

JOÃO MANOEL S. DE OLIVEIRA

**PRODUÇÃO DE GRÃOS DE MILHO (*Zea mays* L.) EM FUNÇÃO
DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM COBERTURA NO
SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área
de Concentração: Ciências do Solo, Setor de
Ciências Agrárias, Universidade Federal do
Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires

**CURITIBA
2001**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO) e
MONITORAMENTO, MODELAGEM E GESTÃO AMBIENTAL(DOUTORADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-350-5648
E-mail: pgcisolo@agrarias.ufpr.br

P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **JOÃO MANOEL SANTOS DE OLIVEIRA**, com o título: **"Produção de grãos de milho (*Zea mays* L.) em função da adubação nitrogenada em cobertura no sistema plantio direto"**, para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de Parecer pela **"APROVADO"** da Dissertação, com o conceito **"A"**, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 20 de dezembro de 2001.

Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires, Presidente.

Prof. Dr. Roberto Lyra Villas Boas, I° Examinador.

Prof. Dr. Luiz Antonio Corrêa Lucchesi, II° Examinador.

À Nossa Senhora Auxiliadora,

Aos meus pais João e Mariza,

À minha irmã Maria,

COM MUITO AMOR,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais pelo apoio e incentivo durante toda minha vida, e principalmente, pela condução serena de nossa família, que é o motivo mais importante de minha luta por novas conquistas.

Ao Professor Dr. Eduardo Fávero Caires, por sua amizade e tranqüila condução dos trabalhos. Sua contribuição sempre será lembrada como um marco inesquecível.

À minha irmã que por muitas e muitas vezes largou seus afazeres para me apoiar neste trabalho.

Aos meus queridos tios Paulo e Lair e seus filhos por me acolherem com muito carinho em sua casa durante a elaboração dos meus estudos.

Aos professores e funcionários da Pós-graduação Dra. Beatriz Prevedelo, Dr. Celso Prevedelo, Dr. Bruno Reissman, Dr. Luiz Antonio C. Luchesi, Gerson Novick (Secretário da pós-graduação).

Aos amigos laboratoristas da UFPR Aldair Munhoz, Roberto, Sérgio, Reginaldo, Rui e da UEPG Sérgio Knapp, Dirce Aparecida Vaz e Verônica Dias Carneiro.

Ao senhor Leonildo “Canjica” por auxiliar-me do começo ao fim nos trabalhos de campo, valeram as horas de ajuda.

À Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curso de Pós-graduação em Agronomia, Área de concentração Ciência do Solo, pela oportunidade e apoio na realização do mestrado.

À empresa Macrofertil pelos fertilizantes cedidos para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vi
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	14
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
5 CONCLUSÕES.....	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
01	DADOS DIÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIAL E TEMPERATURA MÉDIA DO AR NO PERÍODO DE 01/09/1999 A 31/03/2000.....	16
02	PRODUÇÃO DE GRÃOS DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO	20
03	NÚMERO DE GRÃOS POR ESPIGA DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO.....	24
04	MASSA DE ESPIGA POR PLANTA (a) E DE GRÃOS POR ESPIGA (b) DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO.....	27
05	MASSA DE 1000 GRÃOS DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES DE NITROGÊNIO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO.....	29

LISTA DE TABELAS

TABELA		PÁGINA
01	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SOLO UTILIZADO NA ÁREA EXPERIMENTAL, TIBAGI - PR.....	14
02	PRODUÇÃO DE GRÃOS DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, FAZENDA BONSUCESO, TIBAGI – PR.....	19
03	NÚMERO DE ESPIGAS POR PLANTA DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, FAZENDA BONSUCESO, TIBAGI – PR.....	21
04	NÚMERO DE FILEIRAS POR ESPIGA DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, FAZENDA BONSUCESO, TIBAGI – PR.....	22
05	NÚMERO DE GRÃOS POR ESPIGA DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, FAZENDA BONSUCESO, TIBAGI – PR.....	23
06	MASSA DE ESPIGAS POR PLANTA DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, FAZENDA BONSUCESO, TIBAGI – PR.....	25
07	MASSA DE GRÃOS POR ESPIGA DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, FAZENDA BONSUCESO, TIBAGI – PR.....	26

08	MASSA DE 1000 GRÃOS DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, FAZENDA BONSUCESSO, TIBAGI – PR.....	28
09	ALTURA DA PLANTA DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, FAZENDA BONSUCESSO, TIBAGI – PR.....	30
10	ALTURA DE INSERÇÃO DA ESPIGA DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, FAZENDA BONSUCESSO, TIBAGI - PR.....	31
11	TEORES DE NUTRIENTES NAS FOLHAS DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO (MÉDIAS DE QUATRO MODOS DE APLICAÇÃO E TRÊS REPETIÇÕES), FAZENDA BONSUCESSO, TIBAGI – PR.....	32
12	TEORES DE NUTRIENTES NAS FOLHAS DE MILHO EM FUNÇÃO DE MODOS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO (MÉDIAS DE QUATRO DOSES DE N E TRÊS REPETIÇÕES), FAZENDA BONSUCESSO, TIBAGI – PR.....	33

RESUMO

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de verificar se a uréia aplicada na superfície do solo influencia o desenvolvimento e a produção de grãos de milho, em decorrência de perdas de N-NH_3 por volatilização, e se a substituição parcial ou total da uréia por sulfato de amônio aumenta a eficiência da adubação nitrogenada em cobertura, sem incorporação. O experimento foi realizado na Fazenda Bonsucesso, Tibagi, PR, em um Latossolo Vermelho Distrófico textura média. O delineamento experimental empregado foi o de blocos ao acaso em parcela subdividida, com três repetições. Nas parcelas, foram aplicadas quatro doses de N em cobertura: 30, 60, 90 e 120 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e, nas subparcelas, foram utilizados quatro modos de aplicação: uréia na superfície (US), uréia incorporada (UI), sulfato de amônio na superfície (SAS) e uréia mais sulfato de amônio na superfície (US+SAS). Observou-se que não houve influência significativa do modo e da interação dose x modo de aplicação de N sobre a altura da planta e da inserção da espiga, a produção de grãos e seus componentes. As doses de N proporcionaram aumento linear na produção de milho, no número de grãos por espiga e na massa de espigas por planta, de grãos por espiga e de 1000 grãos. A altura de planta e de inserção de espiga não foram influenciadas significativamente pelas doses de N. Os modos de aplicação de N não exerceram influência sobre a concentração de macronutrientes nas folhas de milho, enquanto que os teores foliares de N e P aumentaram linearmente com a aplicação de doses de N. Para a obtenção de altas produtividades de milho, após o cultivo de aveia preta, em sistema plantio direto consolidado, é necessário o suprimento de doses elevadas de N em cobertura. A uréia, aplicada na superfície ou com incorporação, e o sulfato de amônio, aplicado na superfície, tiveram comportamento semelhante na nutrição e na produção de grãos de milho, indicando não existir vantagens econômicas em realizar a incorporação da uréia no solo ou sua substituição parcial ou total pelo sulfato de amônio.

Palavras-chave: *Zea mays* L., uréia, sulfato de amônio, nitrogênio.

