, G.P.; LEYSHON, A.J.; ZENTNER, R.P.; JANZEN, H.H. Effect of cropping practices on the initial potential rate of N mineralization in thin Black Chernozem. **Canadian Journal of Soil Science**, v.71, p.43-53, 1991.

CAMPOS, A.X. de **Fertilização com sulfato de amônia na cultura do milho em um solo do cerrado de Brasília sob pastagem de *Brachiaria decumbens***. Piracicaba, 2004. 119 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

CANTARELLA, H. Adubação do milho “safrinha”. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO SAFRINHA, 5, 1999, Barretos. **Anais...** Campinas: Instituto Agrônomo, 1999. p. 15-24.

CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H. (Eds.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1993. p.147-196.

CASSMANN, K.G.; MUNNS, D.N. Nitrogen mineralization as affected by soil moisture, temperature and depth. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, 44: 1233-1238, 1980.

CAVALLI, I.; RODRIGUEZ, J.S. Efecto del contenido de humedad en la mineralización del nitrógeno em nueve suelos de la provincia de Santiago. **Ciência e Investigación Agraria**, Santiago, 2(2): 101-112, 1975.

CHAE, Y.W.; TABATABAI, M.A. Mineralization of nitrogen in soils amended with organic wastes. **Journal of Environmental Quality**. v.15, p. 193-198, 1986.

CHAN, K.Y.; ROBERTS, W.P.; HEENAN, W.P. Organic carbon and associated soil properties of a Red Earth after 10 years of rotation under different stubble and tillage practices. **Australian Journal of Research**, v.30, p.71-83, 1992.

CHIANG, C.; SOUDI, B.; MOENO, A. Soil nitrogen mineralization and nitrification under maroccan conditions. In: PROCEEDINGS OF THE 17TH COLLOQUIUM OF THE INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE. Rabat, 1983. **Nutrient balances and the need for fertilizers in semi-arid and arid regions**. Rabat, International Potash Institute, 1983. p. 129-139.

CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Science**. v. 20, p. 1-87, 1992.

CLARK, F.E.; PAUL, E.A. The microflora of grassland. **Advances in Agronomy**, v.22, p.375-435, 1970.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E. Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n.71, set. 1995. Arquivo do Agrônomo, Piracicaba, n.2, p.1-9, set. 1995. Encarte.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E. de; BAHIA FILHO, A.F.C.; GUEDES, G.A.A. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p.61-67, 1992.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; BAHIA FILHO, A.F.C.; GUEDES, G.A.A. Balanço de nitrogênio (¹⁵N) em um Latossolo Vermelho-Escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.2, p. 187-193, 1991.

CONSTANTINIDES, M.; FOWNES, J.H. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: Relationship to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. **Soil Biology and Biochemistry**. 26(1): 44-55. 1994.

CORREIA, A.A.D. Bioquímica nos solos. In: **Bioquímica nos solos, nas pastagens e forragens**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1980. cap. 1, p. 79-158.

CORSI, M.; MARTHA JUNIOR, G.B.; BALSALOBRE, M.A.A. et al. Tendências e perspectivas da criação de bovinos sob pastejo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 17, Piracicaba, 2000. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 2000. p. 3-70.

COUTO, W.; RICHEY, K.D. Enxofre. In: GOEDERT, W.J., coord. **Solos dos cerrados. Tecnologia e estratégias de manejo**. São Paulo, Livraria Nobel, 1986. p. 223-235.

DA ROS, C.O.; SALET, R.L.; PORN, R.L.; MACHADO, J.N.C. Disponibilidade de nitrogênio e produtividade de milho e trigo com diferentes métodos de adubação nitrogenada no sistema plantio direto. **Cienc. Rural**. [online]. set./out. 2003, vol.33, no.5 [citado 18 Janeiro 2006], p.799-804. Disponível na World Wide Web: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782003000500002&lng=pt&nrm=iso>. ISSN 0103-8478.

DEMÉTRIO, R. **Efeitos da aplicação de matéria orgânica sobre a biomassa-C microbiana do solo e o crescimento e absorção de nitrogênio em milho (*Zea mays* L.)**. Tese (Mestrado), Itaguaí: UFRRJ, 1988. 98p.

DENG, S.P.; TABATABAI, M.A. Effects of cropping systems on nitrogen mineralization in soils. **Biology and Fertility of Soils**, 31 (3): 211-218. 2000.

DOLMAT, M.T.; PATRICK Jr., W.H.; PETERSON, F.J. Relation of available soil nitrogen to rice yield. **Soil Sci.**, Baltimore, v.120, n.4, p. 229-237, 1980.

ECIOLAZA, M.C.B.; OLIVEIRA, S.A. de Teste de extratores químicos para avaliação da disponibilidade de nitrogênio em solos do Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.4, p. 523-532, 1993.

ESCOSTEGUY, P.A.V.; RIZZARDI, M.A.; ARGENTA, G. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em duas épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.71-77, 1997.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina. **Relatório Técnico Anual 1981 – 1982**, Brasília, 1985. 177 p.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina. **Relatório Técnico Anual 1980 – 1981**, Brasília, 1982. 163 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA ABROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina. **Relatório Técnico Anual**, Brasília, 1976. 150 p.

ENO, F. Nitrate production in the field by incubating the soil in polyethylene bag. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** Madison, n.24, p. 277-279, 1960.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Milho: fisiologia da produção. In: SEMINÁRIO SOBRE FISIOLOGIA DA PRODUÇÃO E MANEJO DE ÁGUA E DE NUTRIENTES NA CULTURA DO MILHO DE ALTA PRODUTIVIDADE, Piracicaba, 1996. **Anais**. Piracicaba: ESALQ, Depto. de Agricultura, 1996. p.1-29.

FERREIRA, A.C.de B. **Efeitos da adubação com N, Mo e Zn sobre a produção, qualidade de grãos e concentração de nutrientes no milho**. Viçosa, 1997. 74p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.

FIGUEIREDO, C.C. de **Efeito de diferentes sistemas de manejo no carbono e nitrogênio da biomassa microbiana e na absorção de nitrogênio pelo milho em um Latossolo Vermelho no Cerrado**. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília – UnB. Brasília, DF. 2003.

FORNASIERI FILHO, D. **A cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 1992. 273p.

FOX, R.H.; PIEKIELEK, W.P. Field testing of Several Nitrogen Availability Indexes. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v.42, p. 747-750, 1978.

GALLAGHER, P.A.; BARTHOLOMEW, W.V. Comparison of nitrate production and other procedures in determining nitrogen availability in Southeastern Coastal Plain Soils. **Agron. J.**, Madison, v.56. p. 179-184, 1964.

GASSER, J.K.R. **Available Soil Nitrogen – Its measurements, and some factors affecting its correlation with crop performance**. Offprint from the Welsh Soils Discussion Group. Harpenden, Herts. Report n° 10, 1969, p. 76-92.

GIANELLO, C.; BREMNER, J.M. A rapid steam distillation method of assessing potentially available organic nitrogen in soil. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, v.19, n.14, p. 1551-1568, 1988.

GIANELLO, C.; BREMNER, J.M. A simple chemical method of assessing potentially available organic N in soil. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, v.17, n.2, p. 195-214, 1986a.

GIANELLO, C.; BREMNER, J.M. Comparison of chemical methods of assessing sing potentially available organic N in soil. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, v.17, n.2, p. 215-236, 1986b.

GIROUX, M.; SEN TRAN, T. Comparison de diferentes methodes d'analyse de l'azote du sol en relation avec sa disponibilité pour les plantes. **Can. J. Soil Sci.**, Ottawa, v. 67, p. 521-531, 1987.

GONÇALVES, J.L. de M.; BENEDETTI, V. Efeitos do cultivo mínimo e intensivo do solo na mineralização do nitrogênio em povoamentos de *Eucalyptus grandis*. **Boletim IPEF**, 1997.

GROVE, T.L. **Nitrogen fertility in oxisols and ultisols of the humid tropics**. Ithaca: Cornell University, 1979. 28p. (Cornell International Agriculture Bulletin, 36).

HADAS, A.; FEIGENBAUM, S.; FEIGIN, A.; PORTNOY, R. Distribution of N forms and availability indices in profiles of differently managed soil types. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 50, p.308-313, 1986.

HARMSSEN, G.W.; KOLLENBRANDER, G.J. Soil inorganic nitrogen. In: BARTHOLOMEW, W.V.; CLARK, F.E. (Ed.) Soil nitrogen. Madison, **Am. Soc. Agron.**, 1965. p. 43-92.

HUSSAIN, F.; MALIK, K.A. Evaluation of alkaline permanganate method and its modification as an index of soil nitrogen availability. **Plant Soil**, Hague, v.84, p. 279-282, 1985a.

HUSSAIN, F.; MALIK, K.A. Modification of the acid permanganate method for obtaining an index of soil nitrogen availability. **Plant Soil**, Hague, v.84, p. 143-146, 1985b.

HUSSAIN, F.; MALIK, S.A.; AZAM, F. Evaluation of acid permanganate extraction as an index of soil nitrogen availability. **Plant Soil**, Hague, v.79, p. 249-254, 1984.

HUBER, D.M.; TSAI, C.Y.; STROMBERGER, J.A. Interaction of K with N and their influence on growth and yield potential of maize. In: ANNUAL CORN AND SORGHUM RESEARCH CONFERENCE, 48, 1994, Chicago. **Proceedings...** Washington: American Seed Company Association, 1994. p. 165-176.

INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION (Paris, França). **Fertilizer use by crop**. 5th ed. Disponível em: <<http://www.fertilizer.org>>. Acesso em: 9 nov. 2002.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A. da; FERREIRA, L.R. Efeitos do nitrogênio sobre o milho cultivado em consórcio com *Brachiaria brizantha*. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.27, n.1, p. 39-46, 2005.

JENKINSON, D.S. Chemical tests for potentially available nitrogen in soil. **J. Sci. Fd. Agric.**, Oxford, v.19, n.3, p. 160-168, 1968

JONES, R.J. Nitrogen losses from Alabama soils in lysimeters as influenced by various systems of green manure crop management. **J. Am. Soc. Agron.**, n.34, p. 574-585, 1942.

JUSTICE, J.K.; SMITH, R.L. Nitrification of ammonium sulfate in a calcareous soil as influenced by combinations of moisture temperature, and levels of added nitrogen. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, 26: 246-250, 1962.

KAI, H.; MASAYNA, W.; YAMADA, Y. Nitrogen behavior in tropical wetland rice soils. 1. Nitrogen supplying capacities. **Fertilizers Research**, Dordrecht, v.5, n.3, p. 259-271, 1984.

KEENEY, D.R. Nitrogen-availability indices. In: PAGE, A.L. (ed.). **Methods of soil analysis**. Part 2. Madison, American Society of Agronomy, 1982a. p. 711-733.

KEENEY, D.R. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. In: STEVENSON, F.J. **Nitrogen agriculture soils**. Madison: Soil Science Society of America, 1982b. p. 605-649.

KEENEY, D.R.; BREMNER, J.M. Comparison and Evaluation of Laboratory Methods of Obtaining an Index of Soil Nitrogen Availability. **Agron. J.**, Madison, v.58, p. 498-503, 1966a.

KEENEY, D.R.; BREMNER, J.M. A chemical Index of Soil Nitrogen Availability. **Nature**, London, v.211, n.20, p. 892-893, August, 1966b.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

KLAUSNER, S.D.; REID, W.S.; BOULDIN, D.R. Relationship between late spring soil nitrate concentrations and corn yields in New York. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.6, n.2, p. 350-354, 1993.

KRESGE, C.B.; MERKLE, F.G. A study of the validity of laboratory techniques in appraising the available nitrogen producing capacity of soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison. v.21, p. 516-521, 1957.

KRISTENSEN, H.L. et al. Effects of soil disturbance on mineralization of organic soil nitrogen. **Soil Sc. Soc. Am. J.**, Madison, v.64, n.1, p.371-378, 2000.

LEMAIRE, G., GASTAL, F.N. N uptake and distribution in plant canopies. In: LEMAIRES, G. (Ed.). **Diagnosis of the nitrogen status in crops**. Berlin : Springer, 1997. p.1-56.

MacLEAN, A.A. Measurement of nitrogen supplying power of soils by extraction with sodium bicarbonate. **Nature**, London, v.19, p. 1307-1308, September, 1964.

MALAVOLTA, E. **O potássio e a planta**. Piracicaba, Instituto do Potássio e do Fosfato. 1977. 60 p. (Boletim Técnico 1).

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**. Editora Agronômica Ceres Ltda., São Paulo, 1976. 528 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.

MALAVOLTA, E.; FORNASIERI FILHO, D. Nutrição mineral da cultura do arroz. In: FERREIRA, M.E.; YAMADA, T.; MALAVOLTA, E. **Cultura do arroz de sequeiro: fatores afetando a produtividade**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1983. p. 95-140.

MAR, G.D. do; MARCHETTI, M.E.; SOUZA, L.C.F. de; GONÇALVES, M.C; NOVELINO, J.O. Produção do milho safrinha em função de doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.2, p. 267-274, 2003.

MARTHA JUNIOR, G.B. **Balço de ¹⁵N e perdas de amônio por volatilização em pastagem de capim elefante**. Piracicaba, 1999. 75 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

MARTHA JUNIOR, G.B.; VILELA, C. **Pastagens no Cerrado: baixa produtividade pelo uso limitado de fertilizantes**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 32 p. (Documentos, 50).

MARY, B.; RECOUS, S.; DARWIS, D.; ROBIN, D. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. **Plant and Soil**, v.181, p.71-82, 1996.

McCARTY, G.W.; MEISINGER, J.J.; JENNSIKENS, F.M.M. Relationships between total-N, biomass-N and active-N in soil under different tillage and N fertilizer treatment. **Soil Biol. Biochem.** 27: 1245-1250, 1995.

MELGAR, R.J.; SMITH, T.J.; CRAVO, M.S.; SANCHEZ, P.A. Doses e épocas de aplicação de fertilizante nitrogenado para milho em Latossolo da Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p. 289-296, 1991.

MENGEL, K. Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops. **Plant and Soil**, v.181, p. 83-93, 1996.

MENGEL, K. Factors of plant nutrient available relevant to soil testing. **Plant Soil**, Hague, v.64, p. 129-138, 1982.

MELLO, S.A. et al. Efeitos de doses e modos de aplicação de uréia na produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.12, p. 269-274, 1988.

MICHRINA, B.P.; FOX, R.H.; PIEKIELEK, W.P. Chemical characterization of two extracts used in the determination of available soil nitrogen. **Plant Soil**, Hague, v.64, p. 331-341, 1982.

MILLER, R.D.; JOHNSON, D.D. The effect of soil moisture tension on carbon dioxide evolution, nitrification, and nitrogen mineralization. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, 28: 644-647. 1964.

MORGAN, W.T.J. Studies on imuno-chemistry. I. The preparations and properties of a specific polysaccharide from *B. dysenteriae* (SHIGA). **Bioch. J.**, Colchester, 30:909-925. 1936.

MUCHOW, R.C.; SINCLAIR, T.R. Effect on nitrogen supply on maize yield: II. Field and model analysis. **Agron. J.**, Madison, v.87, p. 642-648, 1995.

NEPTUNE, A.M.L.; MURAOKA, T. Aplicação da uréia-¹⁵N em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar carioca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 2: 51-55. 1978.

NOVAIS, M.V.; NOVAIS, R.F; BRAGA, J.M. Efeito da adubação nitrogenada e de seu parcelamento sobre a cultura do milho, em Patos de Minas. **Revista Ceres**, Viçosa, v.21, n.115, p. 193-202, 1974.

NOWICK, E.M.; HOFFPAUIR, H. Varietal differences in nitrogen uptake at two N levels and three growth stages. In: RICE RESEARCH STATION. **Annual progress report**. Louisiana: Crowley, 1984. p. 51-55.

OIEN, A.; SELMER-OLSEN, A.R. A laboratory method for evaluation of available nitrogen in soil. **Acta Agriculturae Scandinavica**, Stockholm, v.30, p. 149-156, 1980.

OLIVEIRA, P.A.A. **Manejo da calagem e da fertilização nitrogenada na recuperação de pastagens degradadas de *Brachiaria sp.* em solos arenosos**. Piracicaba, 2001. 110 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, S.A. de Avaliação da disponibilidade de nitrogênio no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.24, n.2, p. 131-148, 1989.

OLIVEIRA, S.A. de **Avaliação da mineralização e disponibilidade de nitrogênio para o trigo (*Triticum aestivum* L.) em solos do Distrito Federal**. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo – Esalq. Piracicaba, 1987. 128 p.

OZUS, T.; HANWAY, J.J. Comparisons of laboratory and greenhouse tests for nitrogen and phosphorous availability in soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, v.30, p. 224-228, 1966.

PEREIRA, J.; PERES, J.R.R. Manejo da matéria orgânica. In: GOEDERT, W.J., coord. **Solos dos cerrados. Tecnologia e estratégias de manejo**. ed. 1, São Paulo, Livraria Nobel, 1987, cap. 10, p. 261-281.

PETERSON, L.A.; ATTOE, O.J; OGDEN, W.B. Correlation of nitrogen soil tests with nitrogen uptake by the tobacco plant. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, v.24, p. 205-209, 1960.

PRASAD, R. Determination of potentially available nitrogen in soils – A rapid procedure. **Plant Soil**, Hague, v.XXIII, n.2, p. 261-264, 1965.

PURVIS, E.R.; LEO, M.W.M. Rapid procedure for estimating potentially available soil nitrogen under greenhouse conditions. **J. Agr. Fd. Chem.**, Columbus, v.9, p. 15-17, 1961.

RAIJ, B. van **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo; Piracicaba: Ceres, Potafos, 1991. p.164 – 180.

RAMBO, L.; SILVA, P.R.F. da; ARGENTA, G.; BAYER, C. Testes de nitrato no solo como indicadores complementares no manejo da adubação nitrogenada em milho. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.34, n.4, p.1279-1287. Jul/ago, 2004.

REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; VICTÓRIA, R.L.; VIEGAS, G.P. Dinâmica do nitrogênio num solo cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, p. 17-20, 1979.

REICHMAN, G.A.; GRUNES, D.L.; VIETS Jr., F.G. Effect of moisture on ammonification and nitrification in two northern plains soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, 30: 363-366, 1966.

REIS, M. de S.; SOARES, A.A.; SOARES, P.C.; CORNÉLIO, V.M. de O. Absorção de N, P, K, Mg e S pelo arroz irrigado influenciada pela adubação nitrogenada. **Cienc. Agrotec.**, Lavras, v.29, n.4, p. 707-713, 2005.

RICHARD, T.A.; ATTOE, D.J.; MOSKAL, S.; TRUOG, E. A chemical method for determining available soil nitrogen. **7th Intern. Congress of Soil Science**, Madison, Wisconsin, USA, 1960, v.II, p. 28-35.

RICO, G.B.; DATTA, S.K. Diferencia varietal del arroz en la utilizacion del nitrogeno del suelo bajo condiciones de riego usando N¹⁵ depleted. **Agronomia Tropical**, n. 1 a 6, v. XXXII, p. 171-185, 1982.

ROBERTSON, F.A.; MYERS, R.J.K.; SAFFIGNA, P.G. Carbon and Nitrogen mineralization in cultivated and grassland soils in subtropical queensland. **Aust. J. Soil Res.**, 31:611-619. 1993.

ROBISON, J.B.D. The critical relationship between soil moisture content in the region of the wilting point and mineralization of native soil nitrogen. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, 49: 100-105, 1957.

SAHRAWAT, K.L. Nitrogen availability indexes for submerged rice soils. **Adv. Agron.**, v.36, p. 415-451, 1983.

SAHRAWAT, K.L. Assay of nitrogen supplying capacity of tropical rice soils. **Plant Soil**, Hague, v.65, p. 111-121, 1982a.

SAHRAWAT, K.L. Evaluation of some chemical indexes for predicting mineralizable nitrogen in tropical rice soils. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, v.13, n.5, p. 363-377, 1982b.

SAHRAWAT, K.L. Nitrogen supplying ability of some Philippine rice soils. **Plant Soil**, Hague, v.55, p. 181-187, 1980.

SAHRAWAT, K.L.; BURFORD, J.R. Modification of the alkaline permanganate method for assessing the availability of Soil Nitrogen in upland Soils. **Soil Sci.**, Baltimore, v.133, n.1, p. 53-57, 1982.

SAJJAD, M.H.; AZAM, F.; LODHI, A. Nitrogen Transformations in Soil Amended with Different Plant Residues and Their Impact on Growth of Wheat. Pakistan **Journal of Biological Sciences**, 6 (9): 805-813, 2003.

SANCHEZ, P.A. **Suelos del trópico. Características y manejo**. San José, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1981. 633 p.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M.L.de; SILVA, P.R.F. da; ARGENTA, G. Bases morfofisiológicas para maior tolerância dos híbridos modernos de milho a altas densidades de plantas. **Bragantia**, Campinas, v.61, n.2, p. 101-110, 2002.

SCARSBROOK, C.E. Nitrogen availability. In: BARTHOLOMEW, W.V.; CLARK, F.E. Soil nitrogen. Ed. 1, Madison: **Am. Soc. of Agron.**, Inc., Publ., 1965. Serie 10, cap. 13, p. 481-502.

SCHNITZER, M.; KHAN, S.U. **Humic substances in the environment**. Marcel Dekker. 1972. 327 p.

SCHREIBER, H.A; STANBERRY, C.O.; TUCKER, H. Irrigation and nitrogen effects on sweet corn row number at various growth stages. **Science**, Washington, v.135, n.1, p. 135-136, 1988.

SCHRÖDER, J.J.; NEETESON, J.J.; OENEMA, O.; STRUIK, P.C. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.66, n.1, p. 151-164, 2000.

SCIVITTARO, W.B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A.E.; TRIVELIN, P.C.O. Transformações do nitrogênio proveniente de mucuna-preta e uréia utilizados como adubo na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 12, p. 1427-1433, 2003.

SELMER-OLSEN, A.R.; OIEN, A.; BAERUG, R.; LYGSTAD, I. Evaluation of a KCl-Hydrolysing method for available nitrogen in soil by Pot Experiment. **Acta Agriculturae Scandinavica**, Stockholm, v.31, p. 251-255, 1981.

SENEVIRATNE, G. Litter quality and nitrogen release in tropical agriculture: a synthesis. **Biology and Fertility of Soils**. v.31, p. 60-64, 2000.

SENSTIUS, M.W. Climax forms of rock-weathering. **Am. Sci.** n.46, p. 355-367, 1958.

SILVA, G. T. da. **Fluxos de CO₂ em um campo-sujo submetido a queimada prescrita**. 1999. 64 f. Tese (Mestrado) - Universidade de Brasília, ECL, Ecologia.

SIMS, J.T.; VASILAS, B.L.; GARTLEY, K.L.; MILLIKEN, B.; GREEN, V. Evaluation of soil and plant nitrogen tests for maize on manured soils of the Atlantic coastal plain. **Agronomy Journal**, Madison, v.87, n.2, p. 213-222, 1995.

SLAFFER, G.A.; OTEGUI, M. Is there a niche for physiology in future genetic improvement of maize yields? In: SLAFFER, G.A.; OTEGUI, M. (Eds.). **Physiological bases for maize improvement**. New York: Haworth Press, 2000. cap. 1, p. 1-14.

SMITH, S.J.; STANFORD, G. Evaluation of a chemical index of soil nitrogen availability. **Soil Sci.**, Baltimore, v.111, n.4, p. 228-232, 1970.

SOUSA, C.A. S. de **Fracionamento do nitrogênio orgânico em solos do Distrito Federal**. . Brasília, 1993. 93 f. Tese (Mestrado do Departamento de Química) - Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade de Brasília – UnB, 1993.

SOUSA, D.M.G.; CARVALHO, L.J.C.B.; MIRANDA, L.N. Correção da acidez do solo. In: GOEDERT, W.J., coord. **Solos dos cerrados. Tecnologia e estratégias de manejo**. São Paulo, Livraria Nobel, 1986. p. 99-127.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Eds). **Cerrado: Correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 416p.

STANFORD, G. Evaluation of ammonium release by alkaline permanganate extraction as an index of soil nitrogen availability. **Soil Science**, Baltimore, 126(4): 244-253. 1978.

STANFORD, G. Evaluation the nitrogen-supplying capacities of soils. **Proceedings of the international seminar on soil environment and fertility management in intensive agriculture**. Tokyo – Japan, 1977, p. 412-418.

STANFORD, G. Extractable organic nitrogen and nitrogen mineralization in soils. **Soil Sci.**, Baltimore, v.106, n.5, p. 345-351, 1968.

STANFORD, G.; SMITH, S.J. Oxidative release of potentially mineralizable soil nitrogen by acid permanganate extraction. **Soil Sci.**, Baltimore, v.126, n.4, p. 210-218, 1978.

STANFORD, G.; SMITH, S.J. Estimating potentially mineralizable soil nitrogen from a chemical index of soil nitrogen availability. **Soil Sci.**, Baltimore, v.122, n.2, p. 71-76, 1976.

STANFORD, G.; EPSTAIN, E. Nitrogen mineralization-water relations in soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, 38: 103-107, 1974.

STANFORD, G.; FRERE, M.H.; SCHWANINGER, D.H. Temperature coefficient of soil nitrogen mineralization. **Soil Sci.** Baltimore, 115(4): 321-323, 1973.

STANFORD, G.; DEMAR, W.H. Extraction of soil organic nitrogen by autoclaving in water: 3. Diffusible Ammonia, an index of soil nitrogen availability. **Soil Sci.**, Baltimore, v.109, n.3, p. 190-196, 1970.

STEVENSON, F.J. Origin and distribution of nitrogen in soil. In: **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: American Society of Agronomy, 1982a. Serie 22, cap. 3, p. 67-122.

STEVENSON, F.J. Origin and distribution of nitrogen in soil. In: **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: American Society of Agronomy, 1982b. Serie 22, cap. 1, p. 1-42.

SUBBIAH, B.V.; ASIJA, G.L. A rapid procedure for the estimation of available nitrogen in soils. **Current Science**, Bangalore, v.8, Aug., 1956.

SUNDERMAN, H.D.; PONTIUS, J.S.; LAWLESS, J.R. Variability in leaf chlorophyll concentration among fully-fertilized corn hybrids. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.28, n.19, p. 1793-1803, 1997.

TRACEY, M.V. The determination of glucosamine by alkaline decomposition. **Bioch. J.**, Colchester, v.52, p. 256-267, 1952.

TIAN, G; KANG, B.T.; BRUSSAARD, L. Biological effects of plants residues with contrasting chemical composition under humid tropical conditions – decomposition and nutrient release. **Soil Biology and Biochemistry**. v.24, p. 1051-1060, 1992.

TOLLENAAR, M.; MCCOLLOUGH, D.E.; DWYER, L.M. Physiological basis of the genetic improvement of corn. In: SLAFER, G.A. **Genetic improvement of field crops**. New York: Marcel Dekker, 1994. cap.4, p. 183-236.

TROUG, E. Test for available soil nitrogen. **Commercial Fertilizer**, Atlanta, v.88, n.4, p. 72, 1954.

UHART, S.A.; ANDRADE, F.H. Nitrogen deficiency in maize. I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. **Crop Science**, v.35, p.1376-1383, 1995.

ULGER, A.C.; BECKER, A.C.; KANT, G. Response of various maize inbred line and hybrids to increase rates of nitrogen fertilizer. **J. Agron. Crop. Sci.**, 159:157-163, 1987.

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

URQUIAGA, S.; LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K.; MORAES, S.O.; VICTORIA, R.L. Variação do nitrogênio nativo e o proveniente do fertilizante em Terra Roxa Estruturada durante o desenvolvimento da cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 8: 223-227, 1984.

VARGAS, L.K.; SELBACH, P.A.; SÁ, E.L.S. de. Imobilização de nitrogênio em solo cultivado com milho em sucessão à aveia preta nos sistemas plantio direto e convencional. **Ciencia Rural**. Jan./fev. 2005, vol.35, n.1, p. 76-83.

VARGAS, L.K.; SELBACH, P.A.; SÁ, E.L.S. de. Alterações microbianas no solo durante o ciclo do milho nos sistemas plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2004, vol.39, n.8, p. 749-755.

VARVEL, G.E.; SCHEPERS, J.S.; FRANCIS, D.D. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v.61, n.4, p. 1233-1239, 1997.

VASCONCELLOS, C.A.; MARRIEL, I.E.; SANTOS, F.G. dos et al. Sorghum residues and nitrogen mineralization in a "cerrado" Oxisol. **Sci. agric.** [online]. Apr./June 2001, vol.58, no.2 [cited 26 January 2006], p.373-379. Available from World Wide Web: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162001000200022&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0103-9016.

VASCONCELLOS, C.A.; CAMPOLINA, D.C.A.; SANTOS, F.G.; PITTA, G.V.E.; MARRIEL, I.E. Resposta da soja e da biomassa de carbono do solo aos resíduos de cinco genótipos de sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p. 69-77, 1999.

VELLY, J.; EGOUMENIDES, C.; PICHOT, J. L'azote extractible par une solution de KCl et la fourniture d'azote a la plante dans 40 sols tropicaux. **Agronomie Tropicale**, Paris, v. 35, n.4, p. 374-380, 1980.

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

VICTORIA, R.L.; COLAÇO, W.; MAGALHÃES, A.M.T. Mineralização e volatilização de nitrogênio do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21, Guarapari, 1987. **Anais**. Campinas: SBCS, 1988. p.379-387.

VIRGIL, M.F.; KISSEL, D.E. Equations for estimating the amount of nitrogen mineralized from crop residues. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.55, p. 757-761, 1991.

WASKOM, R.M.; WESTFALL, D.G.; SPELLMAN, D.E.; SOLTANPOUR, P.N. Monitoring nitrogen status of corn with a portable chlorophyll meter. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.27, n.3, p. 545-560, 1996.

WATSON, J.R.; PARSONS, J.W. Studies of soil organo-mineral fractions. **J. Soil Sci.**, Scotland, n.1, v.25, p. 1-15, 1974.

CAPÍTULO ÚNICO

**Avaliação da disponibilidade de nitrogênio para o milho (*Zea mays*)
em solo do Distrito Federal.**

Trabalho a ser encaminhado para publicação na revista Pesquisa Agropecuária Brasileira

AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE NITROGÊNIO PARA O MILHO (*Zea mays*) EM SOLO DO DISTRITO FEDERAL.¹

Desirée Duarte Serra²; Sebastião Alberto de Oliveira³

¹ Parte da dissertação de Mestrado em Ciências Agrárias/Gestão de Solo e Água do primeiro autor, apresentada à Universidade de Brasília (UnB). Recebido para publicação em 04-05-2006 e aceito em .

² Eng^a Agrônoma, Pós-graduanda em Ciências Agrárias da Universidade de Brasília. FAV/UnB. E-mail: deserra@terra.com.br

³ Prof. Adjunto, Doutor, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, UnB, Caixa Postal 04508, CEP 70910-970 Brasília – DF, e-mail: oliveira@unb.br

RESUMO

Com o objetivo de realizar o estudo de calibração do nitrogênio do solo, por meio de diferentes extratores químicos para o milho, foi instalado um experimento em um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa, no ano agrícola 2004/2005, na Fazenda Água Limpa/UnB. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com seis tratamentos de N (0-70-140-210-280-350 kg ha⁻¹). Foram coletadas amostras de solo, no total de 10 amostras por parcela, nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, as quais foram utilizadas no teste de calibração. Dentre os extratores químicos testados, os que apresentaram maior correlação com a produtividade do milho foram: H₂O₂/MnO₂ (R² = 0,821⁺); KCl 2M (R² = 0,788⁺) e solução tampão pH = 11,2 + NO₃⁻ (R² = 0,775⁺), sendo o método da solução tampão pH = 11,2 + NO₃⁻ o mais recomendado para análise de rotina, por ser um método rápido e simples. As menores correlações observadas foram para o NO₃⁻ + NH₄⁺ trocável, extraído pelo KCl 1N (R = 0,718), indicando que quando analisado individualmente, não é o índice mais apropriado para fins de adubação nitrogenada. A produtividade do milho foi afetada positivamente pela adubação nitrogenada, com rendimentos crescentes até 210 kg N ha⁻¹. A dose econômica de N, considerando a relação preço do N/preço do produto de 11/1 até 9/1, variou de 56 kg N ha⁻¹ até 83 kg N ha⁻¹, respectivamente.

Palavras-chave: análise de solo, adubação nitrogenada, *Zea mays*, teste de calibração.

**EVALUATION OF NITROGEN AVAILABILITY FOR MAIZE (*Zea mays*) IN SOIL
OF THE FEDERAL DISTRICT.**

ABSTRACT

The purpose of this work was to carry through the study of calibration of soil nitrogen extracted by chemical extractors, for maize. An experimental trial was set up in a Dark Yellow Latosol, in agricultural year 2004/2005, at Água Limpa Farm/UnB. A randomized block design was used, with six treatments of N (0-70-140-210-280-350 kg ha⁻¹). Samples of soil were collected, in the depths of 0-20 cm and 20-40 cm, which was used in the calibration test. The following extractors showed the highest correlation with the productivity of the maize: H₂O₂/MnO₂ (R² = 0,821⁺); KCl 2M (R² = 0,788⁺) and buffer solution pH = 11,2 + NO₃⁻ (R² = 0,775⁺). Buffer solution pH = 11,2 + NO₃⁻ is the most recommended method for routine analysis, because it is simple and fast. Maize productivity was affected positively by nitrogen fertilization, with increasing incomes up to 210 kg N ha⁻¹. The economic dose of N, considering the relation price of N/price of the product 11/1 to 9/1, varied of 56 kg N ha⁻¹ up to 83 kg N ha⁻¹, respectively.

Key words: soil analysis, nitrogen fertilization, *Zea mays*, calibration test.

Avaliação da disponibilidade de nitrogênio para o milho (*Zea mays*) em solo do Distrito Federal.

Autora: DESIRÉE DUARTE SERRA

Orientador: Prof. Dr. SEBASTIÃO ALBERTO DE OLIVEIRA

INTRODUÇÃO

Uma das formas de se aumentar a produtividade da cultura é, sem dúvida, a nutrição mineral adequada (Büll & Cantarella, 1993). As necessidades nutricionais do milho, assim como de qualquer planta, são determinadas pelas quantidades totais de nutrientes absorvidos. O conhecimento dessas quantidades permite estimar as taxas que serão exportadas através da colheita dos grãos e as que deverão ser restituídas ao solo.

O milho é uma das culturas mais exigentes em fertilizantes, especialmente os nitrogenados, os quais proporcionam os maiores acréscimos no rendimento de grãos (Rambo et al., 2004a). Segundo Malavolta & Romero (1975), Lantmann et al. (1986), Cantarella & Raij (1986), França et al. (1986), 70 a 90% dos ensaios de adubação com milho realizados em campo, no Brasil, apresentam respostas à aplicação de nitrogênio.

Entretanto, a eficiência do uso de nitrogênio (N) em cereais no mundo é de apenas 33% (Rambo et al., 2004b), tendo-se uma perda anual de 15,9 bilhões de dólares em adubação nitrogenada (Raun & Johnson, 1999).

De acordo com Oliveira (1987), a decomposição da matéria orgânica do solo é um processo importante de suprimento natural de nitrogênio para as plantas. Em solos de boa fertilidade ou devidamente corrigidos, o nitrogênio, que normalmente não se acumula em formas prontamente disponíveis no solo, é que controla os níveis de produtividade do milho (Bull & Cantarella, 1993).

Na grande maioria dos solos, uma quantidade significativa de nitrogênio é mineralizada durante o crescimento vegetal (Keeney, 1982). Em solos de cerrado, existe uma quantidade apreciável de N nítrico acumulado no subsolo, tanto em solos virgens como em solos cultivados (Oliveira, 1987).

A variabilidade das condições meteorológicas e de solo, como a umidade, temperatura, lixiviação, atividade microbiana, matéria orgânica, profundidade do solo, pH e textura (Hadas, et al., 1986; Oliveira, 1987; Thorburn et al., 2005); associada aos múltiplos processos que interferem na complexa dinâmica do N no solo (volatilização, imobilização-mobilização, nitrificação, desnitrificação, mineralização) e na sua relação com a planta, podem ocasionar grandes modificações na disponibilidade e na necessidade deste nutriente durante a ontogenia da planta (Rambo et al., 2004a).

Além disso, ao contrário do que ocorre com os outros macronutrientes primários, a análise de solo não fornece parâmetros seguros para prever as respostas à aplicação de nitrogênio. Embora se admita que pelo menos metade do nitrogênio absorvido pela planta de milho provenha do solo em culturas adubadas com até cerca de 100 kg ha⁻¹ (Büll & Cantarella, 1993), não há métodos seguros para avaliar a contribuição do solo. Com isso, grande parte das recomendações atuais para a adubação nitrogenada são realizadas com base em curvas de resposta, histórico da área e produtividade esperada.

Entretanto, no Sul do Brasil, a recomendação de adubação nitrogenada apresentou melhoria expressiva recentemente (Rambo et al., 2004b), passando a considerar a cultura anterior ao milho, o teor de matéria orgânica do solo e a expectativa de rendimento de grãos (Amado et al., 2002). Considerando o sistema de recomendação como em constante aperfeiçoamento, a inclusão de parâmetros complementares de solo e de planta que permitam o monitoramento da disponibilidade deste nutriente durante o ciclo da cultura é uma melhoria potencial, visando maior precisão das doses recomendadas, bem como maior flexibilidade do manejo do N na cultura do milho (Argenta, 2001).

Dentre os parâmetros de solo utilizados como indicadores do nível de N no solo, o teor de N mineral, especialmente o nitrato, tem-se destacado (Rambo et al., 2004b).

Diversos métodos têm sido propostos para a avaliação de N no solo, nos últimos anos. Inicialmente, os métodos mais estudados foram os biológicos, tanto por incubação anaeróbica (Waring & Bremner, 1964), como por aeróbica (Keeney & Bremner, 1966a). Os métodos químicos, mais rápidos e simples, tendem a substituir os primeiros, podendo ser utilizados em análises de rotina (Keeney & Bremner, 1966a; Gianello, 1985; Oliveira, 1987 e 1989; Eciolaza e Oliveira, 1993).

Oliveira (1987), em trabalho de correlação, onde foram testados diversos extratores químicos, utilizando o trigo (*Triticum aestivum*) como planta indicadora do N absorvido, observou que os extratores mais promissores, em ordem decrescente, foram: KCl 2N 100°C, H₂O₂/MnO₂, tampão fosfato-borato pH=11,2. Constatou também, no trabalho de calibração,

que os teores de N (mineral e orgânico) do solo extraídos com diferentes extratores químicos, a duas profundidades, apresentaram altos coeficientes de correlação com a produtividade de grãos.

Considerando que o fertilizante nitrogenado possui um custo elevado, além dos impactos negativos quando perdido para o meio ambiente (Matson et al., 1998; Thorburn et al., 2005), o conhecimento dos teores de nitrogênio existentes no solo reflete a tendência atual de racionalizar a utilização de insumos e recursos, visando uma produção mais sustentável, duradoura e economicamente viável.

OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo principal realizar o estudo de calibração do nitrogênio no solo, por meio de diferentes extratores químicos para o milho, além de determinar as curvas de resposta do milho ao N; analisar os teores de nitrogênio nos grãos; e calcular a dose econômica e os níveis críticos deste nutriente no solo.

MATERIAL E MÉTODOS

LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2004/2005, na Fazenda Água Limpa/UnB, localizada na região administrativa do Lago Sul - Distrito Federal, nas coordenadas long 47° 55' 56.02'' W, lat 15° 56' 59.40'' S. As análises de solo e de material vegetal foram feitas no Laboratório de Química do Solo, da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília (UnB).

CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Foram coletadas amostras de solo da área experimental nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade. As amostras foram secadas ao ar, peneiradas (malha 2 mm) e homogeneizadas. As análises granulométricas e químicas (Tabela 1), realizadas antecipadamente à calagem, foram feitas segundo Embrapa (1979). A calagem foi feita para o nível de 50% de saturação por bases (Sousa & Lobato, 2002), com calcário filler (PRNT =

100%). Para as adubações fosfatada e potássica, tomou-se por base a análise do solo, seguindo as recomendações de Sousa & Lobato (2002).

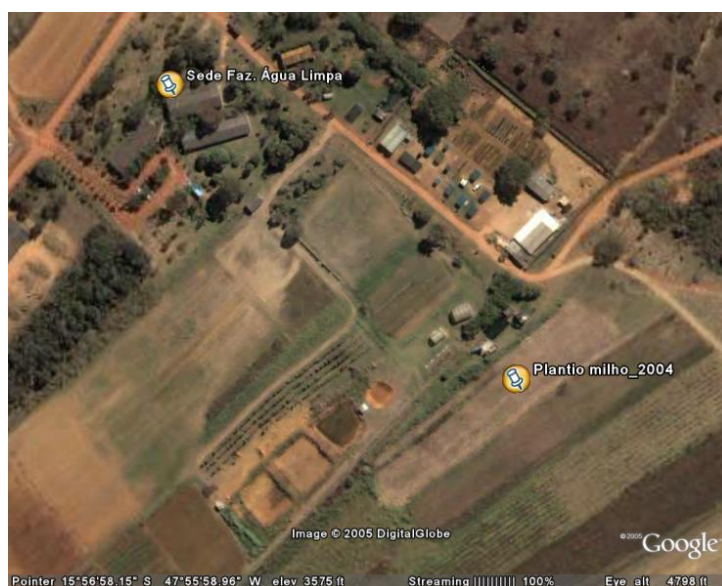


Figura 1. Imagem da área experimental, Fazenda Água Limpa – UnB (Fonte: <http://earth.google.com/>).

Tabela 1. Caracterização química e granulométrica do solo da área experimental (FAL-UnB), e quantidade de calcário (PRNT = 100%) para elevar a saturação por bases a 50%.

| Variáveis | Profundidade (cm) | |
|--|-------------------|-------|
| | 0-20 | 20-40 |
| pH _{H₂O} | 4,25 | 4,20 |
| P (Mehlich 1) (mg dm ⁻³) | 5,46 | 1,94 |
| Ca (cmol _c dm ⁻³) | 1,75 | 1,30 |
| Mg (cmol _c dm ⁻³) | 0,45 | 0,40 |
| K (cmol _c dm ⁻³) | 0,14 | 0,08 |
| Al (cmol _c dm ⁻³) | 0,00 | 0,00 |
| H + Al (cmol _c dm ⁻³) | 6,60 | 4,80 |
| Matéria orgânica (g dm ⁻³) | 48,00 | 41,00 |
| CTC (cmol _c dm ⁻³) | 8,94 | 6,58 |
| Saturação por bases (%) | 26,17 | 27,02 |
| Argila (da kg ⁻¹) | 41,7 | 50,4 |
| Silte (da kg ⁻¹) | 18,3 | 19,2 |
| Areia (da kg ⁻¹) | 40,0 | 30,3 |
| Calcário (Mg ha ⁻¹) | 2,13 | - |

TESTE DE CALIBRAÇÃO

MÉTODOS QUÍMICOS PARA AVALIAÇÃO DE NITROGÊNIO NO SOLO.

Curva Padrão.

Os cálculos para a avaliação do nitrogênio no solo foram realizados a partir da curva padrão, obtida com a adição de 5 mL de solução padrão de nitrogênio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) contendo 0-12-32-60-88 $\mu\text{g N mL}^{-1}$ no microdestilador, e acrescentando-se 0,2 g de óxido de magnésio (MgO), seguido de destilação. O destilado foi recolhido em balão volumétrico de 50 mL, contendo 10 mL de HCl 0,05N até o volume atingir 35 mL. Seguiu-se à quantificação de nitrogênio utilizando 1 mL do reagente de Nessler e leitura em espectrofotômetro a 440 nm (Oliveira, 1981).

Extração com $\text{H}_2\text{O}_2/\text{MnO}_2$ (Oliveira, 1987).

Foram colocados 2 g de solo em béquer de 100 mL, seguido da adição de 2 mL de H_2O_2 30%, e repouso por 30 minutos. O excesso de H_2O_2 foi eliminado com a adição de 0,1 g de MnO_2 . Após a efervescência, adicionou-se 15 mL de água destilada. Todo o material foi então transferido para o microdestilador Kjeldahl. Adicionou-se 0,2 g de MgO e 0,1 g de liga de Devarda. O destilado foi recolhido durante 4 minutos em balão volumétrico contendo 10 mL de HCl 0,05N. O NH_4 foi analisado por colorimetria (Oliveira, 1986).

Extração com solução de Na_3PO_4 /bórax (tampão pH=11,2) (Gianello, 1985).

Foram transferidos 2,5 g de solo para o microdestilador, seguido da adição de 25 mL da solução tampão fosfato-borato pH=11,2 (200 g de $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ e 50 g de bórax em 2000 mL de água). Para o ajuste do pH da solução tampão, foi adicionado HCl concentrado (38%). A destilação e análise do nitrogênio foram feitas como indicado na curva padrão.

Extração com solução de Na_3PO_4 /bórax (tampão pH=11,2) modificado de Gianello (1985).

Foram transferidos 2,5 g de solo para o microdestilador, seguido da adição de 25 mL da solução tampão fosfato-borato pH=11,2 e 0,1 g de liga de Devarda, para a quantificação do amônio mais nitrato.

Como uma das desvantagens do método é a excessiva formação de espuma em presença de liga metálica, foi necessário adicionar 15 gotas de Luftal (dimeticona), por se tratar de um agente antiespumante, que diminui a tensão superficial dos líquidos, levando ao rompimento das bolhas formadas durante a destilação, que estavam provocando a contaminação das amostras destiladas. A destilação e análise do nitrogênio foram feitas como indicado na curva padrão.

Extração com KCl 2M a 100°C modificado de Gianello (1985).

Colocou-se 3 g de solo em tubo de digestão (200 mm x 25 mm), seguido da adição de 20 mL de KCl 2M. O tubo foi colocado aberto no bloco digestor de alumínio previamente aquecido a 100°C, tampado com rolhas de silicone decorridos 30 minutos, e mantido nesta temperatura por 4 horas. Todo o material foi transferido para um microdestilador, adicionando-se 0,2 g de MgO, 0,1 g de liga de Devarda e 20 gotas de Luftal (dimeticona). A destilação e análise do nitrogênio foram feitas como indicado na curva padrão.

Extração com KCl 1N.

Foram transferidos 2 g de solo para o microdestilador, adicionando-se então, 10 mL de KCl 1N, 0,2 g de MgO e 0,1 g de liga de Devarda. Foram adicionadas 8 gotas de Luftal (dimeticona), para reduzir a formação de espuma. A destilação e análise do nitrogênio foram feitas como indicado na curva padrão.

ANÁLISE DE NITROGÊNIO NOS GRÃOS.

Curva Padrão.

Para balões volumétricos de 50 mL, foram pipetados 5 mL de cada solução de trabalho de nitrogênio (0-12-32-60 $\mu\text{g N mL}^{-1}$), e transferidos para o microdestilador, e acrescentou-se 0,2 g de óxido de magnésio (MgO), seguido de destilação. O destilado foi recolhido em balão volumétrico de 50 mL, contendo 10 mL de HCl 0,05N até o volume atingir 35 mL. Seguiu-se à quantificação de nitrogênio utilizando 1 mL do reagente de Nessler e leitura em espectrofotômetro a 440 nm (Oliveira, 1981).

Digestão do material vegetal (Oliveira, 1986).

Transferiu-se 0,1 g de material vegetal para um tubo de digestão (200 mm x 25 mm), seguido da adição de 2 mL de ácido sulfúrico concentrado, e repouso por uma noite. No dia seguinte, o tubo foi colocado no bloco digestor ainda frio, e elevou-se a temperatura até aproximadamente 300°C. Após o aparecimento de um líquido escuro, retirou-se o tubo do bloco digestor, deixando-o esfriar, e adicionou-se 0,5 mL de H₂O₂ 30% (100 volumes). Foi então, levado novamente para o bloco, permanecendo aquecido até o extrato ficar incolor, passando em seguida para uma coloração amarela, quando foi retirado do bloco digestor, deixando-o esfriar e, em seguida, adicionou-se 5 gotas de H₂O₂. Colocou-se o tubo mais uma vez no bloco, com a temperatura ajustada para 260-280°C, deixando digerir até coloração clara definitiva. Transferiu-se o conteúdo para um balão de 100 mL e completou-se o volume com água destilada.

Colocou-se 5 mL do extrato no microdestilador, seguido da adição de 10 mL de NaOH 1N e 10 mL de água destilada. A destilação e análise do nitrogênio foram feitas como indicado na curva padrão.

RESPOSTA DO MILHO À ADUBAÇÃO NITROGENADA

O experimento foi instalado em um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa, com propriedades químicas e características físicas conforme tabela 1. Sessenta dias antes do plantio, foram aplicados 2,13 Mg ha⁻¹ de calcário filler (PRNT = 100%), seguida de uma aração e uma gradagem com grade niveladora. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com seis tratamentos de N (0-70-140-210-280-350 kg ha⁻¹), aplicados a lanço e incorporados com enxada, na forma de sulfato de amônio, com quatro repetições em parcelas de 6x6 m, com espaçamento de 80 cm entre linhas. As quatro linhas centrais formaram a parcela útil.

Na adubação de plantio, foram utilizados 100 kg P₂O₅ ha⁻¹ na forma de superfosfato simples, 60 kg K₂O ha⁻¹ na forma de cloreto de potássio e 25 kg ha⁻¹ de sulfato de zinco. Na semeadura (24/12/2004), foram utilizadas sete sementes/m linear do híbrido Garra, com índice de germinação de 85%.

No estádio V3 (13/01/2005), foram coletadas amostras de solo, no total de 10 amostras por parcela, nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, as quais foram utilizadas no teste de calibração. As amostras foram secadas a 70°C (Peterson & Attoe, 1965) em estufa com

circulação de ar durante 72 horas, passadas em peneira de 2 mm e acondicionadas em vasilhames plásticos.

Realizou-se uma adubação de cobertura com 60 kg K₂O ha⁻¹ na forma de cloreto de potássio no estádio V6.

Durante a condução do experimento, foram realizadas duas capinas, e não houve necessidade de irrigação suplementar. O controle da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) foi realizado com uma aplicação do inseticida Decis 50 SC, na dosagem de 50 mL ha⁻¹.

Na colheita (27/04/2005), foi avaliada a produção e o nitrogênio nos grãos (Oliveira, 1986).

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados de produtividade foram correlacionados com o nitrogênio extraído pelos diferentes extratores e com as doses de N aplicadas. Estudou-se também a correlação existente entre os teores de N no solo medido pelos diversos métodos e os teores nos grãos.

DOSE ECONÔMICA

Determinou-se a dose econômica exploratória para o nitrogênio, em função de diferentes relações entre o preço do produto e o preço do quilograma do nutriente em estudo. Os coeficientes (b) obtidos de regressão múltipla entre doses de nutriente e produtividade, foram aplicados na seguinte equação relativa à produção: $Y = b_0 + b_1N + b_{11}N^2$, cuja função receita líquida: $RL = wY - nN - CF$. Ambas possuem a mesma forma algébrica. Assim, 'w' é o preço do quilograma (kg) do milho, 'x' é o valor do quilograma (kg) de N, ambos em dólar (US\$ 1 = R\$ 2,28), e CF representa os custos fixos. Os valores monetários utilizados são referentes ao mês de janeiro/2006. As doses econômicas foram calculadas através das derivadas parciais.

$$\frac{\partial Y}{\partial X} = b_1 + 2b_{11}X \dots (Eq.1)$$

$$\frac{\partial RL}{\partial X} = 0 \Rightarrow \frac{\partial Y}{\partial X} = x/w \dots (Eq.1a)$$

Igualando-se as equações, tem-se:

$$X^* = \frac{b_1 - x/w}{-2b_{11}}$$

Onde X* representa a dose econômica de N (kg ha⁻¹).

Calculou-se também o nível crítico fisioeconômico (Malavolta & Cruz, 1971; Malavolta et al., 1999), substituindo-se as doses econômicas previamente determinadas nas equações de regressão obtidas entre as doses de N aplicadas *versus* os valores de N extraídos do solo pelos extratores testados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

TESTE DE CALIBRAÇÃO

Na tabela 2 são apresentados os teores médios de nitrogênio (mg kg⁻¹) extraído do solo pelos cinco extratores, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, para os cinco níveis de adubação nitrogenada.

Tabela 2. Valores médios de N (mg kg⁻¹), em diferentes formas, extraído do solo, para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm (Média de quatro repetições).

| Doses de N (kg ha ⁻¹) | KCl 1N (NH ₄ ⁺ + NO ₃ ⁻) | Tampão pH=11,2 (NH ₄ ⁺) | Tampão pH=11,2 + NO ₃ ⁻ | H ₂ O ₂ /MnO ₂ (NH ₄ ⁺ + NO ₃ ⁻) | KCl 2M (NH ₄ ⁺ + NO ₃ ⁻) |
|--------------------------------------|--|---|--|---|--|
| 0-20 cm | | | | | |
| 0 | 48,4 | 26,0 | 53,1 | 49,6 | 49,9 |
| 70 | 71,6 | 26,9 | 72,2 | 66,6 | 71,8 |
| 140 | 64,0 | 27,5 | 71,0 | 66,4 | 69,6 |
| 210 | 93,8 | 31,7 | 95,1 | 88,7 | 96,1 |
| 280 | 106,6 | 38,3 | 97,5 | 93,6 | 105,2 |
| 350 | 126,8 | 44,0 | 113,8 | 112,8 | 122,9 |
| 20-40 cm | | | | | |
| 0 | 47,4 | 16,8 | 50,0 | 50,1 | 48,3 |
| 70 | 93,2 | 19,4 | 75,7 | 77,0 | 82,2 |
| 140 | 94,8 | 21,9 | 86,6 | 86,8 | 90,0 |
| 210 | 129,5 | 36,1 | 115,5 | 109,3 | 115,0 |
| 280 | 105,1 | 38,1 | 104,4 | 99,1 | 105,8 |
| 350 | 146,3 | 66,6 | 144,8 | 116,7 | 134,2 |

Nas figuras 2 a 11 são apresentados os dados de produtividade de grãos em função do nitrogênio extraído do solo por diferentes extratores, a duas profundidades. Verifica-se existência de estreitas correlações entre o $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ e a produtividade dos grãos, tendo o coeficiente de determinação, para os mesmos extratores testados, variado em função da profundidade.

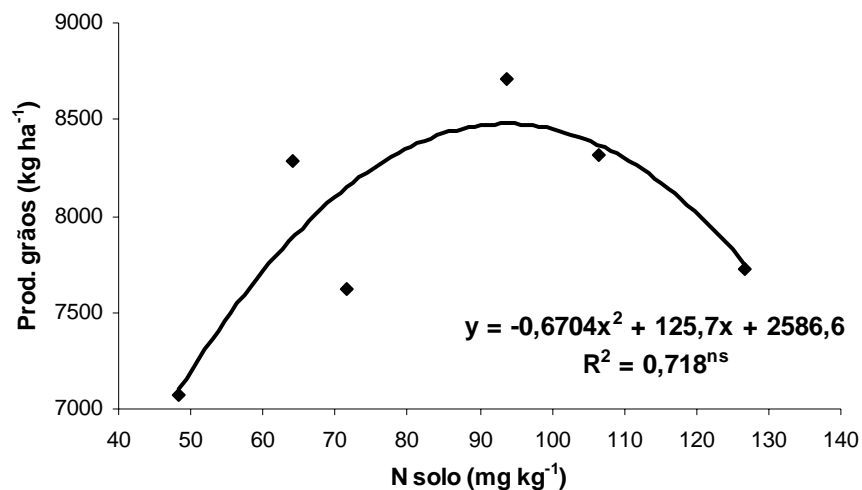


Figura 2. Produtividade da cultura do milho em função do N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, na prof. 0-20 cm, extraído com KCl 1N.

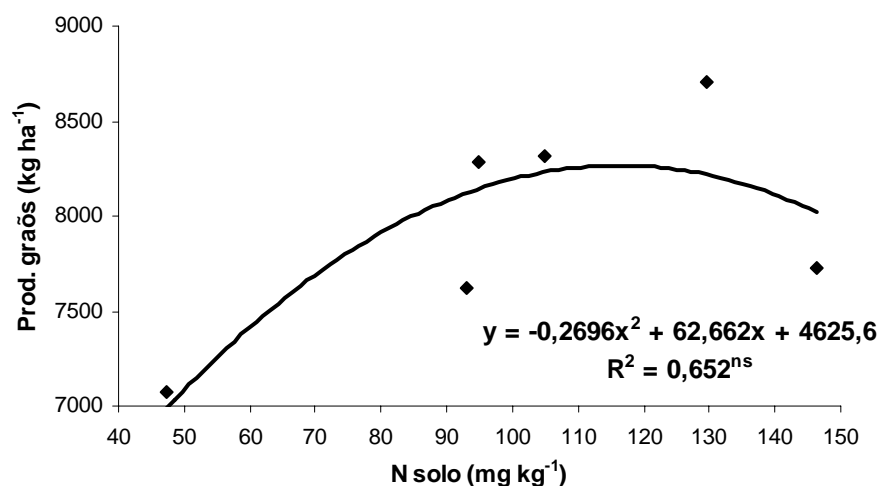


Figura 3. Produtividade da cultura do milho em função do N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, na prof. 20-40 cm, extraído com KCl 1N.

Segundo Keeney & Bremner (1964), Scarsbrook (1965), Singh et al. (1978), Young & Aldag (1982), Stanford & Legg (1988), Drury et al. (1991) e Sousa (1993), os teores de N

trocável nas camadas superficiais são muito baixos ($< 20 \text{ mg kg}^{-1}$), o que pode ser atribuído ao fato de que tanto os microrganismos como as plantas competem pelo N-NH_4^+ presente na solução do solo, fazendo com que o mesmo seja rapidamente imobilizado pelos microrganismos ou absorvido pelas plantas. Como o N-NO_3^- não é adsorvido quimicamente pelas partículas do solo, esta forma de nitrogênio está prontamente disponível para as plantas, e é influenciada pelo teor de argila e água, que pode causar lixiviação.

Dentre os extratores empregados, os que apresentaram melhor coeficiente de determinação com a produtividade, para a profundidade de 0-20 cm, em ordem decrescente, foram: $\text{H}_2\text{O}_2/\text{MnO}_2$ ($R^2 = 0,821^+$), KCl 2M ($R^2 = 0,788^+$) e solução tampão $\text{pH} = 11,2 + \text{NO}_3^-$ ($R^2 = 0,775^+$).