ABSTRACT

The present work was carried out with the aim of assessing whether surface-applied urea affects corn development and yield as a result of N-NH₃ losses by volatilization, and whether the partial or full replacement of urea by ammonium sulfate increases the effectiveness of nitrogen fertilization as sidedressing, without incorporation. The experiment was conducted at Bonsucesso Farm, located in Tibagi, state of Paraná, Brazil, on a red dystrophic loam oxisol. The experiment was conducted in a split-plot design arranged in randomized complete blocks, with three replications. The plots received four rates of N applied as sidedressing: 30, 60, 90 and 120 kg ha⁻¹. The subplots were constituted by four application forms: surface-applied urea (US), incorporated urea (UI), surface-applied ammonium sulfate (SAS) and surface-applied urea plus ammonium sulfate (US+SAS). It was observed that the method of application and the interaction between rate and method of N application had no significant influence on plant height and ear height, grain yield and its components. The N rates led to a linear increase in corn yield, number of grains per ear, ear weight per plant, grain weight per ear, and weight of 1000 grains. Plant height and ear height were not significantly influenced by the rates of N. The methods of N application had no influence on the concentration of macronutrients in the corn leaves, while leaf concentrations of N and P increased linearly with the application of N rates. In order to obtain high corn yields following black oats under established no-tillage, it is necessary to supply high N rates as sidedressing. Urea, surface-applied or incorporated, and surface-applied ammonium sulfate performed similarly in nutrition and corn grain yield. This indicates that there are no economic benefits in carrying out the incorporation of urea or its partial or full replacement by ammonium sulfate.

Key words: *Zea mays* L., urea, ammonium sulfate, nitrogen.

1 INTRODUÇÃO

No estado do Paraná, os sistemas de produção mudaram a partir da década de 1970 com a introdução do sistema de plantio direto, visando minimizar perdas de solo e de nutrientes por erosão (MUZILLI, 1981). O sistema plantio direto tem apresentado rápido crescimento em área cultivada nos últimos anos e tem sido bastante utilizado no Paraná, ocupando atualmente cerca de 2.500.000 ha (CAIRES, 2000).

Para ser viabilizado técnica e economicamente, o plantio direto necessita ser tratado como um sistema de produção, abrangendo um complexo ordenado de práticas agrícolas que incluem, além do não revolvimento do solo, a rotação diversificada de culturas e o uso de plantas de cobertura para formar e manter resíduos vegetais na superfície do solo (MUZILLI, 2000).

A cultura do milho apresenta grande importância no esquema de rotação de culturas em sistema plantio direto. A ausência de revolvimento e a manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo, resultam em aumento significativo da quantidade de matéria orgânica. O fluxo de liberação de N ao sistema é influenciado pela presença de resíduos com maior ou menor relação C/N. Dessa forma, a aplicação de fertilizante nitrogenado é condicionada pela interação de condições climáticas e combinação de culturas com diferentes relações C/N (DICK et al., 1991).

A adubação nitrogenada em cobertura, na cultura do milho, em sistema plantio direto, é feita, principalmente, utilizando-se uréia na superfície. Isso porque a uréia constitui-se numa das fontes mais vantajosas, considerando-se o custo por unidade de nitrogênio.

Entre os mecanismos de transformação do N aplicado ao solo, a volatilização da amônia é um dos que mais contribuem para a baixa recuperação de N pela cultura (ERNST & MASSEY, 1960; LARA CABEZAS et al., 1997 a, b).

VILLAS BÔAS et al. (1993) verificaram aumento na concentração do N nas folhas de milho com a substituição parcial de uréia por sulfato de amônio.

Apesar das expressivas perdas de N-NH₃ por volatilização com aplicação de uréia na superfície (MARTIM & CHAPMAN, 1951; BOUWMEESTER et al., 1985; LARA CABEZAS et al., 1997 a, b), existem controvérsias a respeito dos reflexos de tais perdas de N sobre a produtividade de milho.

Considerando-se que a uréia aplicada na superfície do solo proporciona uma baixa eficiência de aproveitamento de N pelo milho, em decorrência de perdas por volatilização de amônia, é possível que sua substituição parcial ou total da uréia por sulfato de amônio aumente a eficiência da adubação nitrogenada em cobertura, contribuindo para que os ganhos em produtividade ocorram em doses mais baixas de N aplicado. O presente trabalho foi realizado com objetivo de se verificar essa possibilidade, mediante avaliação da produtividade e de componentes de produção de milho em função de doses e modos de aplicação de N cobertura no sistema plantio direto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O milho é cultivado em praticamente todas as regiões do Brasil. Embora a produtividade média no país esteja em torno de 2 t ha^{-1} , agricultores com bom nível tecnológico, utilizando material genético de boa qualidade, conseguem normalmente colher 8 t ha^{-1} ou mais, e há registros de produtividades superiores a 16 t ha^{-1} , em áreas irrigadas BÜLL & CANTARELLA(1993). Esses números dão uma idéia da elasticidade de produtividade dessa gramínea.

Vários fatores contribuem para que a produtividade brasileira de milho não alcance patamares satisfatórios, sendo um dos principais a utilização de pouca ou nenhuma tecnologia, em função do baixo nível de capitalização dos pequenos produtores, que respondem por aproximadamente 60% da produção nacional (BÜLL, 1993).

Uma das formas de se aumentar a produtividade da cultura é, sem dúvida, a nutrição mineral adequada, através de programas de adubação que considerem, além da quantidade de fertilizante fornecida, também o balanço entre os nutrientes requeridos. As condições climáticas e o sistema de produção também exercem grande influência na produtividade. Excelentes resultados têm sido obtidos em solos manejados no sistema plantio direto.

O plantio direto é um processo de semeadura em solo não revolvido e devidamente protegido por resíduos vegetais de culturas anteriores, no qual as sementes são colocadas em sulcos ou covas, com largura e profundidade suficientes para a adequada cobertura e contato das mesmas com a terra (MUZILLI, 1981). Esse sistema tem se consolidado como uma das estratégias mais eficazes para melhorar a sustentabilidade da agricultura em regiões tropicais e subtropicais. Sua adoção em substituição à prática de agricultura em “terra nua” deve ser considerada como um investimento na gestão dos recursos naturais e sócio-econômicos, cujos principais impactos são assegurados pela conservação do solo, da água e do ar, pela economia no uso de maquinários e de produtos agroquímicos. Segundo estudos realizados por FAWCET (1997), com a adoção do plantio direto houve uma redução de 70% nas perdas de pesticidas, e em outros estudos

verificou-se que o plantio direto poderia reduzir em até 16% as emissões mundiais de gases provenientes de combustíveis fósseis (CTIC, 1996), além de consumir entre 60 a 70% menos combustível (óleo Diesel) do que o sistema convencional (RUEDELL, 1995 & GASSEN, 1997).

Segundo GONÇALVES & CERETTA (1999) o sucesso do plantio direto depende da adoção de sistemas de culturas que privilegiem a produção e a manutenção de resíduos culturais na superfície do solo e com isso, a elevação do teor de matéria orgânica do solo, que depende fundamentalmente da quantidade de matéria seca produzida pelos sistemas de culturas e propiciar alterações nos sistemas tradicionais de manejo de fertilizantes nitrogenados.

Na fase inicial de estabelecimento do sistema plantio direto pode haver maior demanda de adubação nitrogenada por espécies de gramíneas, em virtude do processo de imobilização do nutriente no sistema solo - planta ser mais intenso, devido ao aumento da atividade microbiana pela maior oferta de carbono no sistema. Dependendo das condições edafoclimáticas e da seqüência de culturas estabelecidas em rotação, após 3 ou 4 anos haverá um restabelecimento do equilíbrio das transformações no sistema, à medida em que os resíduos vegetais vão se acumulando sobre a superfície do solo. Em prazo mais longo, poderá haver maior liberação de N ao sistema, com diminuição das necessidades de adubação nitrogenada (SÁ, 1993).