As menores correlações observadas foram para o $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ trocável, extraído pelo KCl 1N ($R^2 = 0,718^{\text{ns}}$ e $R^2 = 0,652^{\text{ns}}$, para as profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, respectivamente), e para a solução tampão $\text{pH} = 11,2$ ($R^2 = 0,730^{\text{ns}}$ e $R^2 = 0,761^{\text{ns}}$, para as profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, respectivamente) indicando não serem índices apropriados para fins de adubação nitrogenada.

Observa-se que para todos os extratores testados, o nitrogênio extraído na profundidade de 20-40 cm apresentou valores superiores ao extraído na camada superficial do solo, demonstrando a lixiviação do nitrato e amônio para as camadas subsuperficiais do solo, o que poderia sugerir ser esta a profundidade mais indicada de amostragem do solo para fins de adubação nitrogenada para o milho, uma vez que o sistema radicular do milho se desenvolve à profundidade maior que 20 cm.

Entretanto, os maiores valores de coeficiente de determinação obtidos entre o nitrogênio extraído pelos cinco extratores químicos testados e a produtividade do milho se deram para a camada de 0-20 cm de profundidade para a maioria dos extratores, indicando um maior aproveitamento do nutriente pela planta a esta profundidade, uma vez que espera-se que haja uma maior absorção nas camadas superficiais, pois a maioria das raízes finas, por conseguinte, o processo de absorção, realiza-se nessa camada.

Dos extratores empregados, para a profundidade de 20-40 cm, o único que apresentou coeficiente de determinação significativo a 5% foi a solução tampão $\text{pH} = 11,2 + \text{NO}_3^-$ ($R^2 = 0,856^+$).

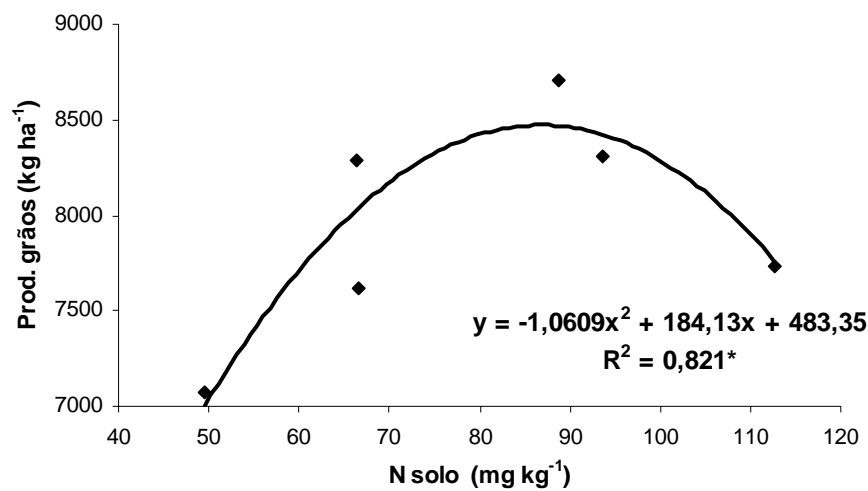


Figura 4. Produtividade da cultura do milho em função do N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, na prof. 0-20 cm, extraído com $\text{H}_2\text{O}_2/\text{MnO}_2$.

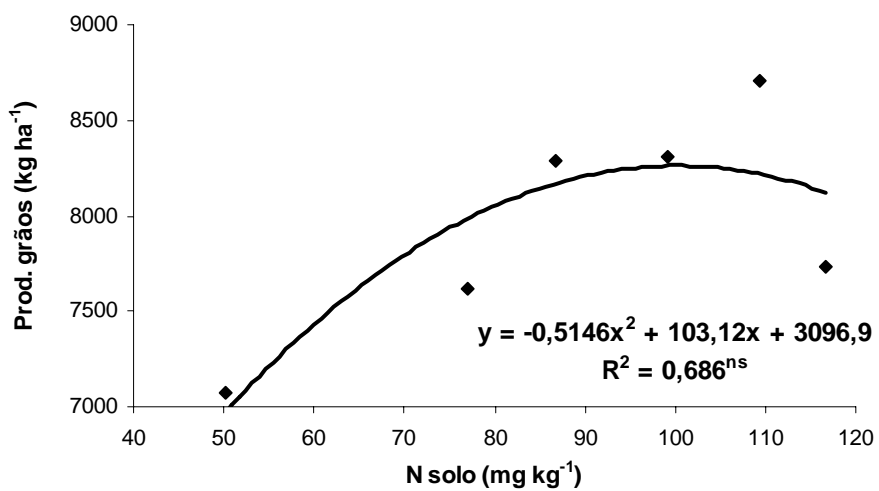


Figura 5. Produtividade da cultura do milho em função do N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$), no solo, na prof. 20-40 cm extraído com $\text{H}_2\text{O}_2/\text{MnO}_2$.

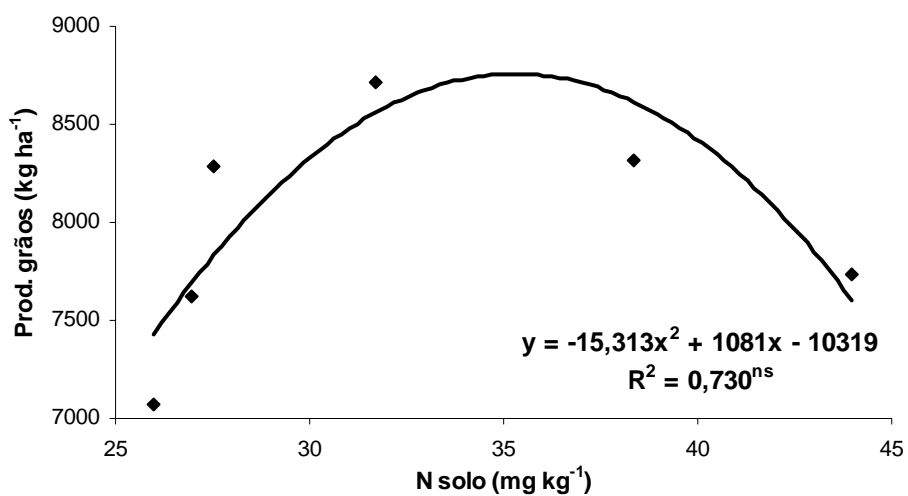


Figura 6. Produtividade da cultura do milho em função do N (NH₄⁺) no solo, na prof. 0-20 cm, extraído com solução tampão pH=11,2.

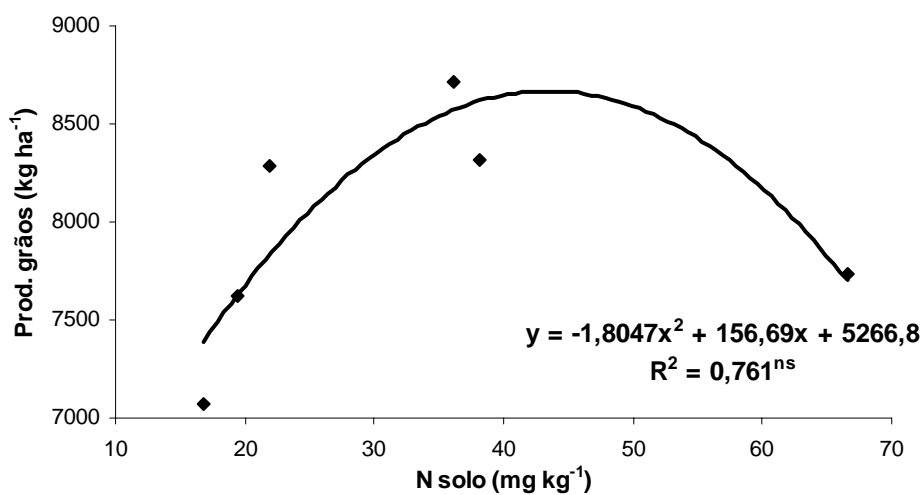


Figura 7. Produtividade da cultura do milho em função do N (NH₄⁺) no solo, na prof. 20-40 cm, extraído com solução tampão pH=11,2.

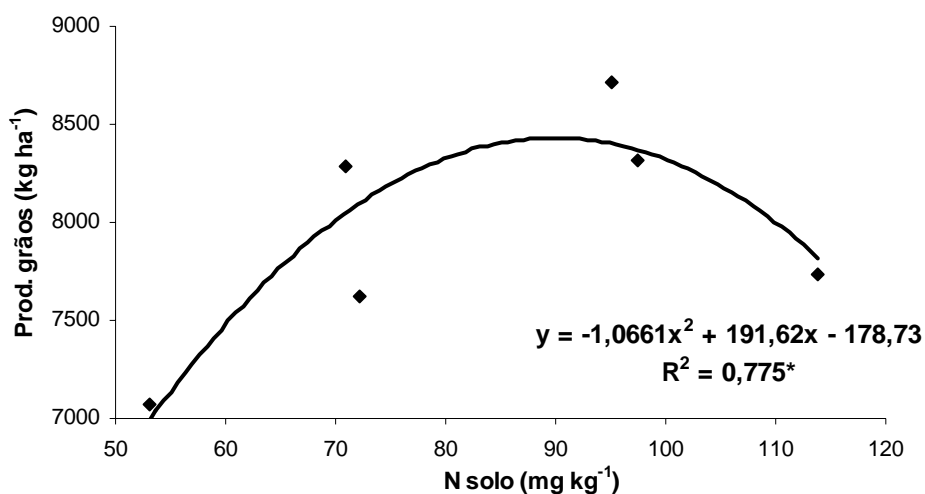


Figura 8. Produtividade da cultura do milho em função do N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, na prof. 0-20 cm, extraído com solução tampão pH=11,2 + NO_3^- .

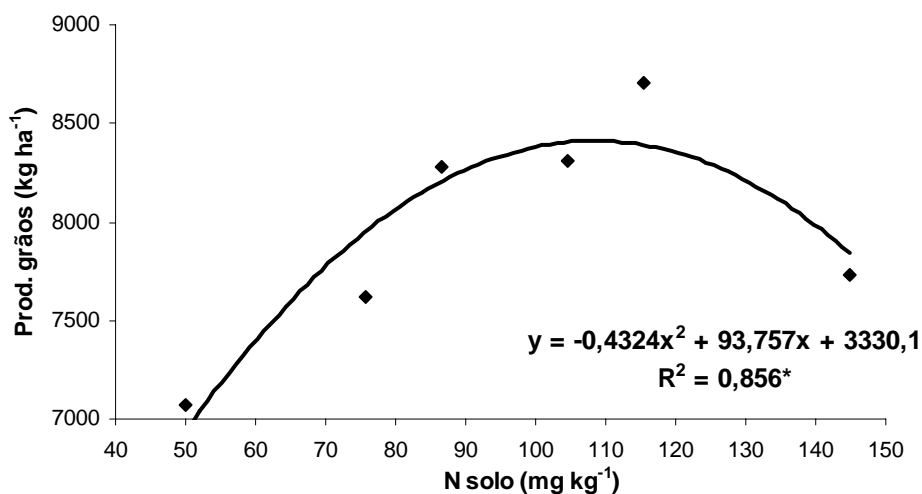


Figura 9. Produtividade da cultura do milho em função do N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, na prof. 20-40 cm, extraído com solução tampão pH=11,2 + NO_3^- .

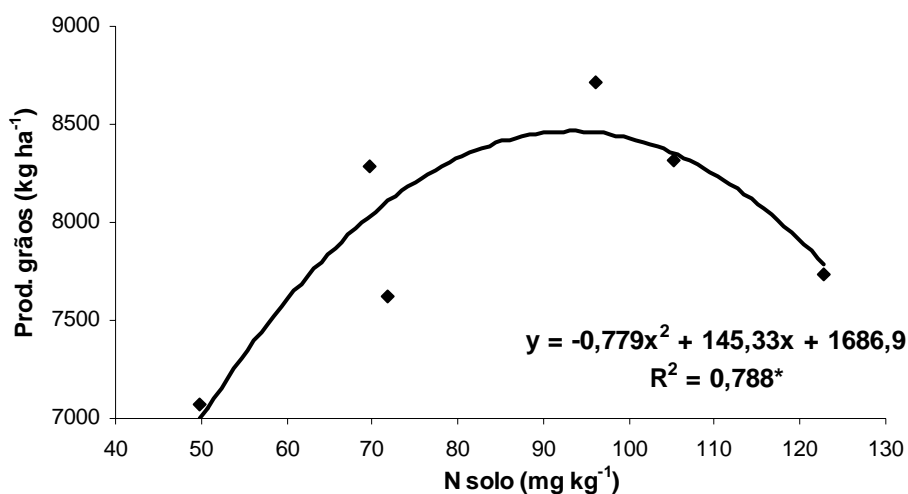


Figura 10. Produtividade da cultura do milho em função do N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, na prof. 0-20 cm, extraído com KCl 2M.

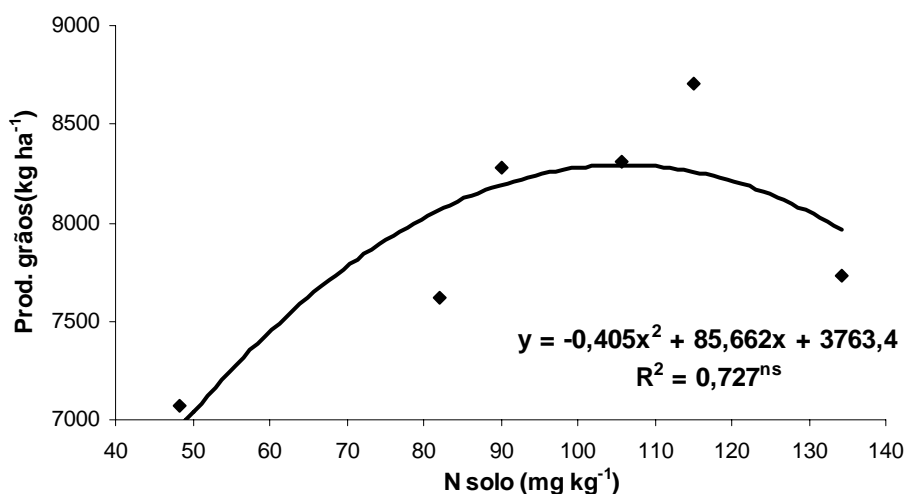


Figura 11. Produtividade da cultura do milho em função do N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, na prof. 20-40 cm, extraído com KCl 2M.

A análise de regressão para as doses de N e teores de N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) extraídos do solo indicou efeito significativo para todos os extratores avaliados (Figuras 12 a 21), sendo que os que apresentaram coeficientes de determinação altamente significativos (1%), para ambas as profundidades, foram: $\text{H}_2\text{O}_2/\text{MnO}_2$ ($R^2 = 0,962^{++}$ e $R^2 = 0,929^{++}$, para as profundidades de 0-

20 e 20-40 cm, respectivamente), e solução tampão fosfato-borato pH=11,2 ($R^2 = 0,991^{++}$ e $R^2 = 0,951^{++}$, para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente).

Observou-se que os teores de NH_4^+ e NO_3^- no solo aumentaram com o incremento da dose de N aplicada, demonstrando que parte do N aplicado ainda se encontrava nas profundidades do solo na ocasião da retirada das amostras de solo para análise. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva et al. (2005).

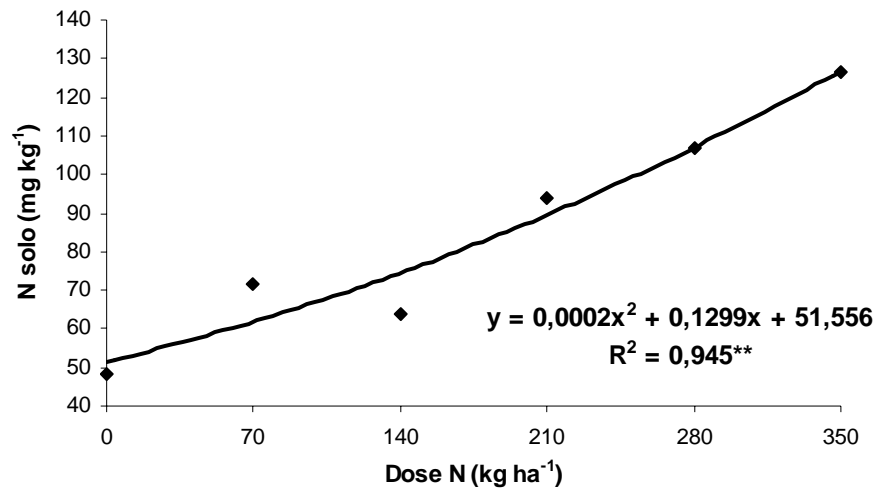


Figura 12. Teores de N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, extraídos com KCl 1N, em função das doses de adubo nitrogenado aplicada, na prof. 0-20cm.

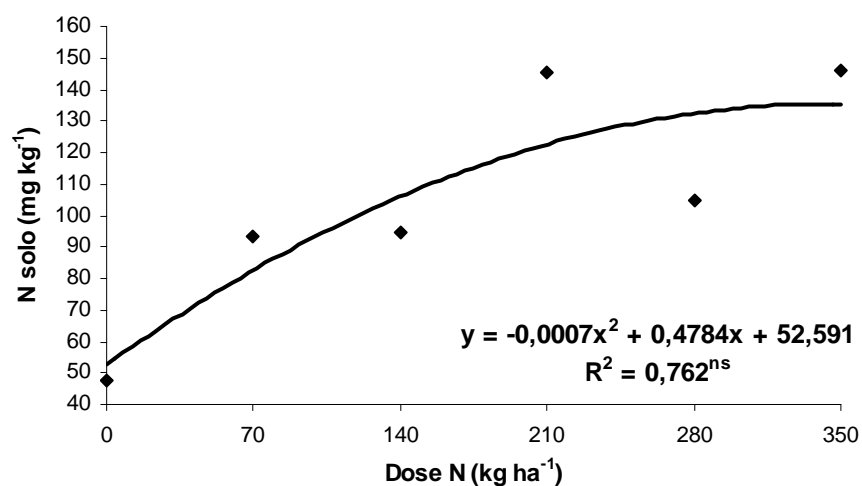


Figura 13. Teores de N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, extraídos com KCl 1N, em função das doses de adubo nitrogenado aplicada, na prof. 20-40 cm.

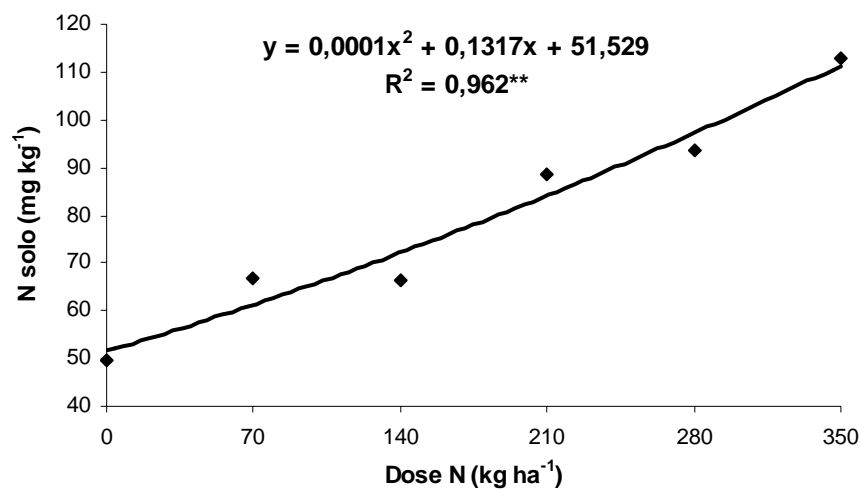


Figura 14. Teores de N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, extraídos com $\text{H}_2\text{O}_2/\text{MnO}_2$, em função das doses de adubo nitrogenado aplicada, na prof. 0-20 cm.