O cultivo contínuo em sistema plantio direto tem proporcionado, pela não incorporação dos resíduos das culturas, aumento no teor de matéria orgânica do solo, que somado à manutenção de uma cobertura morta, influenciam significativamente a atividade biológica (DERPSCH, 1990).

BALLOTA et al. (1997) observaram no plantio direto acréscimos, em relação ao sistema convencional de preparo, de 129 e 48% na biomassa de carbono e nitrogênio, respectivamente, após 19 anos.

Comparando sistemas de preparo de solo, submetidos a diferentes sistemas de rotação de culturas, AMADO et al. (1999) observaram que o plantio direto proporcionou

maior acúmulo de nitrogênio total no solo comparado aos preparos convencional e reduzido. Estes autores também verificaram menor disponibilidade de nitrogênio no plantio direto, a qual esteve associada à menor taxa de mineralização dos resíduos vegetais da matéria orgânica e à maior taxa de imobilização do nutriente pela biomassa microbiana. Porém, esta menor disponibilidade de N não afetou a produtividade do milho.

A cultura do milho apresenta alta exigência em nitrogênio e não dispõe de mecanismos para fixação simbiótica do N₂.

No plantio direto a maior preocupação é em elevar a disponibilidade de N no início do desenvolvimento do milho, por ser ele, na maioria dos sistemas de produção, cultivado em sucessão a gramíneas. Isto pode significar comprometimento da quantidade de N disponível para o milho, pois segundo SALET et al. (1997), a imobilização de N mineral pela biomassa microbiana é a principal causa da menor disponibilidade de N. Do ponto de vista da utilização de N pelas plantas, a mineralização contínua dos resíduos culturais, em taxas menores, pode contribuir com quantidades expressivas para o suprimento do nutriente, proporcionando o uso mais eficiente no sistema (SÁ, 1999). Segundo o mesmo autor, ocorrem picos com maior imobilização pela biomassa microbiana do solo e, na seqüência, picos com maior mineralização e disponibilidade de N pelas plantas, é nas condições de imobilização de N que a complementação com fertilizante nitrogenado seria eficaz.

Conforme Victoria et al., 1992 citado por SÁ (1999), a adição de quantidade elevada de resíduos culturais com alta relação C:N (aveia preta, milho, milheto) proporciona aos microorganismos quimiorganotróficos, que atuam na decomposição da matéria orgânica, tornaram-se gradativamente ativos, multiplicando-se e produzindo CO₂ em grande quantidade. Nessas condições, o nitrato praticamente desaparece do solo, devendo ocorrer o mesmo com o amônio, se presente. Durante certo período, a cultura em desenvolvimento terá pouca ou nenhuma disponibilidade de N mineral para o seu desenvolvimento, causando um estresse com a carência de N no sistema. Entretanto, a continuidade do processo de decomposição diminui a relação C:N do solo, uma vez que o

C está sendo perdido na forma de CO_2 e o N, conservado pela formação de massa celular microbiana. Essa situação continua até que os resíduos vegetais atinjam uma relação C:N em torno de 20. Nesse ponto, a atividade de microorganismos decompositores, pela falta de carbono facilmente oxidável, diminui gradualmente, e também a formação de CO_2 . O N deixa de ser limitante para os processos microbianos, passando, então, a ocorrer a liberação de N mineral. A nitrificação volta a ser ativa, produzindo nitrato em níveis superiores às condições originais. A presença de resíduos culturais facilmente decomponíveis cuja relação C:N seja ao redor de 15 a 20:1 (soja, feijão, tremoço, nabo forrageiro) significa uma disponibilidade de energia para os microorganismos, cuja população tenderá a crescer. Por outro lado, se o material em decomposição tiver pouco N, relação C:N superior a 30:1 (aveia, milho, milho) esse será o fator limitante do crescimento da população microbiana, que apresenta, em média, a relação C:N 10:1 (SÁ, 1999). Do ponto de vista prático, as adições de resíduos culturais com alta relação C:N, antes do plantio de uma cultura, possibilitará um consumo de N pela biomassa microbiana do solo, imobilizando-a na sua massa celular, podendo causar deficiência na cultura em desenvolvimento, caso não seja adicionado N via fertilizante.

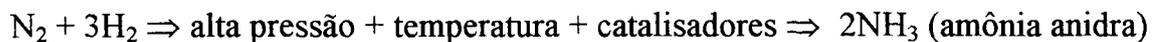
MUZILLI (1983), mostrou claramente a deficiência de nitrogênio no tecido foliar do milho e do trigo, quando a seqüência de culturas era predominantemente constituída de gramíneas (milho, trigo, milho), mas a inclusão de uma leguminosa como a soja, reduziu sensivelmente a carência de N nessas culturas. Portanto, pode-se afirmar que a liberação de N a partir dos resíduos de leguminosas ocorre nas primeiras semanas, enquanto que o da aveia preta coincidirá com o estágio de florescimento e enchimento de grãos do milho (SÁ, 1999).

Outro ponto que não deve ser deixado de lado quando está se tratando de N é com relação às condições climáticas. Em anos que existe boa distribuição de chuvas durante o ciclo da aveia e no desenvolvimento inicial da cultura de milho, observou-se maior liberação do N acumulado na cultura de aveia preta, coincidindo com o estágio de florescimento; nesse caso, somente a adição de N na semeadura poderá garantir a

produção de grãos (SÁ, 1996 b). Entretanto, em anos com distribuição irregular da precipitação pluvial, ocorre maior retenção do N, sugerindo sua imobilização pela biomassa microbiana por um período mais prolongado, cujo pico de imobilização de N no solo coincidiria com o pico de demanda pela planta.

Em solos, quantidades consideráveis de nitrogênio encontram-se, principalmente, em formas orgânicas, considerando que praticamente não há N nas rochas que dão origem aos solos. Sendo assim, o suprimento de N para o milho deve ser realizado através da aplicação de fertilizantes nitrogenados.

Para a obtenção de fertilizantes nitrogenados, o N₂ é transformado em amônia. Segundo OSAKI (1991), para a produção de amônia, o nitrogênio do ar é fixado com o hidrogênio, utilizando-se de pressão e temperatura elevadas, obedecendo a seguinte reação:



Para produzir amônia, usa-se o gás natural que é a maior fonte de hidrogênio. Este gás ainda fornece o dióxido de carbono que é utilizado para a produção da uréia.

Após a obtenção de amônia anidra, podem ser produzidos vários fertilizantes nitrogenados, entre os quais a uréia e o sulfato de amônio se destacam por serem os mais difundidos no Brasil.

A uréia resulta da reação do dióxido de carbono com a amônia anidra, sob pressão elevada, obedecendo a seguinte reação:



É um adubo sintético, orgânico, granulado, branco, solúvel em água e rico em N. Contêm 45 a 46% de nitrogênio na forma amídica e, apesar de ser solúvel em água, não é diretamente assimilável pelas plantas. Para isso, é necessário que ocorra a amonização pelos microorganismos do solo (OSAKI, 1991).

Nos últimos anos, a uréia passou a ser o mais importante adubo nitrogenado no País, porém o aproveitamento do nitrogênio dessa fonte é muitas vezes comprometido, devido, principalmente a problemas com perdas N-NH₃ por volatilização (VILLAS BÔAS et al.,

1993). Tais perdas podem chegar até mais da metade do N aplicado (RODRIGUES & KIEHL, 1986; LARA CABEZAS et al., 1997 b).