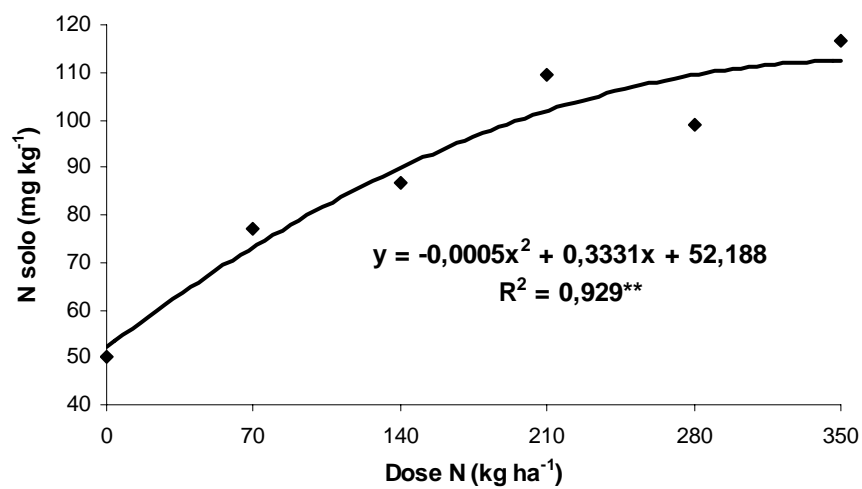


Figura 15. Teores de N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, extraídos com $\text{H}_2\text{O}_2/\text{MnO}_2$, em função das doses de adubo nitrogenado aplicada, na prof. 20-40 cm.

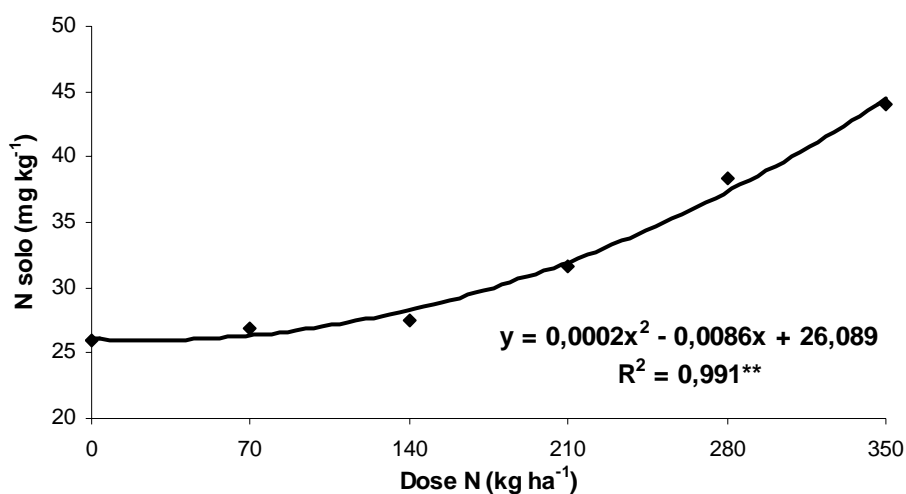


Figura 16. Teores de N (NH_4^+) no solo, extraídos com solução tampão pH=11,2, em função das doses de adubo nitrogenado aplicada, na prof. 0-20 cm.

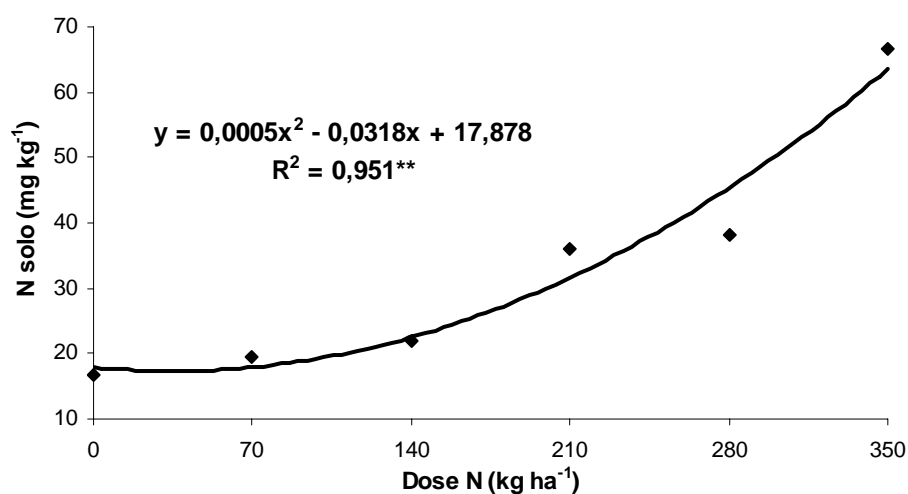


Figura 17. Teores de N (NH_4^+) no solo, extraídos com solução tampão pH=11,2, em função das doses de adubo nitrogenado aplicada, na prof. 20-40 cm.

Verificou-se que os coeficientes de determinação entre o N extraído do solo pelos diferentes extratores e a dose de N aplicada apresentaram valores mais elevados na profundidade de 0-20 cm, indicando ser esta a profundidade mais indicada de amostragem do solo para fins de adubação nitrogenada para o milho.

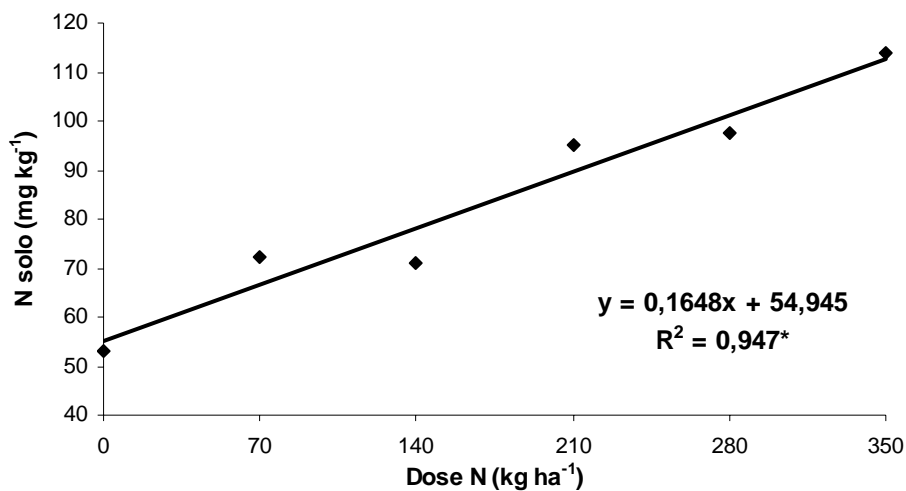


Figura 18. Teores de N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, extraídos com solução tampão pH=11,2 + NO_3^- , em função das doses de adubo nitrogenado aplicada, na prof. 0-20 cm.

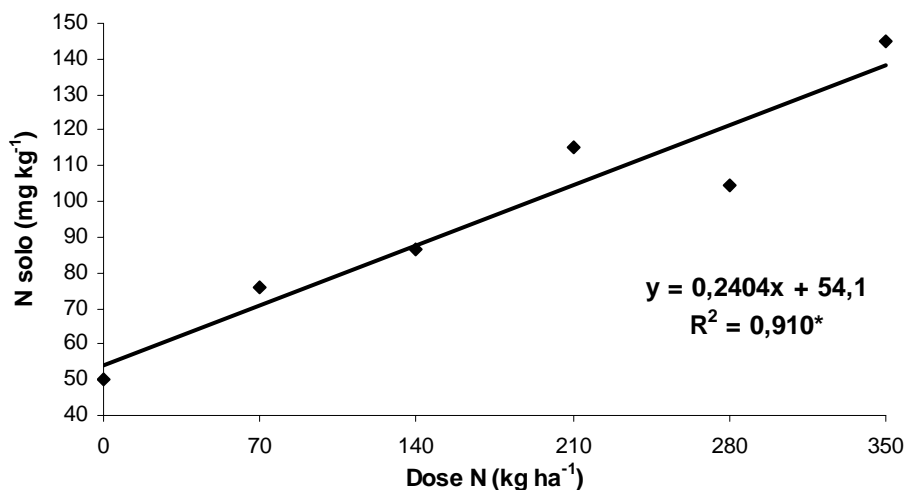


Figura 19. Teores de N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, extraídos com solução tampão pH=11,2 + NO_3^- , em função das doses de adubo nitrogenado aplicada, na prof. 20-40 cm.

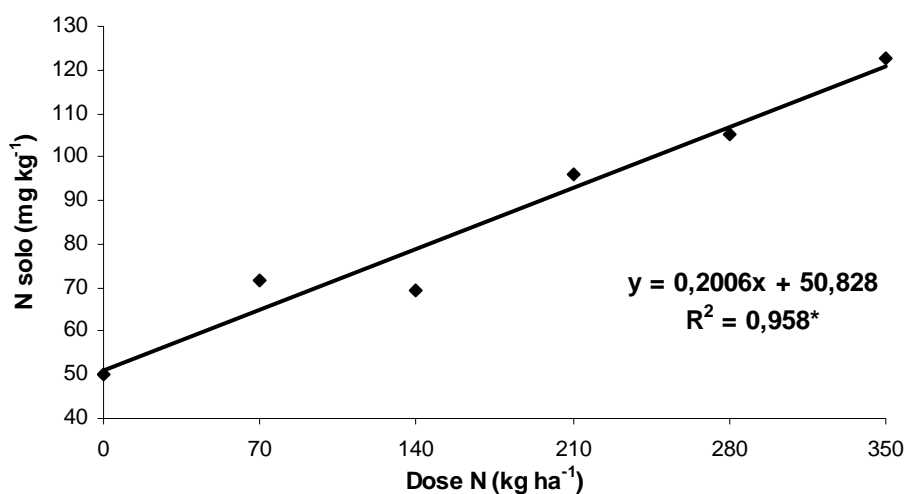


Figura 20. Teores de N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, extraídos com KCl 2 M, em função das doses de adubo nitrogenado aplicada, na prof. 0-20 cm.

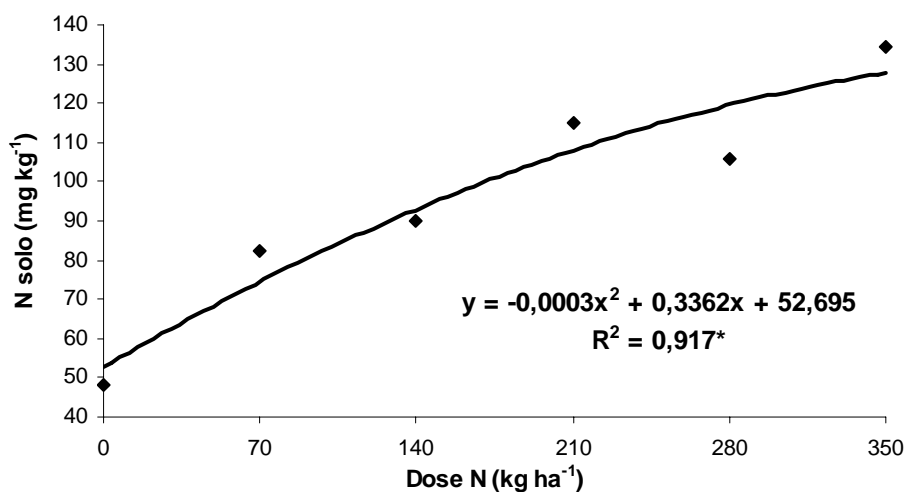


Figura 21. Teores de N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no solo, extraídos com KCl 2 M, em função das doses de adubo nitrogenado aplicada, na prof. 20-40 cm.

Tabela 3. Coeficientes de determinação (R^2) obtidos a partir de regressão entre a produtividade da cultura milho (kg ha^{-1}) e o N (mg kg^{-1}) extraído do solo pelos diferentes extratores, para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm.

| EXTRATOR | Coeficiente de determinação (R^2) | |
|---|---------------------------------------|---------------------|
| | 0-20 cm | 20-40 cm |
| KCl 1N | 0,718 ^{ns} | 0,652 ^{ns} |
| H ₂ O ₂ /MnO ₂ | 0,821 ⁺ | 0,686 ^{ns} |
| Tampão pH=11,2 | 0,730 ^{ns} | 0,761 ^{ns} |
| Tampão pH = 11,2 + NO ₃ ⁻ | 0,775 ⁺ | 0,856 ⁺ |
| KCl 2M | 0,788 ⁺ | 0,727 ^{ns} |

As altas correlações do extrator H₂O₂/MnO₂ com a produtividade da cultura do milho ($R^2 = 0,821^+$) (Figura 4) e com as doses de N aplicadas ($R^2 = 0,962^{++}$) (Figura 14) foram semelhantes aos resultados obtidos por Sahrawat (1982a), para o arroz em solos das Filipinas, Oliveira (1987) para o trigo e Eciolaza (1991) para o milho. Trata-se de uma metodologia simples, com pequeno consumo de reagentes, pouca formação de espuma em presença de liga metálica, além de analisar o nitrato e o amônio no mesmo extrato. Segundo Oliveira (1987), o método apresenta a desvantagem de provavelmente não ser adequado para solos derivados de rochas básicas e ricas em óxido de manganês.

De acordo com Eciolaza (1991), a água oxigenada pode ser considerada uma solução extratora forte, comparável a KMnO₄/ácido ou KMnO₄/alcalino, que também extraíram uma maior fração do N total com relação a outros extratores (Stanford & Smith, 1978; Dolmat et al., 1980; Sahrawat, 1980 e 1982b; Hussain & Malik, 1985a; Hadas et al., 1986). Sahrawat (1980) também encontrou estrita correlação entre o N extraído com H₂O₂ 30% durante 60 min e N absorvido pelo arroz ($R = 0,81^+$), e com o N mineralizado por incubação anaeróbica ($R = 0,86^{++}$) (Sahrawat, 1982b). Resultados semelhantes foram obtidos por Oliveira (1987) entre N absorvido pelo trigo e N extraído com H₂O₂/MnO₂ 30% durante 30 min ($R = 0,91^{++}$), e com a produção de grãos de trigo ($R = 0,993^{++}$) em solos do Distrito Federal.

Gianello (1985), em trabalhos realizados com 33 solos do Rio Grande do Sul e 30 solos de Iowa (EUA) com o objetivo de escolher um método químico rápido, simples e confiável para avaliação do nitrogênio orgânico potencialmente disponível, concluiu que o extrator KCl 2M a 100° C por 4 horas forneceu estreitas correlações com o nitrogênio produzido por incubação anaeróbica. Entretanto, apesar de ser um método que permite a análise de nitrato e amônio e N facilmente mineralizado no mesmo extrato, não está sujeito à interferência de

constituintes orgânicos ou inorgânicos do solo e é aplicável a solos neutros, ácidos ou calcáreos (Bremner & Keeney, 1966; Keeney & Bremner, 1967; Bremner, 1982), apresenta a desvantagem de exigir equipamento apropriado para a extração, e exige maior gasto de tempo e energia. Estes resultados concordam com os encontrados por Oliveira (1987).

A solução tampão pH = 11,2 + NO₃⁻ apresenta a vantagem de extrair, além de nitrato, amônio e N facilmente mineralizado, açúcares aminados do solo. Segundo Oliveira (1987), os métodos mais promissores apresentam a vantagem de avaliar em uma única análise, nitrato e amônio, e N orgânico facilmente mineralizável. Estas três frações são de capital importância na avaliação do N disponível nos solos, o que também é evidenciado pelos estudos realizados com o fim de conhecer o poder do solo em mineralizar N ao longo do ciclo de vida das culturas (Bremner, 1965a; Chew et al., 1976; Bremner & Mulvaney, 1982; Mengel, 1982; Marumoto et al., 1982; Malavolta & Klieman, 1985; Broder & Wagner, 1988; Silva et al. 1999; Deng & Tabatabai, 2000; Klieman & Buso, 2002; Mar et al., 2003; Vieira & Cardoso, 2003). Como desvantagem deste método, destaca-se a possibilidade de formação de espuma na presença de liga metálica.

Com isso, a extração com solução tampão pH 11,2 + NO₃⁻ revelou ser o método mais recomendado para avaliação de N disponível em solos do Distrito Federal, seguido da extração com H₂O₂/MnO₂, por serem métodos rápidos e simples, práticos e baratos para análise de rotina.

O nitrogênio extraído com a solução tampão pH = 11,2 apresentou uma baixa correlação com a produtividade ($R^2 = 0,730^{ns}$) (Figura 6) e coeficiente de determinação altamente significativo com as doses de N aplicadas ao solo ($R^2 = 0,991^{++}$) (Figura 16). Entretanto, apesar de ser um método rápido e simples, do ponto de vista químico, ele não inclui a fração de N-NO₃⁻ (devido à excessiva formação de espuma na presença de liga metálica), a qual é importante na correlação com o N absorvido pelas plantas. Os resultados obtidos são similares aos observados por Oliveira (1987) e Eciolaza (1991), em teste de correlação, o qual obtiveram coeficientes de correlação de 0,792 e 0,838, respectivamente, com o N absorvido pelo trigo e pelo milho. Segundo Sahrawat & Burford (1982), o nitrato contribui entre 10-40% com o N disponível usando KMnO₄/alcalino como solução extratora em solos de planalto sob condições de chuva e seca pronunciadas. Richard et al. (1960), Hussain et al. (1984) e Hussain & Malik (1985b) encontraram melhores correlações ao incluir N-NO₃⁻ na avaliação de N disponível.

O extrator que apresentou menor correlação com a produtividade foi o KCl 1N, para ambas profundidades (Tabela 3). Ozus & Hanway (1966), Sahrawat (1980), Velly et al.

(1980), Eciolaza (1991) encontraram estreita correlação com o KCl 1 N e o nitrogênio absorvido pelo milho. O extrator KCl 1 N apresenta a desvantagem de extrair apenas o nitrogênio trocável ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$). Todavia, o N médio extraído é comparável ao extraído com KCl 2 M (Tabela 2). Eciolaza (1991) afirma que, provavelmente, as formas orgânicas solúveis abundantes em solos tropicais ácidos (Velly et al., 1980) podem ter sido hidrolisadas na presença de MgO (pH = 9,9 - 10,7), como indicado por Bremner (1965b), Sahrawat & Ponnampetruna (1978), Sahrawat (1980), Giroux & Sen Tran (1987), dado que as alíquotas pipetadas para o destilador não foram previamente filtradas. Muitos autores (Kresge & Merkle, 1957; Keeney & Bremner, 1966b; Jenkinson, 1968; Dolmat et al., 1980; Oien & Selmer-Olsen, 1980; Mogilevkina et al., 1982; Diez, 1989) criticam o método de extração com KCl 1 N pelo fato do nitrogênio ser um nutriente muito dinâmico e sujeito a transformações, e consequentemente, os resultados obtidos nem sempre são reproduzíveis.

Os altos coeficientes de determinação justificam o uso dos extratores químicos na quantificação do nitrogênio do solo (Keeney & Bremner, 1966a; Gasser, 1969; Oien & Selmer-Olsen, 1980; Giroux & Sen Tran, 1987; Gianello & Bremner, 1988; Oliveira, 1989; Eciolaza, 1991), ao contrário do afirmado por Kai et al. (1984). Além disso, são mais rápidos e podem ser mais precisos que os métodos biológicos (Gallagher & Bartholomew, 1964; Keeney & Bremner, 1966b; Eciolaza, 1991).

ANÁLISE DE NITROGÊNIO NOS GRÃOS

Nas figuras 22 a 31 são apresentados os dados de teor de nitrogênio nos grãos (da kg^{-1}) em função do nitrogênio extraído por diferentes extratores, a duas profundidades. Verifica-se coeficientes de determinação não significativos para todos os extratores testados.

No milho, a competição por nutriente é influenciada pelo tipo e pela disponibilidade do nutriente, pelo índice de precipitação pluvial e pelo uso eficiente dos nutrientes pelas plantas (Jakelaitis et al., 2005). No caso do nitrogênio, a presença de um competidor durante o crescimento e desenvolvimento do milho pode alterar a disponibilidade deste no solo e a distribuição na planta (Rajcan & Swanton, 2001). A absorção de nutrientes pelas plantas é influenciada pelos fatores externos e internos inerentes à própria planta (Reis et al., 2005).

Fernandes et al. (1999), constatou que de 71 a 77% da quantidade total de N, acumulados na matéria seca da parte aérea das plantas de milho encontram-se nos grãos.

As diferenças encontradas na resposta a nutrientes podem ser explicadas por mecanismos fisiológicos como diferentes taxas de absorção e translocação e diferenças morfológicas no sistema radicular (Malavolta & Fornasieri Filho, 1983).

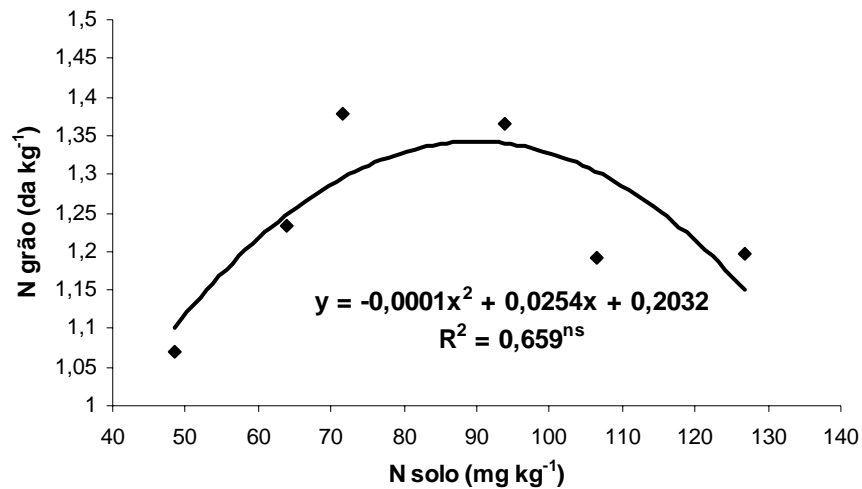


Figura 22. Teores de N nos grãos (da kg⁻¹) em função dos teores de N (NO₃⁻ + NH₄⁺) no solo, extraídos com KCl 1 N, na prof. 0-20 cm.

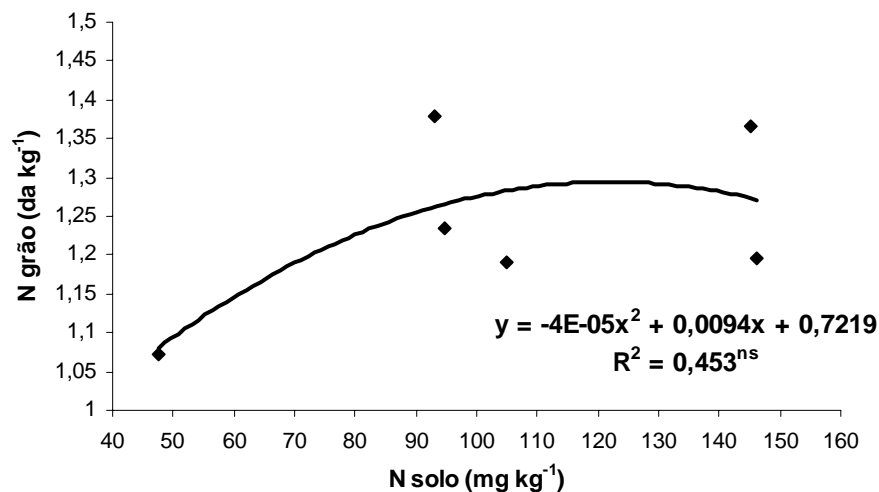


Figura 23. Teores de N nos grãos (da kg⁻¹) em função dos teores de N (NO₃⁻ + NH₄⁺) no solo, extraídos com KCl 1 N, na prof. 20-40 cm.

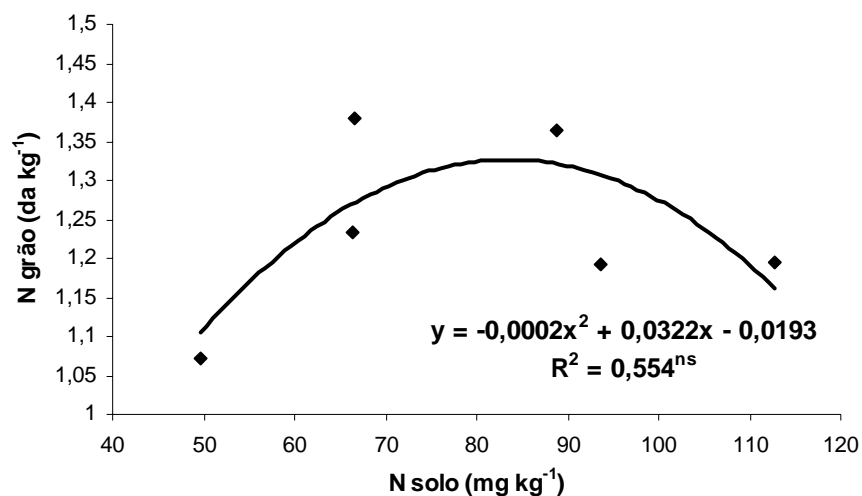


Figura 24. Teores de N nos grãos (da kg⁻¹) em função dos teores de N (NO₃⁻ + NH₄⁺) no solo, extraídos com H₂O₂/MnO₂, na prof. 0-20 cm.

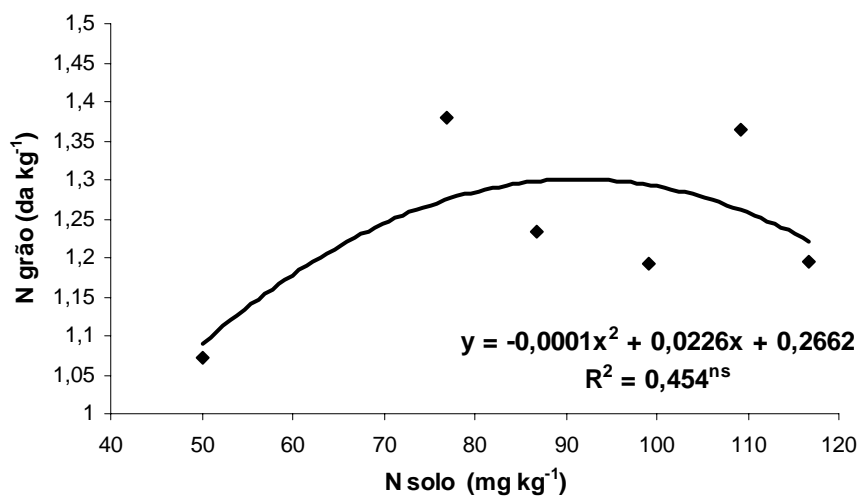


Figura 25. Teores de N nos grãos (da kg⁻¹) em função dos teores de N (NO₃⁻ + NH₄⁺) no solo, extraídos com H₂O₂/MnO₂, na prof. 20-40 cm.

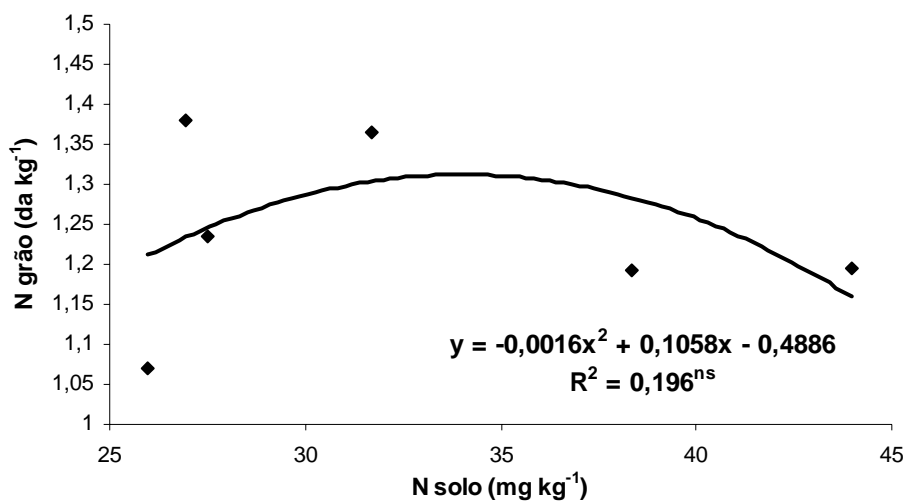


Figura 26. Teores de N nos grãos (da kg⁻¹) em função dos teores de N (NH₄⁺) no solo, extraídos com solução tampão pH = 11,2, na prof. 0-20 cm.

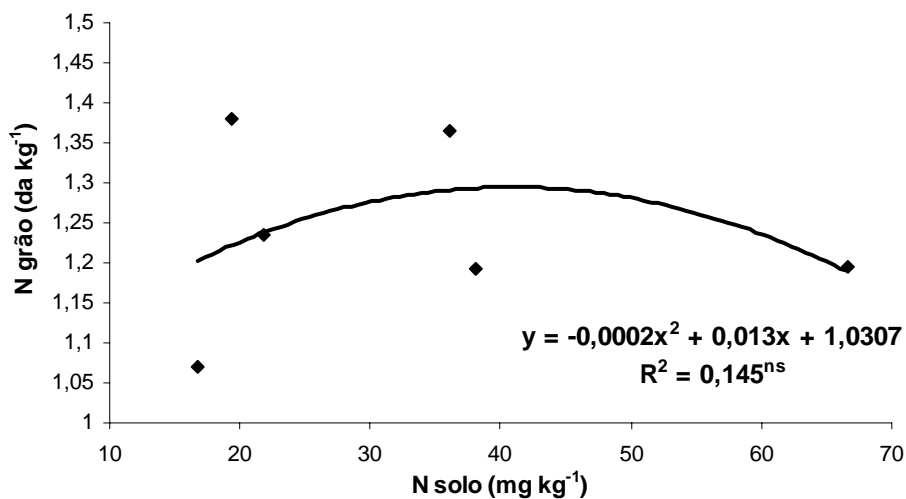


Figura 27. Teores de N nos grãos (da kg⁻¹) em função dos teores de N (NH₄⁺) no solo, extraídos com solução tampão pH = 11,2, na prof. 20-40 cm.

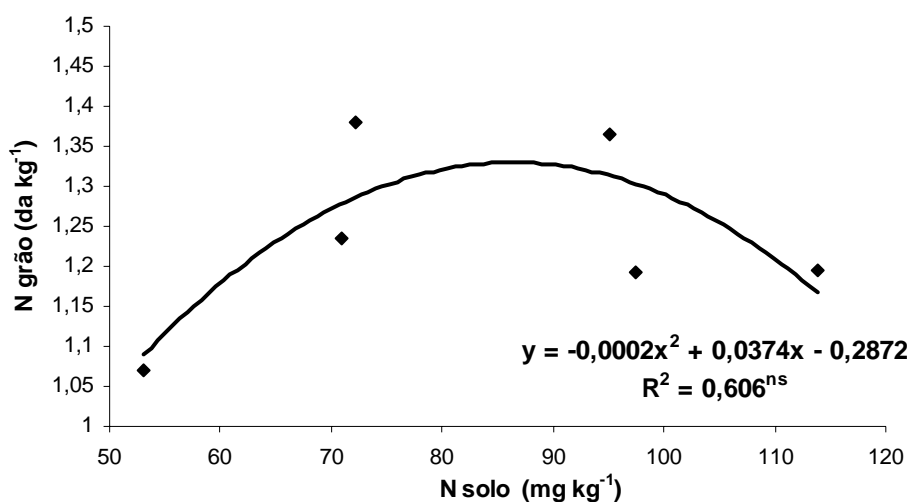


Figura 28. Teores de N nos grãos (da kg⁻¹) em função dos teores de N (NO₃⁻ + NH₄⁺) no solo, extraídos com solução tampão pH = 11,2 + NO₃⁻, na prof. 0-20 cm.

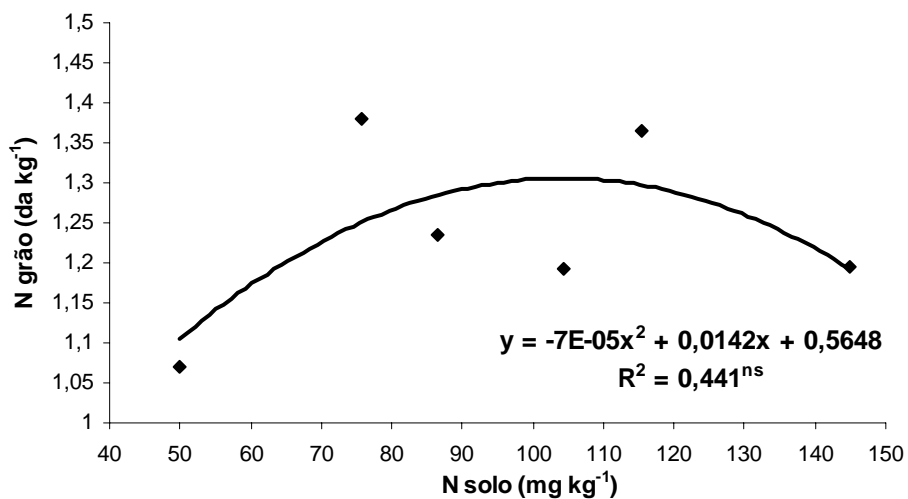


Figura 29. Teores de N nos grãos (da kg⁻¹) em função dos teores de N (NO₃⁻ + NH₄⁺) no solo, extraídos com solução tampão pH = 11,2 + NO₃⁻, na prof. 20-40 cm.

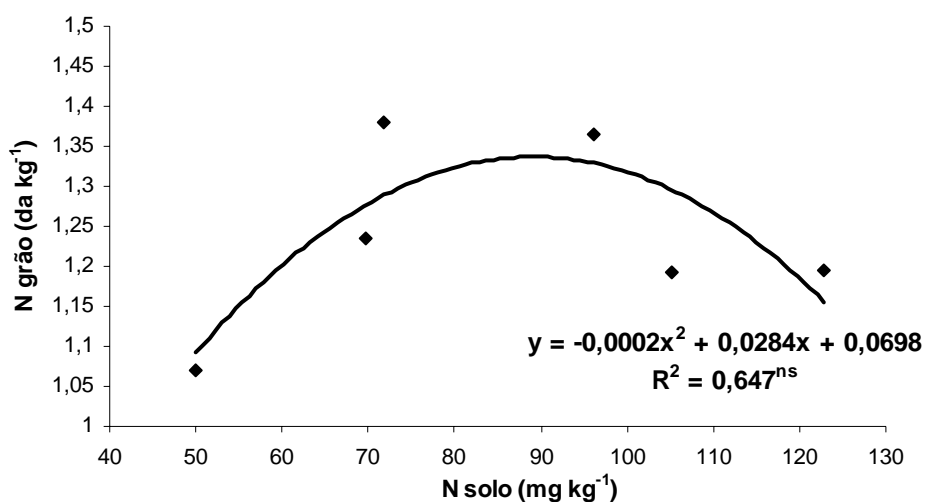


Figura 30. Teores de N nos grãos (da kg⁻¹) em função dos teores de N (NO₃⁻ + NH₄⁺) no solo, extraídos com KCl 2M, na prof. 0-20 cm.

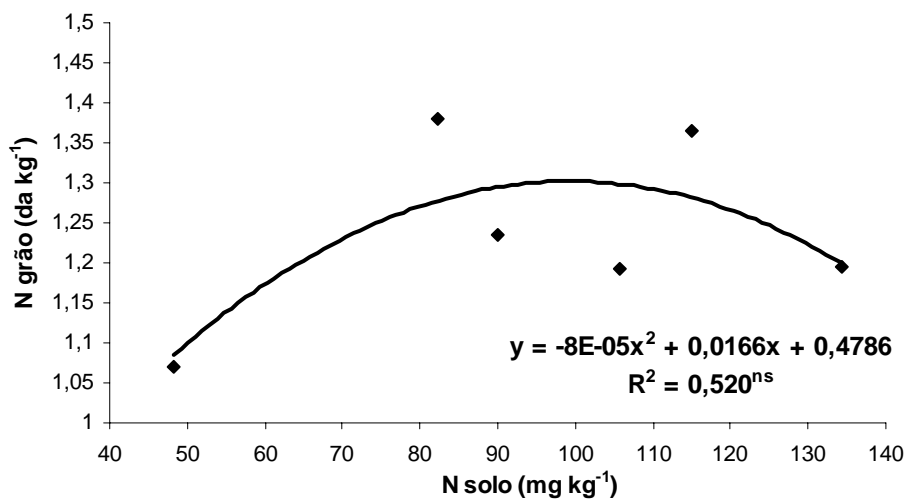


Figura 31. Teores de N nos grãos (da kg⁻¹) em função dos teores de N (NO₃⁻ + NH₄⁺) no solo, extraídos com KCl 2M, na prof. 20-40 cm.

A adubação nitrogenada pouco influenciou o teor de nitrogênio nos grãos (Figura 32), verificando-se que os maiores valores de N nos grãos ocorreram nos tratamentos com a aplicação de 70 e 210 kg N ha⁻¹, e decréscimo no teor de N nos mesmos com dosagens superiores a 210 Kg N ha⁻¹. Apesar de os resultados serem próximos aos encontrados por Campos (2004), em experimento similar, os teores de N no grão são inferiores ao mínimo adequado (3,0 da kg⁻¹), segundo Raij (1991). Os resultados obtidos no presente experimento também foram inferiores aos obtidos por Casagrande & Fornasieri Filho (2002) e Amaral Filho et al. (2005). Nowick & Hoffpauir (1984) declaram que duas áreas nas quais a deficiência de utilização de nitrogênio pode diferir são a absorção e remobilização.

Contudo, dados de pesquisas realizadas por Coelho et al. (1992), indicam que a concentração de N no grão e na palhada do milho, para produções máximas, é de 1,18 da kg⁻¹ e 1,06 da kg⁻¹, respectivamente, concordando com os dados do atual experimento.