A uréia ao ser aplicada ao solo sofre hidrólise enzimática, produzindo carbonato de amônio $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ que se desdobra em gás NH_3 , CO_2 e água. Um dos fatores que exerce influencia no aumento das perdas de amônia por volatilização é o aumento do pH até 8,7 próximo da região de aplicação da uréia, logo após a hidrólise, o que dificulta a transformação do gás amônia em um íon mais estável (NH_4^+) (RODRIGUES & KIEHL, 1992). Outro fator que influencia as perdas de N por volatilização é a CTC do solo.

COELHO et al. (1991) relatam que apenas cerca de 50% do N aplicado na forma de uréia é recuperado pelas culturas em regiões tropicais. Os mesmos autores observaram, em solo com preparo convencional em Sete Lagoas (MG), que a recuperação da uréia pelas plantas de milho foi em torno de 56%, e as perdas por lixiviação foram de apenas 4%. Não foram observadas diferenças entre a uréia incorporada a 7,5 cm e a lanço.

O aumento da dose de uréia aplicada também aumenta as perdas de N-NH_3 por volatilização. Em doses de até $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, as perdas de uréia por lixiviação são muito pequenas (COELHO et al. 1991).

RODRIGUES & KIEHL (1986) verificaram, em laboratório e casa de vegetação, em solos arenosos e com baixos teores de matéria orgânica (11 e 14 g kg^{-1}), que quanto menor a dose e maior a profundidade de incorporação, menores as perdas de uréia por volatilização. Cerca de 65 a 91% das perdas de amônia ocorreram entre 1 e 16 dias após a aplicação (período crítico). Com a aplicação de uréia na superfície, foram observadas perdas de 96% do N aplicado, enquanto que com a incorporação tais perdas variaram de 35 a 62% (RODRIGUES & KIEHL, 1986).

Segundo VILLAS BÔAS et al. (1993), a incorporação de uréia no solo é uma prática efetiva na diminuição das perdas de N-NH_3 por volatilização, porém ainda é pouco utilizada. Estudos recentes têm mostrado a possibilidade de diminuir as perdas de amônia por volatilização, através do uso de mistura de uréia com outros sais (Buresh et al., 1984;

Hargrove, 1998 citado por LARA CABEZAS et al. 1997a).

A precipitação pluvial ou irrigação é outro fator importante a ser considerado nas perdas de N-NH₃ por volatilização da uréia. LARA CABEZAS et al. (1997a) estudaram, no cerrado, o efeito da irrigação nas perdas de N-NH₃ (uréia), simulando precipitação pluvial antes e depois da adubação. Verificaram que as perdas acumuladas de N-NH₃ foram praticamente iguais, de 42,8 e 40,6% do N aplicado, com irrigação prévia e posterior à adubação, respectivamente. Quando parte da uréia foi substituída por sulfato de amônio, as perdas foram menores, especialmente quando a irrigação foi posterior (23,0% do N aplicado) em comparação com a irrigação prévia (38,6% do N aplicado) à adubação.

Independente do sistema de manejo do solo, ainda é comum a aplicação de uréia na superfície sem incorporação. A questão é definir, em termos técnicos e econômicos, a melhor forma de aplicar a uréia, superficial ou incorporada a 5-7cm de profundidade (LARA CABEZAS, 1999).

É simples, em primeira instância, optar pela aplicação superficial, visto que o resultado é mais econômico que a incorporação, seja pelo menor consumo de combustível, de mão de obra e do tempo requerido para se efetuar a aplicação.

A situação muda radicalmente a favor da incorporação da uréia, quando são adicionados aos custos de aplicação, os custos derivados das perdas por volatilização da amônia e a incidência dessas perdas na queda de produtividade (LARA CABEZAS, 1999).

O sulfato de amônio [(NH₄)₂SO₄] também é um fertilizante sintético, sendo resultante da reação da amônia anidra com o ácido sulfúrico, mas também pode ser obtido como subproduto de indústrias químicas e de processamento de carvão mineral para fabricação de coque.

O sulfato de amônio contém 20 a 21% de nitrogênio e 22 a 24% de enxofre. Apesar de ser uma excelente fonte nitrogenada e ainda poder suprir as necessidades de enxofre na cultura do milho com a sua utilização, apresenta a desvantagem do teor relativamente

baixo de nitrogênio. Por outro lado, as perdas de $N-NH_3$ por volatilização com a sua aplicação na superfície são inferiores a 15% do N aplicado (LARA CABEZAS et al., 1997 b).

O nitrogênio é um dos nutrientes que apresenta os efeitos mais espetaculares no aumento da produção de grãos na cultura do milho (NEPTUNE et al., 1984). Segundo MALAVOLTA (1979), a principal forma de nitrogênio absorvido pelas raízes é a nítrica, sendo que o processo de fluxo de massa responde por 99% do contato íon - raiz no fornecimento de nitrato para o milho.

Segundo YAMADA (1996), após ter ocorrido a absorção do nitrogênio na forma nítrica pela planta, esta é reduzida à NH_3 , num processo onde duas enzimas estão envolvidas: a redutase de nitrato e a redutase de nitrito, sendo que a primeira está relacionada com a transformação de NO_3^- em NO_2^- e a segunda com a transformação de NO_2^- em NH_3 , para posterior assimilação nas moléculas de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos e citocromos, além de sua importante função como integrante da molécula de clorofila.

Como regra, as taxas de crescimento mais elevadas e maiores produções das culturas são obtidas pelo suprimento de fertilizante contendo a forma amoniacal e nítrica combinadas (MARSCHNER, 1995).

O nitrogênio é pouco absorvido pelo milho no início do desenvolvimento da cultura até por volta de seus trinta dias. Nessa fase, as plantas utilizam as próprias reservas das sementes, que chegam a translocar até 2/3 do seu total para as raízes e parte aérea (ECK, 1984). Por ocasião do período de formação dos grãos ocorre translocação do nitrogênio de outras partes da planta, como folhas, colmo e palhas da espiga para os grãos, formando reservas na forma de proteínas. A importância desses compostos nos grãos se prende ao fato do milho ser usado amplamente na alimentação animal e humana, entrando não só como fonte de carboidratos, mas também como fonte protéica. OBREZA & RHOADS (1988) observaram aumento de proteína nos grãos de milho mediante aplicação de doses de adubos nitrogenados. Sendo assim, o nitrogênio também apresenta

forte influência sobre a qualidade da produção de grãos de milho. Ressalta-se, entretanto, que esse aumento no teor de proteína dos grãos diminui os teores de aminoácidos essenciais, já que este aumento no teor protéico está ligado ao aumento de zeína, uma proteína de baixa qualidade nutritiva (VASCONCELOS, 1989). Neste sentido, RENDING & BROADBENT (1979) observaram aumento na porcentagem de zeína e diminuição na composição porcentual dos aminoácidos lisina e triptofano em grãos de milho em experimento com doses crescentes de nitrogênio. De acordo com TOSELLO (1987), o maior problema que ocorre com a proteína do milho normal é a deficiência em lisina e triptofano do endosperma. Aproximadamente 80% das proteínas presentes nos grãos estão no endosperma e, desse total, 50% são representados por zeína que, além de ser pobre nesses dois aminoácidos essenciais, é de baixa digestibilidade pelos animais monogástricos.

A formação de grãos na cultura do milho está estreitamente relacionada com a translocação de açúcares (CRAWFORD et al., 1982) e de nitrogênio (KARLEN et al., 1988) de órgãos vegetativos, principalmente das folhas, para os grãos. Assim, é evidente a relação entre a área foliar verde e a produção de grãos. Isto ocorre, basicamente, pela maior capacidade que as folhas bem nutridas em nitrogênio têm de assimilar CO₂ e sintetizar carboidratos durante a fotossíntese, resultando em maior acúmulo de biomassa.

O aumento de produtividade de milho proporcionado pelo nitrogênio pode ser atribuído também aos seus efeitos sobre o crescimento do sistema radicular e sobre o aumento do comprimento da espiga (BALKO & RUSSEL, 1980) e do número de espigas por planta (BALKO & RUSSEL, 1980; EBELHAR et al., 1987).

Em condições de deficiência de nitrogênio, a divisão celular nos pontos de crescimento é retardada, o que resulta em redução na área foliar e no tamanho da planta (ARNON, 1975), com reflexos negativos na produção de grãos de milho.

Deficiências de nitrogênio são muito comuns no milho em solos de baixa fertilidade, desde que não haja o suprimento adequado de N através da adubação. Sendo exigido em

grandes quantidades pelo milho e, desempenhando funções importantes como constituinte da clorofila e de proteínas, a sua falta provoca sérios distúrbios nessa cultura. Segundo ARNON (1975), os sintomas de deficiência aparecem na fase de crescimento mais intenso da planta, coincidindo com a maior demanda do nutriente.

O crescimento normal de uma planta não depende apenas da concentração, na forma disponível, de um dado nutriente no meio de crescimento, mas também das quantidades relativas de outros elementos que estão disponíveis (BÜLL, 1993). ARNON et al. (1975) relataram que o crescimento da planta em relação a um nutriente é uma função de duas variáveis: intensidade e balanço nutricional.

Considerações a respeito dos efeitos do balanço nutricional na produção das culturas foram feitas de forma bastante minuciosa por SUMMER & FARINA (1986). O reconhecimento da importância do balanço nutricional na produção de uma cultura é um reflexo indireto da contribuição das interações de nutrientes.

De acordo com Dewit et al., 1963 citados por NOGGLE (1966), um dos fatores que regula a taxa de crescimento de uma planta é a concentração de ânions orgânicos no tecido. A concentração de ânions orgânicos é regulada pelo balanço entre cátions e ânions inorgânicos e estimada pela diferença entre suas concentrações (C-A), sendo que os tratamentos com fertilizantes que aumentam a concentração de ânions orgânicos aumentam as produções. Dentro deste conceito, BANWART & PIERRE (1975) estudaram o efeito do nitrogênio, do fósforo e do potássio sobre o balanço cátion – ânion e sobre a produção de grãos de milho. Observou-se que o nitrogênio contribuiu de forma marcante para o aumento da concentração de ânions orgânicos (C-A), com reflexos positivos na produção de grãos, e que tanto o fósforo como o potássio tenderam a reduzir a concentração de ânions orgânicos (C-A), sem, entretanto alterar a produção.

Efeitos da interação de nitrogênio e fósforo sobre a produção de grãos de milho também têm sido observados. De acordo com GAMBOA (1980), a adubação nitrogenada, principalmente quando realizada na forma amoniacal, proporciona incrementos na absorção de fósforo pelo milho. Esses efeitos podem ser atribuídos ao fato

de que elevadas concentrações de nitrogênio, na zona de absorção, pré-condicionam as raízes a aumentar a absorção e a translocação de fósforo que se encontra concentrado na porção de solo explorada pelo sistema radicular (THIEN & McFEE, 1970). O amônio aumenta a taxa de dissociação do complexo fosfato-carregador no xilema, quando são comparados $\text{NH}_4^+ + \text{P}$ com $\text{NO}_3^- + \text{P}$ ou apenas P (LEONCE & MILLER, 1966).

A influência do nitrogênio sobre o aumento da absorção de fósforo é marcante mesmo em solos com teores elevados de fósforo disponível (TERMAN & NOGGLE, 1973), nos quais as plantas não apresentam resposta à adubação fosfatada.

São muito conhecidas as funções desempenhadas individualmente pelo potássio e pelo nitrogênio no ciclo de vida das plantas. De acordo com ARNON (1975), as interações entre nitrogênio e potássio são frequentes em experimentos de campo, mostrando que o balanço N:K é particularmente importante para a cultura do milho. O balanço N:K afeta aspectos qualitativos da cultura do milho, como conteúdo de proteínas, qualidade da silagem e peso de 1000 grãos (LOUÉ, 1978).

Outro nutriente que interage com o nitrogênio é o enxofre. São dois nutrientes essenciais para a síntese de proteínas na cultura do milho e o suprimento inadequado de um desses nutrientes acarreta desbalanceamento, resultando em prejuízos na qualidade do produto colhido, além de redução na produção de grãos. De forma geral, o desbalanço se dá em relação ao suprimento de enxofre, pois como o milho apresenta alta exigência em nitrogênio, são comuns aplicações elevadas desse nutriente na adubação. Com o uso crescente de fórmulas concentradas em macronutrientes primários (NPK), pobres em enxofre, nem sempre tem havido o suprimento adequado de enxofre às plantas. STEWART & PORTER (1969) mostraram que as máximas produções de matéria seca e de proteína em plantas jovens de milho foram obtidas quando a relação N/S no tecido se apresentava em torno de 11. Nesse mesmo trabalho, os autores demonstraram a estreita relação existente entre o conteúdo de nitrogênio e de enxofre protéicos e a dependência da incorporação de nitrogênio em proteínas ao adequado suprimento de enxofre.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda Bonsucesso, no município de Tibagi, PR, sobre um LATOSSOLO Vermelho Distrófico de textura média, manejado há dez anos sob plantio direto. Os resultados de análises químicas do solo foram procedidas conforme metodologia descrita por (PAVAN et al., 1992), de amostras coletadas da camada de 0 a 20 cm, antes da instalação do experimento, são mostrados na TABELA 01.

TABELA 01 – CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SOLO UTILIZADO NA ÁREA EXPERIMENTAL, TIBAGI, PR

Prof.	pH	H+Al	Al	Ca	Mg	K	P (Mehlich 1)	C	CTC	V	Ca/Mg
cm	CaCl ₂	mmolc/dm ³				mg/dm ³		g/dm ³	mmolc/dm ³	%	
0 – 20	4,9	77,6	1,1	59	40	4,3	8,5	23	180,9	57	1,5

O clima da região é classificado, de acordo com o sistema de KÖPPEN, como Cfb, (subtropical úmido mesotérmico, com geadas frequentes na estação de inverno e verão ameno, com temperatura média do ar de 22°C), precipitação pluvial média anual de 1420 mm e umidade relativa em torno de 75%.