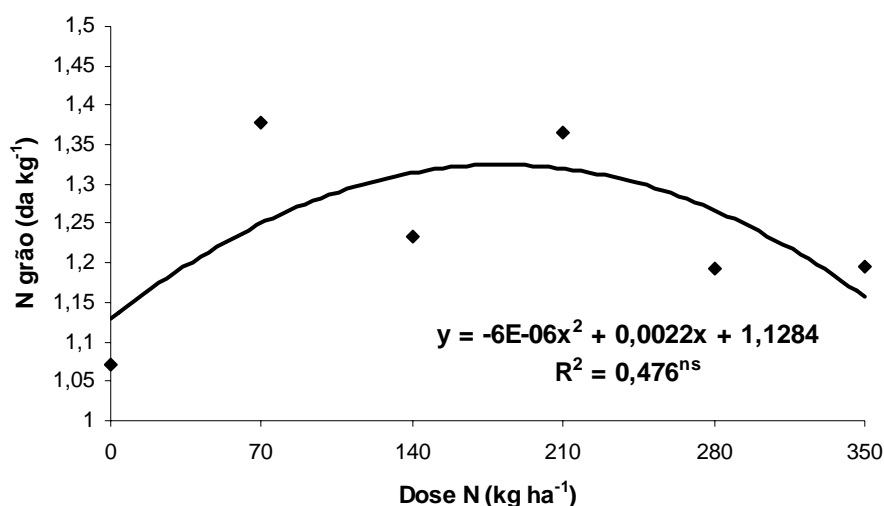


Figura 32. Teores de N nos grãos de milho em função das diferentes doses de adubação nitrogenada (Média de quatro repetições).

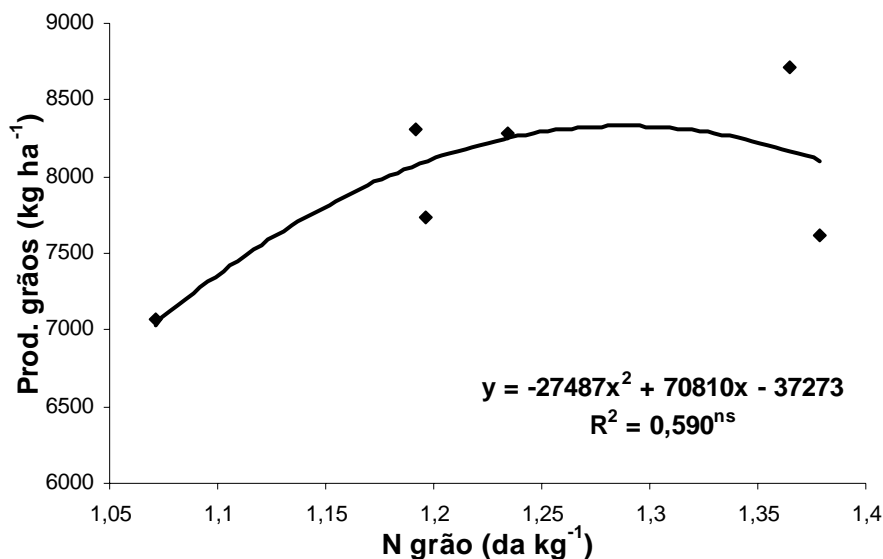


Figura 33. Produtividade da cultura do milho em função dos teores de N nos grãos (Média de quatro repetições).

Na figura 33 encontra-se os resultados da correlação obtida entre a produtividade de grãos de milho em função do teor de N nos grãos, constatando-se um coeficiente de determinação não significativo entre essas variáveis.

Entretanto, de acordo com Ulhoa et al. (1982), Yamada (1997) e Mar et al. (2003), como a formação dos grãos depende de proteínas na planta, a produção de milho está diretamente relacionada com o suprimento de N. A formação de grãos na cultura do milho está estreitamente relacionada com a translocação de açúcares (Crawford et al., 1982) e de N (Karlen et al., 1988; Wolschick et al., 2003) de órgãos vegetativos, sobretudo das folhas para os grãos.

RESPOSTA DO MILHO À ADUBAÇÃO NITROGENADA

Na figura 34 observa-se o efeito da adubação nitrogenada na produtividade do milho. O ajuste quadrático das doses de N sobre o rendimento de grãos concordam com os encontrados por Ferreira (1997) e Andrade Jr. & Cardoso (2000), e discordam daqueles obtidos por Muzilli et al. (1983), Melgar et al. (1991) e Jakelaitis et al. (2005), que obtiveram efeito linear positivo das doses de N na produtividade. Jakelaitis et al. (2005) afirma que respostas lineares das plantas de milho à aplicação de N são atribuídas, entre outros fatores, ao uso de genótipos

melhorados, que possuem elevada eficiência de uso desse nutriente, não atingindo o ponto de inflexão superior da curva de dose-resposta e também ao estoque de N no solo.

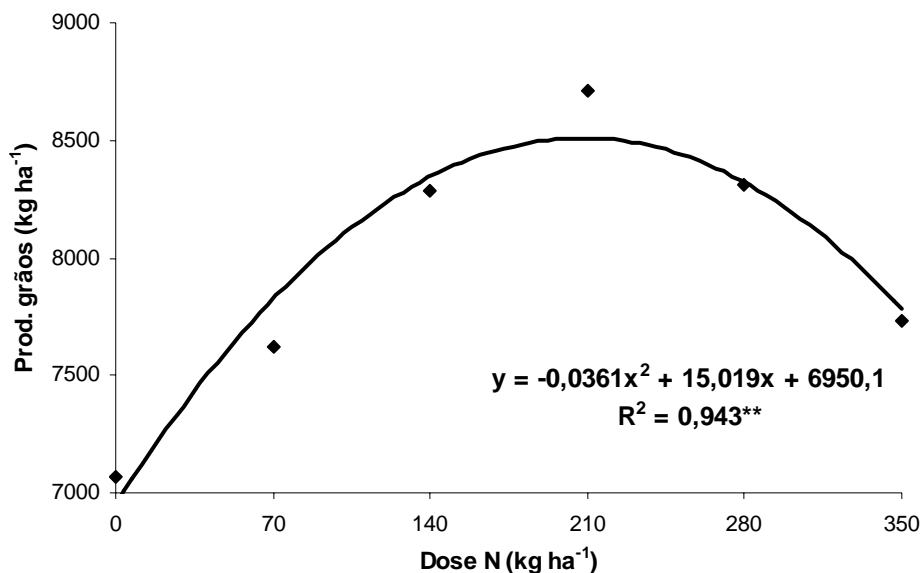


Figura 34. Produtividade da cultura do milho em função das diferentes doses de N aplicadas ao solo (Média de quatro repetições).

A aplicação de N proporcionou maior incremento com a dose de 210 kg ha⁻¹, atingindo um rendimento de 8710 kg ha⁻¹ (Tabela 3); e ocorrendo um decréscimo na produção de grãos com doses superiores a esta, demonstrando a Lei de Mitscherlich (lei dos rendimentos decrescentes). Esses resultados concordam com os obtidos por Campos (2004), que afirma que o milho pode responder favoravelmente a até 150-200 kg ha⁻¹ de N, Novais et al. (1974), Melgar et al. (1991) e Jakelaitis et al. (2005), que obtiveram incrementos na produção de milho, de acordo com o aumento da adubação nitrogenada até cerca de 250 kg N ha⁻¹.

Sousa & Lobato (2002) afirmam que na Região do Cerrado, as respostas do milho à adubação nitrogenada chegam a doses de até 200 kg ha⁻¹ ou mais. Com doses em torno de 100 kg ha⁻¹ de N, é possível produzir cerca de 8 t ha⁻¹ de grãos de milho em um solo com 30 a 40 g dm³ de matéria orgânica.

Tabela 4. Produtividade do milho em função das doses de N aplicadas (Média de quatro repetições).

| Tratamento kg N ha ⁻¹ | Produtividade média do milho | |
|-------------------------------------|------------------------------|--|
| | kg ha ⁻¹ | |
| 0 | 7069 | |
| 70 | 7623 | |
| 140 | 8284 | |
| 210 | 8710 | |
| 280 | 8314 | |
| 350 | 7730 | |

Ao avaliar os resultados obtidos, verificou-se que a aplicação de 210 kg N ha⁻¹ proporcionou aumento de 23% na produtividade em relação à testemunha.

Devido à alta exigência de nitrogênio, o milho é uma cultura que geralmente responde à aplicação da adubação nitrogenada com incremento em várias características que influenciam a produção final (Da Ros et al., 2003). Resultados de experimentos conduzidos no Brasil, sob diversas condições de solo, clima e sistemas de cultivo, mostram resposta generalizada do milho à adubação nitrogenada (Coelho et al., 1992). Entretanto, as respostas encontradas estão relacionadas às características inerentes aos cultivares utilizados, às condições de uso do solo e de clima, ao manejo da cultura, do suprimento de nitrogênio do solo e das doses de nitrogênio aplicadas (Muchow & Sinclair, 1995). A magnitude das respostas ao nutriente nas condições brasileiras tem sido variável na maioria dos trabalhos, indicando respostas significativas a doses de 30 a 90 kg ha⁻¹ (Jakelaitis et al., 2005). Esse fato é, em parte, devido aos níveis relativamente baixos, porém, são encontradas respostas de até 200 kg ha⁻¹ de N aplicado (Mello et al., 1988; Coelho & França, 1995).

Broadbent & Carlton (1978) estudaram vários níveis de fertilização nitrogenada em milho irrigado durante três anos, e encontraram eficiência máxima quando a dose aplicada foi de 200 kg ha⁻¹ de N. As doses maiores aumentavam a produção, mas diminuía a eficiência de utilização do fertilizante. Segundo Campos (2004), doses menores de fertilizante nitrogenado resultam em maior eficiência de utilização de N pela cultura do milho.

Estudos realizados por Ferreira (1997), com relação ao efeito da adubação nitrogenada sobre a produção do milho, mostraram um aumento desta variável com o incremento das doses de N, obtendo-se a máxima produção com a dose de 200 kg ha⁻¹ de N.

O decréscimo na produtividade decorrente da aplicação de doses superiores a 210 kg N ha⁻¹, conforme Alves et al. (1996), Malavolta et al. (1997) e Mar et al. (2003), mostra que essas doses podem ter contribuído para desequilíbrio entre outros elementos.

De acordo com Huber et al. (1994), existem quatro características que determinam a resposta do rendimento de grãos de milho à disponibilidade de nitrogênio: as taxas de absorção do nutriente ao longo do ciclo da cultura, a capacidade de armazenamento de N nas estruturas vegetativas da planta, a eficiência de reciclagem do nitrogênio das frações vegetativas para as estruturas reprodutivas e o poder de demanda dos grãos por compostos nitrogenados e carbonatados.

Segundo Arnon (1975) e Raij (1991), um solo com teor de 27 g dm⁻³ de matéria orgânica na camada de 0-20 cm, seria capaz, teoricamente, de fornecer o equivalente a 54 kg ha⁻¹ de N, considerando uma taxa média de mineralização de 2% do N orgânico durante o ciclo da cultura, o que possibilita obter 2700 kg ha⁻¹ de grãos de milho. No atual experimento, a produtividade média da testemunha foi de 7069 kg ha⁻¹, demonstrando, de acordo com Casagrande & Fornasieri Filho (2002), haver disponibilidade de N no solo proveniente de outras fontes não controladas. Fornasieri Filho (1992) confirma que, em solos com teor de matéria orgânica não limitantes, os efeitos da adubação nitrogenada são, via de regra, pouco pronunciados.

Escosteguy et al. (1997) constataram num Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, com teor de matéria orgânica de 35 g dm⁻³, que a contribuição do N do solo foi bastante significativa, pois a produtividade da testemunha foi de 5812 kg ha⁻¹, na semeadura de agosto, e de 6176 kg ha⁻¹ na de outubro. O suprimento de N do solo foi estimado entre 96 e 103 kg N ha⁻¹, para uma produção de 1000 kg ha⁻¹ de grãos de milho.

Em experimentos realizados em solos dos cerrados, durante quatro anos consecutivos com milho (Cargil 111), foi observado que as produções obtidas sem aplicação de nitrogênio atingiram cerca de 60% (3600 kg ha⁻¹) daquela conseguida com 140 kg N ha⁻¹. Esta razoável produção sem aplicação de nitrogênio pode ser explicada pela decomposição da matéria orgânica do solo, em virtude da calagem, bem como pela fixação de nitrogênio atmosférico pelo *Spirillum sp* (Embrapa, 1976).

Cantarella (1999) constatou que em solos argilosos, as áreas com baixo potencial de produção de milho não responderam à adição de N, ao passo que nos ensaios com probabilidade de maiores rendimentos, as respostas médias mais econômicas situam-se em torno de 30 a 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Em solos arenosos, as repostas ao N foram altas,

mesmo quando os patamares de produtividade foram baixos, e a dose mais econômica foi de 55 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

Dose econômica.

Na tabela 5 estão apresentados os valores (em dólar) do milho e do fertilizante nitrogenado, utilizados nos cálculos da dose econômica.

Tabela 5. Valor, em dólar, do milho e do fertilizante nitrogenado. (Preços referentes a janeiro/2006 - U\$ 1 = R\$ 2,28).

| Produtos | Unidade | Preço do produto (U\$) |
|-------------------|-----------|------------------------|
| Sulfato de amônio | Sc. 50 kg | 12,19 |
| Milho | Sc 60 kg | 6,58 |

Na tabela 6 são apresentados os resultados das doses econômicas e dos níveis críticos fisioeconômicos (Malavolta & Cruz, 1971), gerados variando-se os preços do fertilizante e do produto, abrangendo possíveis diferenças de preços, obtendo-se relações x/w entre 09 e 11. Os níveis críticos fisioeconômicos foram obtidos a partir das equações de regressão do N extraído do solo pelos diferentes extratores e as doses de N.

Tabela 6. Doses econômicas e níveis críticos fisioeconômicos de N para o milho, a partir de três relações preço do quilograma de N (x)/preço do quilograma do milho (w).

| Relação x/w | Dose econômica | | Níveis críticos fisioeconômicos mg dm ⁻³ | | | |
|----------------|---------------------|--------|--|--|---|--------|
| | kg ha ⁻¹ | KCl 1N | Tampão pH=11,2 | Tampão pH=11,2 + NO ₃ ⁻ | H ₂ O ₂ /MnO ₂ | KCl 2M |
| 11 | 56 | 59 | 26 | 64 | 59 | 62 |
| 10 | 69 | 61 | 26 | 66 | 61 | 65 |
| 09 | 83 | 64 | 27 | 69 | 63 | 67 |

Observa-se que a dose econômica para o milho, considerando os valores dos produtos descritos na tabela 5, foi de 56 kg N ha⁻¹, que corresponderia a uma produtividade de 7678 kg ha⁻¹, que está bem acima do preconizado por Duarte et al. (1997), que recomenda 50 kg N ha⁻¹ quando a produtividade desejada estiver na ordem de 4 a 5 t ha⁻¹. Além disso, verifica-se que

a dose econômica calculada proporcionaria um aumento de 9 % na produtividade em relação ao tratamento sem adubação nitrogenada.

O nível crítico fisioeconômico que mais se aproxima do ponto de mudança de curvatura da reta (Figura 8) é o de 69 kg N ha^{-1} (Tabela 6), obtido com o extrator solução tampão $\text{pH} = 11,2 + \text{NO}_3^-$ para uma relação x/w de 09, e seria responsável por um rendimento de 7815 kg ha^{-1} de milho, que equivale a 89% do rendimento máximo. Conhecendo-se o nível crítico, o teor de nitrogênio no solo e o coeficiente angular da regressão entre o N extraído por um determinado extrator químico em função do N aplicado, pode-se determinar a quantidade do fertilizante nitrogenado a ser usado para alcançar uma produtividade desejada (Oliveira, 1987).

A vantagem de se utilizar tabelas de nível crítico fisioeconômico é que os valores gerados não são fixos, e podem acompanhar as tendências de preço do mercado.

CONCLUSÕES

1. Dos extratores testados, os que apresentaram melhor correlação com a produtividade do milho, em ordem decrescente, foram: $\text{H}_2\text{O}_2/\text{MnO}_2$ ($R = 0,821^+$), KCl 2M ($R = 0,788^+$) e solução tampão $\text{pH} = 11,2 + \text{NO}_3^-$ ($R = 0,775^+$), podendo ser utilizados na avaliação do N disponível para o milho em solos do Distrito Federal.
2. O método mais recomendado para análise de rotina é a solução tampão $\text{pH} = 11,2 + \text{NO}_3^-$ por ser um método rápido, simples, prático e barato.
3. As doses de N aplicadas e, conseqüentemente, os teores de N no solo extraído pelos diversos extratores, não influenciaram o teor de nitrogênio nos grãos.
4. A dose econômica de N, considerando a relação preço do N/preço do produto de 11/1 até 9/1, variou de 56 kg N ha^{-1} até 83 kg N ha^{-1} , respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, V.M.C.; NOVAIS, R.F.; OLIVEIRA, M.F.G.; BARROS, N.F. Efeito da omissão de fósforo na absorção de nitrogênio por híbridos de milho (*Zea mays* L.). **Revista Ceres**, Viçosa, v.43, n. 248, p. 435-443, 1996.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação da adubação nitrogenada para o milho no Rs e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.2, p. 241-248, 2002.

AMARAL FILHO, J.P.R. do; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J.C. Row spacing, population density and nitrogen fertilization in maize. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. [online]. May/June 2005, vol.29, no.3 [cited 14 January 2006], p.467-473. Available from World Wide Web: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832005000300017&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0100-0683.

ANDRADE Jr., A.S.; CARDOSO, M.J. Otimização da adubação nitrogenada em milho sob irrigação. In: XVIII CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 2000. Uberlândia, **Anais...** Uberlândia, 2000. CD-ROOM.

ARGENTA, G. **Monitoramento do nível de nitrogênio na planta como indicador da adubação nitrogenada em milho**. 2001. 112f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ARNON, I. **Mineral nutrition of maize**. Bern: International Potash Institute, 1975. 425p.

BREMNER, J.M. Nitrogen - Inorganic forms. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. (Ed.) **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties**. Second edition. part 2. Madison: ASA, 1982. cap.33, p.643-698. (Agronomy, 9).

BREMNER, J.M. Organic nitrogen in soils. In: BARTHOLOMEW, W.V.; CLARK, F.E. (Ed.) Soil Nitrogen. **Am. Soc. of Agron.**, Inc., Madison, Wis. 1965a, part 10, p. 1238-1254.

BREMNER, J.M. Inorganic forms of nitrogen. In: BLACK, C.A., et al., (Ed.) **Methods of Soil Analysis**. Part 2. Madison, **Am. Soc. of Agron.**, 1965b, p. 1179-1237.

BREMNER, J.M.; KEENEY, D.R. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: 3. Exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by extraction-distillation methods. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, 30:577-582. 1966.

BREMNER, J.M.; MULVANEY, C.S. Nitrogen total. In: PAGE, A.L.; MILLER, R A.; KEENEY, D.S. (Eds.). **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1982. Part. 2: Chemical and microbiological properties. p.595-624. (Agronomy, 9).

BROADBENT, F.E.; CARLTON, A.B. Field trials with isotopically labeled nitrogen fertilizer. In: NIELSEN, D.R.; MAC DONALD, J.G. (Ed.) **Nitrogen in the environment**. New York: Academic Press, 1978. p. 1-41.

BRODER, M.W.; WAGNER, G.H. Microbial colonization and decomposition of corn, wheat, and soybean residue. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.52, p.112-117, 1988.

BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFÓS, 1993. 301 p.

CAMPOS, A.X. de **Fertilização com sulfato de amônia na cultura do milho em um solo do cerrado de Brasília sob pastagem de *Brachiaria decumbens***. Piracicaba, 2004. 119 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

CANTARELLA, H. Adubação do milho “safrinha”. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO SAFRINHA, 5, 1999, Barretos. **Anais...** Campinas: Instituto Agrônomo, 1999. p. 15-24.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van. Adubação nitrogenada no Estado de São Paulo. In: SANTANA, M.B.M., coord. **Adubação nitrogenada no Brasil**. Ilhéus, CEPLAC, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1986. p.47-49.

CASAGRANDE, J.R.R.; FORNASIERI FILHO, D. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.1, p. 33-40, 2002.