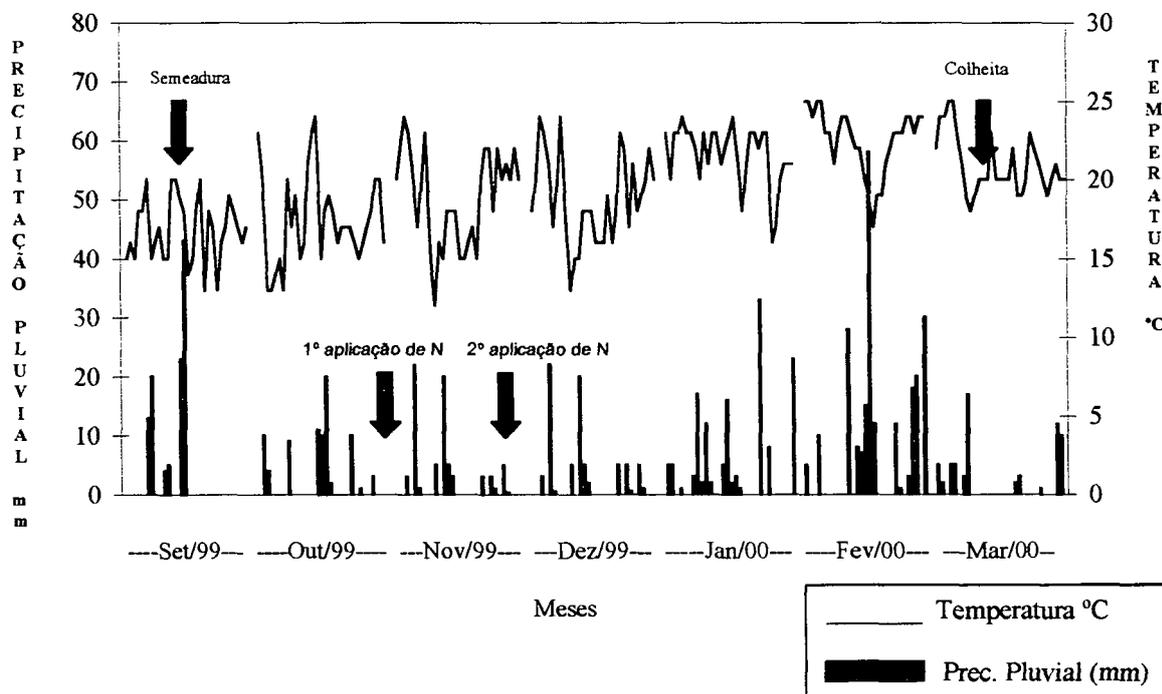
O sistema plantio direto foi implantado em 1991. Na rotação de culturas foram utilizados: aveia preta (inverno/1991), soja (1991/1992), trigo (inverno/1992), soja (1992/1993), aveia preta (inverno/1993), milho (1993/1994), aveia preta (inverno/1994), soja (1994/1995), triticale (inverno/1995), soja (1995/1996), aveia preta (inverno/1996), milho (1996/1997), trigo (inverno/1997), soja (1997/1998), aveia preta (inverno/1998), soja (1998/1999), aveia preta (inverno/1999) e milho (1999/2000).

O delineamento experimental empregado foi o de blocos ao acaso em parcelas subdivididas, com três repetições. As parcelas foram constituídas por cinco linhas de milho de 24 m de comprimento, as quais foram divididas em quatro subparcelas de 6 m de comprimento. Nas parcelas, foram aplicadas quatro doses de nitrogênio em cobertura: 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ e, nas subparcelas, foram utilizados quatro modos de aplicação: uréia na superfície (US), uréia incorporada (UI), sulfato de amônio na superfície (SAS) e uréia mais sulfato de amônio na superfície (US+SAS). As aplicações foram realizadas na época da emissão do 4^o par de folha totalmente expandido, sendo que para o tratamento US+SAS, metade da dose foi aplicada na forma de uréia, por ocasião da emissão do 4^o par de folha totalmente expandido, e a outra metade na forma de sulfato de amônio, por ocasião da emissão do 8^o par de folha totalmente expandido.

O milho, híbrido Cargill 909 de ciclo superprecoce e medianamente tolerante a seca, foi semeado mecanicamente em 15 de setembro de 1999, após o cultivo de aveia preta, na densidade de cinco sementes por metro linear e espaçamento de 0,85 m entrelinhas. A adubação de base utilizada na semeadura foi 310 kg ha⁻¹ da fórmula 8-28-16 (N-P₂O₅-K₂O).

Os dados de precipitação pluvial e temperatura do ar, ocorridas no decorrer do período do experimento, encontram-se na FIGURA 01.

FIGURA 01 – DADOS DIÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIAL E TEMPERATURA DO AR NO PERÍODO DE 01/09/1999 A 31/03/2000



Fonte: SEAB/PR

Amostras de folhas foram coletadas em dez plantas de cada subparcela, por ocasião do pleno florescimento, retirando-se a folha imediatamente abaixo e oposta à espiga. Essas amostras foram cortadas, utilizando-se apenas o terço médio da folha, lavadas em água desionizada, colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar a 60°C e, posteriormente, moídas. Foram analisados os teores de N, P, K, Ca, Mg e S pelos métodos descritos em MALAVOLTA et al. (1997). A análise de N foi realizada através de digestão sulfúrica e determinação pelo método Kjeldhal. Os demais nutrientes foram determinados por digestão nítrico - perclórica e leitura por colorimetria do molibdato-vanadato de amônio para P, fotometria de emissão para K, espectrofotometria de absorção atômica para Ca e Mg e turbidimetria do sulfato de bário para S.

Na época da colheita, foram escolhidas dez plantas ao acaso dentro de cada

subparcela para avaliações da altura da planta e de componentes de produção. Essas avaliações foram realizadas nas três linhas centrais de cada subparcela, desprezando-se um metro de cada extremidade. Foram feitas as seguintes determinações: altura da planta e da inserção da espiga, número e massa de espigas por planta, número e massa de grãos por espiga, número de fileiras por espiga e massa de 1000 grãos. A altura da planta e da inserção da espiga foi determinada utilizando-se régua com trena pregada em ripa de madeira; o número de espigas por planta, número de grãos por espiga e número de fileiras por espiga, foram determinados através de contagem manual após as espigas terem sido despalhadas manualmente; a massa de espigas por planta, massa de grãos por espiga e massa de 1000 grãos, foram determinadas por meio de balança, após despalhamento e debulha manual dos grãos.

Após a maturação, o milho foi colhido manualmente e trilhado, sendo então determinada a produção de grãos a 130 g kg^{-1} de umidade. Foram colhidas as três linhas centrais por quatro metros de comprimento de cada subparcela, tendo sido desprezados um metro de cada extremidade.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e de regressão. Na ausência de significância da interação dose x modo de aplicação de nitrogênio sobre as variáveis estudadas, os efeitos principais das doses de nitrogênio e dos modos de aplicação foram discutidos separadamente, pelas médias das observações, através de análises de regressão e pelo teste de Tukey, respectivamente, ao nível de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os efeitos de doses e modos de aplicação de nitrogênio sobre a produção de grãos de milho estão apresentados na TABELA 02. Nota-se que não houve influência significativa de modos de aplicação de nitrogênio e da interação dose x modo na produção de grãos. As doses de nitrogênio proporcionaram aumento linear na produção de milho até a dose de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio (FIGURA 02). O aumento médio na produção foi de 15,59 kg de grãos para cada kg de nitrogênio aplicado. Essa alta resposta do milho às doses de nitrogênio aplicadas em cobertura pode estar relacionada ao seu cultivo ter sido efetuado após aveia preta e à precipitação pluvial relativamente baixa nesse ano agrícola (FIGURA 01). MUZILLI (1983), observou que para a seqüência de culturas milho/trigo/milho foi detectada deficiência de N no tecido foliar do milho e do trigo, mas quando houve a inclusão de uma leguminosa como a soja esta deficiência de N foi reduzida. É importante ressaltar que houve resposta linear da produção de grãos de milho às doses de nitrogênio aplicadas em cobertura, em solo manejado há dez anos no sistema plantio direto e com alto teor de carbono orgânico (TABELA 01). De acordo com SÁ (1996), o aumento do teor de carbono orgânico no solo, em função do tempo de adoção do plantio direto, proporciona maior liberação de nitrogênio ao sistema, reduzindo a necessidade de adubação nitrogenada, fato que não foi evidenciado no presente trabalho. A resposta do milho à adubação nitrogenada parece ser mais influenciada pela cultura antecessora e pelas condições climáticas.

Apesar de não ter havido efeito significativo da interação dose x modo de aplicação de nitrogênio na produção de milho, nota-se que a uréia incorporada e o sulfato de amônio na superfície proporcionaram ganhos na produção de grãos que variaram de 2 a 12% em comparação à uréia na superfície, nas maiores doses de nitrogênio aplicadas (90 e 120 kg ha⁻¹). Apesar das grandes perdas de nitrogênio por volatilização que ocorreram com a aplicação de uréia na superfície em sistema plantio direto, da ordem de até 76% do

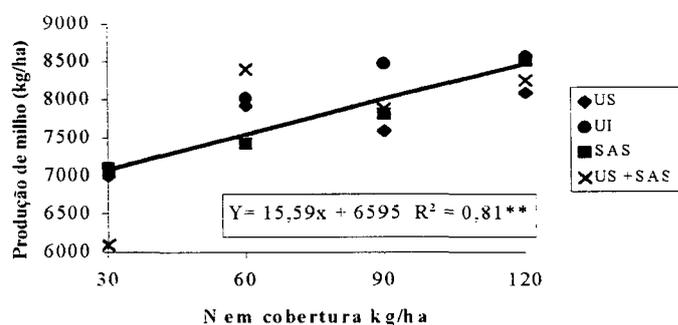
nitrogênio aplicado (LARA CABEZAS et al., 1997b), a redução na produção de grãos de milho com a aplicação superficial de uréia não tem sido muito grande.

TABELA 02 - PRODUÇÃO DE GRÃOS DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, FAZENDA BONSUCESSO, TIBAGI – PR

Doses de N kg ha ⁻¹	Modos de aplicação de N				Média
	US ⁽¹⁾	UI ⁽²⁾	SAS ⁽³⁾	US+SAS ⁽⁴⁾	
	Produção de grãos kg ha ⁻¹				
30	7011	7010	7098	6103	6805
60	7932	8019	7427	8405	7946
90	7588	8468	7812	7891	7940
120	8101	8571	8530	8264	8366
Média	7658	8017	7717	7666	
F dose	= 6,42*				
C.V. dose (%)	= 11,8				
F modo	= 0,64 ^{ns}				
C.V. modo (%)	= 9,5				
F dose x modo	= 0,84 ^{ns}				

⁽¹⁾Uréia em superfície na emissão da quarta folha. ⁽²⁾Uréia incorporada no solo na emissão da quarta folha. ⁽³⁾Sulfato de amônio em superfície na emissão da quarta folha. ⁽⁴⁾Metade da dose na forma de uréia em superfície na emissão da quarta folha e a outra metade na forma de sulfato de amônio em superfície na emissão da oitava folha. ns = não significativo. * = significativo P < 0,05.

FIGURA 02- PRODUÇÃO DE GRÃOS DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO



US = uréia na superfície, UI = uréia incorporada, SAS = sulfato de amônio na superfície, U + SAS = uréia + sulfato de amônio na superfície, ** = significativo P < 0,01.

CANTARELLA et al. (1998a) observaram que a uréia aplicada na superfície reduziu significativamente a produção de grãos de milho (15%) em apenas um caso em relação à uréia incorporada. Isso ocorreu em um ano em que houve um período de estiagem de dez dias após a adubação em cobertura, ao contrário dos outros experimentos, nos quais houve ocorrência de chuvas entre dois a quatro dias após a aplicação de uréia. Esses resultados sugerem que, em condições de campo, a precipitação pluvial desempenha um papel importante para incorporar a uréia ao solo e evitar perdas por volatilização. Bounwmeester et al., 1985 citados por COELHO (1991) afirmaram que uma precipitação de 24 mm após a aplicação de uréia é suficiente para evitar perdas por volatilização, mas 8 mm não é suficiente. Mesmo assim, LARA CABEZAS et al. (1997a) não observaram diminuição nas perdas de N-NH₃ por volatilização com a irrigação efetuada após a adubação e pluviosidade de 60 mm que ocorreu no dia seguinte, não se mostraram efetivas em inibir a volatilização da N-NH₃ hidrolisada da uréia. A queda relativamente pequena na produção de milho com a aplicação de uréia na superfície tem sido relacionada com a capacidade de solos de alta fertilidade suprir a cultura com maior quantidade de nitrogênio nativo, minimizando o efeito do nitrogênio volatilizado na queda de produção (LARA CABEZAS et al., 1997a,b). Segundo Janson & Pearson, 1982

citados por LARA CABEZAS et al. (1997a), a aplicação de adubos nitrogenados, estimulando o “priming effect”, o desenvolvimento radicular e a dinâmica do processo mineralização-imobilização no solo, estaria contribuindo para maior recuperação do nitrogênio nativo do solo pela planta. Nesse sentido, o tratamento que recebeu apenas 30 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura apresentou uma produtividade média relativamente satisfatória (6.805 kg ha⁻¹ de grãos).

A análise de variância não revelou efeitos significativos de doses e modos de aplicação de nitrogênio sobre o número de espigas por planta (TABELA 03) e o número de fileiras por espiga (TABELA 04), mostrando que esses atributos foram dependentes somente das características genéticas do híbrido utilizado (Cargill 909).

TABELA 03 - NÚMERO DE ESPIGAS POR PLANTA DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, FAZENDA BONSUCESSO, TIBAGI - PR

Dose de N kg ha ⁻¹	Modos de aplicação de N				Média
	US ⁽¹⁾	UI ⁽²⁾	SAS ⁽³⁾	US+SAS ⁽⁴⁾	
	Número de espigas por planta				
30	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0
60	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
90	1,0	1,0	1,1	1,1	1,0
120	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0
Média	1,0	1,0	1,0	1,0	
F dose	= 1,13 ^{ns}				
C.V. dose (%)	= 5,40				
F modo	= 1,08 ^{ns}				
C.V. modo (%)	= 4,96				
F dose x modo	= 1,97 ^{ns}				

⁽¹⁾ Uréia em superfície na emissão da quarta folha. ⁽²⁾ Uréia incorporada no solo na emissão da quarta folha. ⁽³⁾ Sulfato de amônio em superfície na emissão da quarta folha. ⁽⁴⁾ Metade da dose na forma de uréia em superfície na emissão da quarta folha e a outra metade na forma de sulfato de amônio em superfície na emissão da oitava folha. ns = não significativo.

TABELA 04 -NÚMERO DE FILEIRAS POR ESPIGA DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, FAZENDA BONSUCCESSO, TIBAGI - PR

Dose de N kg ha ⁻¹	Modos de aplicação de N				Média
	US ⁽¹⁾	UI ⁽²⁾	SAS ⁽³⁾	US+SAS ⁽⁴⁾	
	Número de fileiras por espiga				
30	14	14	14	14	14
60	14	14	14	14	14
90	14	14	14	14	14
120	14	14	14	14	14
Média	14	14	14	14	14
F dose	= 0,42 ^{ns}				
C.V. dose (%)	= 3,32				
F modo	= 1,50 ^{ns}				
C.V. modo (%)	= 2,88				
F dose x modo	= 1,24 ^{ns}				

⁽¹⁾ Uréia em superfície na emissão da quarta folha. ⁽²⁾ Uréia incorporada no solo na emissão da quarta folha. ⁽³⁾ Sulfato de amônio em superfície na emissão da quarta folha. ⁽⁴⁾ Metade da dose na forma de uréia em superfície na emissão da quarta folha e a outra metade na forma de sulfato de amônio em superfície na emissão da oitava folha. ns = não significativo.