CHEW, W.Y.; WILLIAMS, C.N.; JOSEPH, K.T.; RAMLI, K. Studies on the availability to plants of soil nitrogen in Malaysian tropical oligotrophic peat. I-Effect of liming and pH. **Tropical Agriculture**, v.53, p.69-78, 1976.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E. Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n.71, set. 1995. Arquivo do Agrônomo, Piracicaba, n.2, p.1-9, set. 1995. Encarte.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E. de; BAHIA FILHO, A.F.C.; GUEDES, G.A.A. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p.61-67, 1992.

CRAWFORD, T.W.; RENDIG, V.V.; BROADBENT, F.E. Sources, fluxes, and sinks of nitrogen during early reproductive growth of maize (*Zea mays* L.). **Plant Physiol.**, 70:654-660, 1982.

DA ROS, C.O.; SALET, R.L.; PORN, R.L.; MACHADO, J.N.C. Disponibilidade de nitrogênio e produtividade de milho e trigo com diferentes métodos de adubação nitrogenada no sistema plantio direto. **Cienc. Rural**. [online]. set./out. 2003, vol.33, no.5 [citado 18 Janeiro 2006], p.799-804. Disponível na World Wide Web: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782003000500002&lng=pt&nrm=iso>. ISSN 0103-8478.

DENG, S.P.; TABATABAI, M.A. Effects of cropping systems on nitrogen mineralization in soils. **Biology and Fertility of Soils**, 31 (3): 211-218. 2000.

DIEZ, J.A. Calibración de los parámetros de EUF-N, em relación a los cultivos de lechuga y de veza. **Turrialba**, San José, v. 39, n.2, p. 131-136, 1989.

DOLMAT, M.T.; PATRICK Jr., W.H.; PETERSON, F.J. Relation of available soil nitrogen to rice yield. **Soil Sci.**, Baltimore, v.120, n.4, p. 229-237, 1980.

DRURY, C.F.; VORONEY, R.P.; BEAUCHAMP, E.G. Availability of N-NH₄⁺ to microorganisms and the soil internal N cycle. **Soil Biol. Biochem.** Great Britain, v.23, n.2, p. 165-169, 1991.

DUARTE, A.P.; CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van. **Milho safrinha: Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. , Campinas, Instituto Agrônomo, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

ECIOLAZA, M.C.B.; OLIVEIRA, S.A. de Teste de extratores químicos para avaliação da disponibilidade de nitrogênio em solos do Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.4, p. 523-532, 1993.

ECIOLAZA, M.C.B. **Teste de extratores químicos para avaliação da disponibilidade de nitrogênio em solos do Distrito Federal**. Brasília, 1991. 85 f. Tese (Mestrado do Departamento de Química) - Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade de Brasília – UnB, 1991.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de Métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro, 1979. 247 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA ABROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina. Relatório Técnico Anual, Brasília, 1976. 150 p.

ESCOSTEGUY, P.A.V.; RIZZARDI, M.A.; ARGENTA, G. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em duas épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p. 71-77, 1997.

FERNANDES, L.A.; VASCONCELLOS, C.A.; FURTINI NETO, A.E.; ROSCOE, R.; GUEDES, G.A. de A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria

seca e acúmulo de nutrientes pelo milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n.9, p. 1691-1698, 1999.

FERREIRA, A.C.de B. **Efeitos da adubação com N, Mo e Zn sobre a produção, qualidade de grãos e concentração de nutrientes no milho**. Viçosa, 1997. 74p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.

FORNASIERI FILHO, D. **A cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 1992. 273p.

FRANÇA, G.E.; BAHIA FILHO, A.F.C.; VASCONCELLOS, C.A.; SANTOS, H.L. Adubação nitrogenada no Estado de Minas Gerais. In: SANTANA, M.B.M., coord. **Adubação nitrogenada no Brasil**. Ilhéus, CEPLAC, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1986. p.107-124.

GALLAGHER, P.A.; BARTHOLOMEW, W.V. Comparison of nitrate production and other procedures in determining nitrogen availability in Southeastern Coastal Plain Soils. **Agron. J.**, Madison, v.56, p. 179-184, 1964.

GASSER, J.K.R. **Available Soil Nitrogen – Its measurements, and some factors affecting its correlation with crop performance**. Offprint from the Welsh Soils Discussion Group. Harpenden, Herts. Report n° 10, 1969, p. 76-92.

GIANELLO, C. **Chemical methods of assessing potentially available organic nitrogen in soil**. Ames, 1985. 93p. (PhD Tesis – Iowa State University).

GIANELLO, C.; BREMNER, J.M. A rapid steam distillation method of assessing potentially available organic nitrogen in soil. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, v.19, n.14, p. 1551-1568, 1988.

GIROUX, M.; SEN TRAN, T. Comparison de diferentes methodes d'analyse de l'azote du sol en relation avec sa disponibilité pour les plantes. **Can. J. Soil Sci.**, Ottawa, v. 67, p. 521-531, 1987.

HADAS, A.; FEIGENBAUM, S.; FEIGIN, A.; PORTNOY, R. Distribution of N forms and availability índices in profiles of differently managed soil types. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 50, p.308-313, 1986.

HUBER, D.M.; TSAI, C.Y.; STROMBERGER, J.A. Interaction of K with N and their influence on growth and yield potential of maize. In: ANNUAL CORN AND SORGHUM RESEARCH CONFERENCE, 48, 1994, Chicago. **Proceedings...** Washington: American Seed Company Association, 1994. p. 165-176.

HUSSAIN, F.; MALIK, K.A. Evaluation of alkaline permanganate method and its modification as an index of soil nitrogen availability. **Plant Soil**, Hague, v.84, p. 279-282, 1985a.

HUSSAIN, F.; MALIK, K.A. Modification of the acid permanganate method for obtaining an index of soil nitrogen availability. **Plant Soil**, Hague, v.84, p. 143-146, 1985b.

HUSSAIN, F.; MALIK, S.A.; AZAM, F. Evaluation of acid permanganate extraction as an index of soil nitrogen availability. **Plant Soil**, Hague, v.79, p. 249-254, 1984.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A. da; FERREIRA, L.R. Efeitos do nitrogênio sobre o milho cultivado em consórcio com *Brachiaria brizantha*. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.27, n.1, p. 39-46, 2005.

JENKINSON, D.S. Chemical tests for potentially available nitrogen in soil. **J. Sci. Fd. Agric.**, Oxford, v.19, n.3, p. 160-168, 1968.

KAI, H.; MASAYNA, W.; YAMADA, Y. Nitrogen behavior in tropical wetland rice soils. 1. Nitrogen supplying capacities. **Fertilizers Research**, Dordrecht, v.5, n.3, p. 259-271, 1984.

KARLEN, D.L.; FLANNERY, R.L.; SADLER, E.J. Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn. **Agron. J.**, 80:232-242, 1988.

KEENEY, D.R. Nitrogen - availability indices. In: PAGE, A.L. **Methods of soil analysis**. Part 2. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p.711-733.

KEENEY, D.R.; BREMNER, J.M. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: 7. **Urea. Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, 31:317-321. 1967.

KEENEY, D.R.; BREMNER, J.M. A Chemical Index of Soil Nitrogen Availability. **Nature**, London, v.211, n.20, p. 892-893, Aug/1966a.

KEENEY, D.R.; BREMNER, J.M. Comparison and Evaluation of Laboratory Methods of Obtaining an Index of Soil Nitrogen Availability. **Agron. J.**, Madison, v.58, p. 498-503, 1966b.

KEENEY, D.R.; BREMNER, J.M. Effect of cultivation on the nitrogen distribution in soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, n.28, p. 653-656, 1964.

KLIEMAN, H.J.; BUSO, W.H.D. Efeitos dos sistemas de manejo e da calagem na estimativa das frações potencialmente mineralizáveis de nitrogênio em solos do sudoeste de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 32 (2): 59-68, 2002.

KRESGE, C.B.; MERKLE, F.G. A study of the validity of laboratory techniques in appraising the available nitrogen producing capacity of soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison. v.21, p. 516-521, 1957.

LANTMANN, A.F.; OLIVEIRA, E.L.; CHAVES, J.C.D.; PAVAN, M.A. Abubação nitrogenada no estado do Paraná. In: SANTANA, M.B.M., coord. **Adubação nitrogenada no Brasil**. Ilhéus, CEPLAC, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1986. p.19-46.

MALAVOLTA, E.; CRUZ, V.F. DA A meaning for foliar diagnosis. In: SAMISH, R.M. (ed.) **Recent Advances in Plant Nutrition**. Volume 1. Gordon and Breach Science Publishers, New York, 1971. p. 1-3

MALAVOLTA, E.; OLIVEIRA, S.A.; WADT, P.G.S. Foliar diagnosis: the status of the art. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.G. (Ed.) Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1999. p.205-241.

MALAVOLTA, E.; FORNASIERI FILHO, D. Nutrição mineral da cultura do arroz. In: FERREIRA, M.E.; YAMADA, T.; MALAVOLTA, E. **Cultura do arroz de sequeiro**: fatores afetando a produtividade. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1983. p. 95-140.

MALAVOLTA, E.; KLIEMAN, H.J. **Desordens nutricionais no cerrado**. Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa de Potassa e do Fosfato, 1985. 136p.

MALAVOLTA, E.; ROMERO, J.P. **Manual da adubação**. 2.ed. São Paulo, ANDA, 1975. 346 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MAR, G.D. do; MARCHETTI, M.E.; SOUZA, L.C.F. de; GONÇALVES, M.C; NOVELINO, J.O. Produção do milho safrinha em função de doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.2, p. 267-274, 2003.

MARUMOTO, T.; ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. Mineralization of nutrients from soil microbial biomass. **Soil Biol. and Biochem.**, v.14, p.469-475, 1982.

MATSON, P.A.; NAYLOR, R.; MONASTERIO, O. Integration of environmental, agronomic, and economic aspects of fertilizer management. **Science**, v. 280, n. 5360, p. 112-115, abr/1998.

MELGAR, R.J.; SMITH, T.J.; CRAVO, M.S.; SANCHEZ, P.A. Doses e épocas de aplicação de fertilizante nitrogenado para milho em Latossolo da Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p. 289-296, 1991.

MELLO, S.A. et al. Efeitos de doses e modos de aplicação de uréia na produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.12, p. 269-274, 1988.

MENGEL, K. Factors of plant nutrient availability relevant to soil testing. **Plant Soil**, Hague, v.64, p. 129-138, 1982.

MOGILEVKINA, I.A.; YU, M.; LEBEDEVA, V.V. Method for determining available adsorbed ammonium in soils. **Soviet Soil Sci.**, Silver Spring, v.14, n.3, p. 121-127, 1982.

MUCHOW, R.C.; SINCLAIR, T.R. Effect on nitrogen supply on maize yield: II. Field and model analysis. **Agron. J.**, Madison, v.87, p. 642-648, 1995.

MUZILLI, O. et al. Adubação nitrogenada em milho no Paraná. III – Influência da recuperação do solo com adubação verde de inverno nas respostas a adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.18, n.1, p. 23-27, 1983.

NOVAIS, M.V.; NOVAIS, R.F; BRAGA, J.M. Efeito da adubação nitrogenada e de seu parcelamento sobre a cultura do milho, em Patos de Minas. **Revista Ceres**, Viçosa, v.21, n.115, p. 193-202, 1974.

NOWICK, E.M.; HOFFPAUIR, H. Varietal differences in nitrogen uptake at two N levels and three growth stages. In: RICE RESEARCH STATION. **Annual progress report**. Louisiana: Crowley, 1984. p. 51-55.

OIEN, A.; SELMER-OLSEN, A.R. A laboratory method for evaluation of available nitrogen in soil. **Acta Agriculturae Scandinavica**, Stockholm, v.30, p. 149-156, 1980.

OLIVEIRA, S.A. de Avaliação da disponibilidade de nitrogênio no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.24, n.2, p. 131-148, 1989.

OLIVEIRA, S.A. de **Avaliação da mineralização e disponibilidade de nitrogênio para o trigo (*Triticum aestivum* L.) em solos do Distrito Federal**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo – Esalq. Piracicaba, 1987. 128 p.

OLIVEIRA, S.A. de Método simplificado para determinação colorimétrica de nitrogênio em plantas. **Ciência e Cultura**, São Paulo, 38(1): 178-180. 1986.

OLIVEIRA, S.A. de Método colorimétrico para a determinação de nitrogênio em plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 16(5): 645-649, set./out. 1981.

OZUS, T.; HANWAY, J.J. Comparisons of laboratory and greenhouse tests for nitrogen and phosphorous availability in soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, v.30, p. 224-228, 1966.

PETERSON, L.A.; ATTOE, O.J. Importance of soil nitrates determinations on need and recovery fertilizer nitrogen. **Agronomy Journal**, Madison, 57: 572-574. 1965.

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

RAJCAN, I.; SWANTON, C. Understanding maize-weed competition: resource competition, light quality and the whole plant. **Field Crop Res.**, Amsterdam, v. 71, p. 139-150, 2001.

RAMBO, L.; SILVA, P.R.F. da; ARGENTA, G. et al. Plant parameters to refine the management of nitrogen side-dress application in maize. **Ciência Rural**. [online]. Sept./Oct. 2004a, vol.34, no.5 [cited 13 January 2006], p.1637-1645. Disponível na World Wide Web:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782004000500052&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0103-8478.

RAMBO, L.; SILVA, P.R.F. da; ARGENTA, G.; BAYER, C. Testes de nitrato no solo como indicadores complementares no manejo da adubação nitrogenada em milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.4, p.1279-1287. Jul/ago, 2004b.

RAUN, W.R.; JOHNSON, G.V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. **Agronomy Journal**, Madison, v.91, n.3, p.357-363, 1999.

REIS, M. de S.; SOARES, A.A.; SOARES, P.C.; CORNÉLIO, V.M. de O. Absorção de N, P, K, Mg e S pelo arroz irrigado influenciada pela adubação nitrogenada. **Cienc. Agrotec.**, Lavras, v.29, n.4, p. 707-713, 2005.

RICHARD, T.A.; ATTOE, D.J.; MOSKAL, S.; TROUG, E. A chemical method for determining available soil nitrogen. **7th Intern. Congress of Soil Science**, Madison, Wisconsin, USA, 1960, Vol. II, p. 28-35.

SAHRAWAT, K.L. Assay of nitrogen supplying capacity of tropical rice soils. **Plant Soil**, Hague, v.65, p. 111-121, 1982.

SAHRAWAT, K.L. Evaluation of some chemical indexes for predicting mineralizable nitrogen in tropical rice soils. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, v.13, n.5, p. 363-377, 1982b.

SAHRAWAT, K.L. Nitrogen supplying ability of some Philippine rice soils. **Plant Soil**, Hague, v.55, p. 181-187, 1980.

SAHRAWAT, K.L.; BURFORD, J.R. Modification of the alkaline permanganate method for assessing the availability of Soil Nitrogen in upland Soils. **Soil Sci.**, Baltimore, v.133, n.1, p. 53-57, 1982.

SAHRAWAT, K.L.; PONNAMPERUNA, F.N. Measurements of exchangeable NH_4^+ in Tropical Rice Soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v.42, p. 282-289, 1978.

SCARSBROOK, C.E. Nitrogen availability. In: BARTHOLOMEW, W.V.; CLARK, F.E. Soil nitrogen. Ed. 1, Madison: **Am. Soc. of Agron.**, Inc., Publ. Serie 10, cap. 13, p. 481-502. 1965

SILVA, E.C. da; BUZETTI, S.; GUIMARAES, G.L.; LAZARINI, E.; SÁ, M.E. de Rates and timing of nitrogen application in corn under no-tillage on a Red Latosol. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. [online]. May/June 2005, vol.29, no.3 [cited 19 January 2006], p.353-362. Available from World Wide Web: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832005000300005&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0100-0683.

SILVA, C.A.; VALE, F.R. do; ANDERSON, S.J.; KOBAL, A.R. Mineralização de nitrogênio e enxofre em solos brasileiros sob influência da calagem e fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.9, p. 1679-1689, 1999.

SINGH, B.R.; URYIO, A.P.; LONTU, B.J. Distribution and stability of organic forms of nitrogen in forest soil profiles in Tanzania. **Soil Biol. Biochem.**, v.10, p. 105-108, 1978.

SOUSA, C.A.S. de **Fracionamento do nitrogênio orgânico em solos do Distrito Federal**. Brasília, 1993. 93 f. Tese (Mestrado do Departamento de Química) - Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade de Brasília – UnB, 1993.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Eds). **Cerrado: Correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 416p.

STANFORD, G.; LEGG, J.O. Correlation of soil N availability index with N uptake by plants. **Soil Science**, Baltimore, n.105, v.5, p. 320-326, 1988.

STANFORD, G.; SMITH, S.J. Oxidative release of potentially mineralizable soil nitrogen by acid permanganate extraction. **Soil Sci.**, Baltimore, v.126, n.4, p. 210-218, 1978.

THORNBURN, P.J.; MEIER, E.A.; PROBERT, M.E. Modelling nitrogen dynamics in sugarcane systems: Recent advances and applications. **Field Crop Research**, v. 92, p. 337-351, 2005.

ULHOA, A.M.C.; LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K. **Utilização do nitrogênio fertilizante por dois híbridos de milho**. Campinas: Fundação Cargil, 1982. 66p.

VELLY, J.; EGOUMENIDES, C.; PICHOT, J. L'azote extractible par une solution de KCl et la fourniture d'azote a la plante dans 40 sols tropicaux. **Agronomie Tropicale**, Paris, v. 35, n.4, p. 374-380, 1980.

VIEIRA, R.F.; CARDOSO, A.A. Variation on the quantity of mineral nitrogen in a soil amended with sewage sludge. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. [online]. July 2003, vol.38, no.7 [cited 17 January 2006], p.867-874. Available from World Wide Web: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2003000700011&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0100-204X.

WARING, S.A.; BREMNER, J.M. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of N availability. **Nature**, London, v.201, p. 951-952, fev/1964.

WOLSCHICK, D.; CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; JADOSKI, S.O. Adubação nitrogenada na cultura do milho no sistema plantio direto em ano com precipitação pluvial normal e com "El Nino". **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.3, p. 1-9, 2003.

YAMADA, T. Manejo do nitrogênio na cultura do milho. In: FANCELLI, A.L.; DOURADONETO, D. (Coord.) **Tecnologia da produção de milho**. Piracicaba: ESALQ, 1997. p. 121-130.

YOUNG, J.L.; ALDAG, R.W. Inorganic forms of nitrogens in soil. In: Nitrogen in agricultural soils. ed. 2. Madison: **Am. Soc. of Agron.**, 1982. cap. 3, p. 43-66.

ANEXOS

Anexo 1. Croqui da área experimental, definindo blocos e parcelas.

| | | | | | | |
|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| BLOCO II | 1 70 | 2 210 | 3 0 | 4 350 | 5 280 | 6 140 |
| BLOCO III | 7 210 | 8 280 | 9 140 | 10 70 | 11 0 | 12 350 |
| BLOCO I | 13 0 | 14 350 | 15 280 | 16 210 | 17 140 | 18 70 |
| BLOCO IV | 19 70 | 20 280 | 21 210 | 22 140 | 23 0 | 24 350 |

Legenda:

| |
|----------------------------------|
| N° parcela |
| Dose N (kg ha ⁻¹) |

Anexo 2. Atividades desenvolvidas durante o período experimental: 1) Preparo da área; 2) Emergência das plântulas; 3) Retirada amostras de solo (V3); 4) Vista geral; 5) K em cobertura (V6); 6) Controle lagarta do cartucho; 7, 8, 9) Vista geral; 10) Pré-colheita; 11) Colheita; 12) Análises laboratoriais.