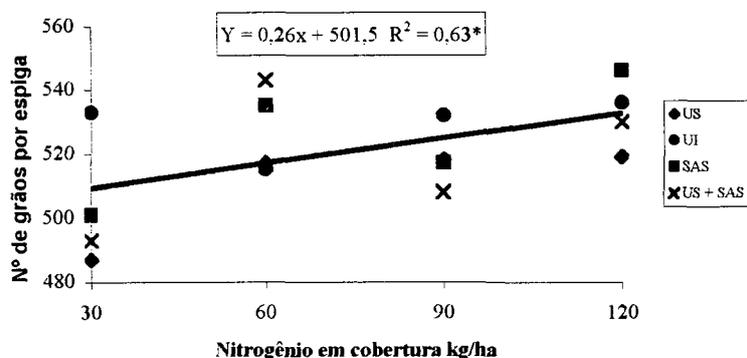
O número de grãos por espiga também não foi influenciado significativamente pelos modos de aplicação de nitrogênio e pela interação dose x modo (TABELA 05). Apesar do teste F não ter revelado efeito significativo de doses de nitrogênio sobre o número de grãos por espiga, constatou-se, pela análise de regressão, que houve aumento linear do número de grãos por espiga com as doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (FIGURA 03). Nota-se, portanto, que o aumento na produção de grãos ocorrido com as doses de nitrogênio (FIGURA 02) esteve relacionado com o aumento do número de grãos por espiga (FIGURA 03).

TABELA 05 - NÚMERO DE GRÃOS POR ESPIGA DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, FAZENDA BONSUCESSO, TIBAGI - PR

Dose de N kg ha ⁻¹	Modos de aplicação de N				Média
	US ⁽¹⁾	UI ⁽²⁾	SAS ⁽³⁾	US+SAS ⁽⁴⁾	
	Número de grãos por espiga				
30	487	533	501	493	504
60	517	515	535	543	528
90	518	532	517	508	519
120	519	536	546	530	533
Média	510	529	525	519	
F dose	= 2,21 ^{ns}				
C.V. dose (%)	= 5,72				
F modo	= 1,05 ^{ns}				
C.V. modo (%)	= 5,34				
F dose x modo	= 0,73 ^{ns}				

⁽¹⁾ Uréia em superfície na emissão da quarta folha. ⁽²⁾ Uréia incorporada no solo na emissão da quarta folha. ⁽³⁾ Sulfato de amônio em superfície na emissão da quarta folha. ⁽⁴⁾ Metade da dose na forma de uréia em superfície na emissão da quarta folha e a outra metade na forma de sulfato de amônio em superfície na emissão da oitava folha. ns = não significativo.

FIGURA 03 – NÚMERO DE GRÃOS POR ESPIGA DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO



US = uréia na superfície, UI = uréia incorporada), SAS = sulfato de amônio na superfície, US + SAS = uréia sulfato de amônio na superfície, * = significativo $P < 0,05$.

SANGOI & ALMEIDA (1994) verificaram que o número de espigas por planta e o número de grãos por espiga de milho aumentaram com aplicação de até 50 kg ha^{-1} de nitrogênio. Acima dessa dose, não houve incremento nesses componentes, o que contribuiu para que a produção de grãos não mais aumentasse. Observando-se os resultados de número de grãos por espiga (TABELA 05), nota-se que o comportamento obtido foi muito semelhante ao descrito por SANGOI & ALMEIDA (1994). Por outro lado, foi observado em outros trabalhos (BALKO & RUSSEL, 1980; EBELHAR et al., 1987) que o aumento na produtividade de milho proporcionado pelo nitrogênio, esteve relacionado aos seus efeitos sobre o crescimento da raiz, o aumento do comprimento da espiga e do número de espigas por planta. Cabe ressaltar que a deficiência de nitrogênio em milho, quando a planta se apresenta com altura em torno de 20 cm, pode resultar em redução no número de grãos nos primórdios da espiga, causando reflexos sobre a produção de grãos (SCHREIBER et al., 1962).

A massa de espigas por planta (TABELA 06) e massa de grãos por espiga (TABELA 07) não foram alteradas pelos modos de aplicação de nitrogênio, mas foram influenciadas significativamente pelas doses de nitrogênio.

TABELA 06 - MASSA DE ESPIGAS POR PLANTA DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, FAZENDA BONSUCESO, TIBAGI – PR

Dose de N kg ha ⁻¹	Modos de aplicação de N				Média
	US ⁽¹⁾	UI ⁽²⁾	SAS ⁽³⁾	US+SAS ⁽⁴⁾	
	Massa de espigas por planta (g)				
30	235	255	245	255	247
60	247	268	248	277	269
90	264	295	300	294	288
120	302	293	300	325	305
Média	262	278	282	287	
F dose	= 8,75*				
C.V. dose (%)	= 10,5				
F modo	= 2,25 ^{ns}				
C.V. modo	= 9,2				
F dose x modo	= 0,50 ^{ns}				

⁽¹⁾ Uréia em superfície na emissão da quarta folha. ⁽²⁾ Uréia incorporada no solo na emissão da quarta folha. ⁽³⁾ Sulfato de amônio em superfície na emissão da quarta folha. ⁽⁴⁾ Metade da dose na forma de uréia em superfície na emissão da quarta folha e a outra metade na forma de sulfato de amônio em superfície na emissão da oitava folha. ns = não significativo * = significativo P < 0,05

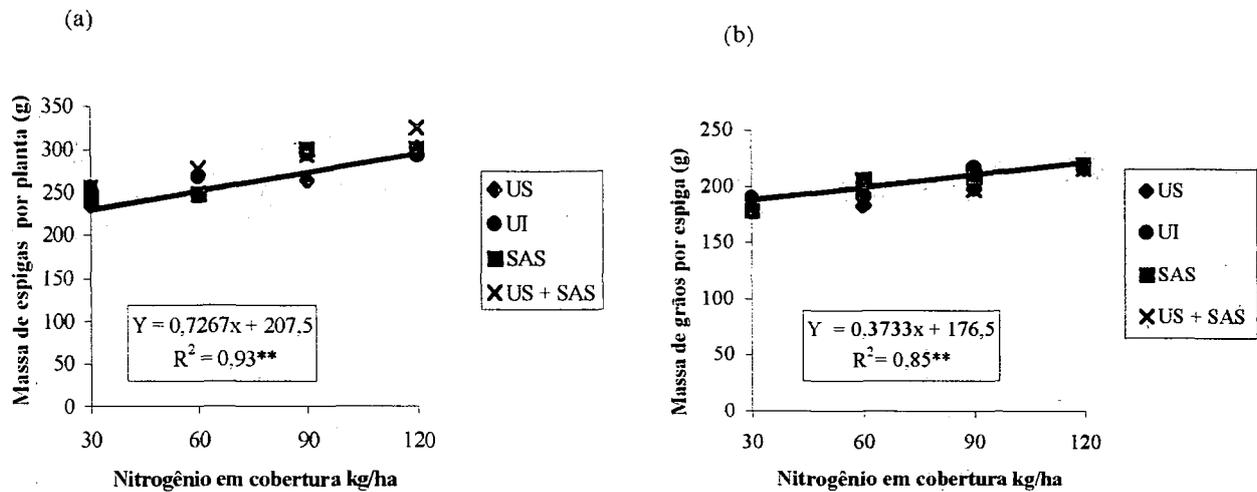
TABELA 07 - MASSA DE GRÃOS POR ESPIGA DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, FAZENDA BONSUCESSO, TIBAGI - PR

Dose de N kg ha ⁻¹	Modos de aplicação de N				Média
	US ⁽¹⁾	UI ⁽²⁾	SAS ⁽³⁾	US+SAS ⁽⁴⁾	
	Massa de grãos por espiga (g)				
30	177	190	178	183	182
60	183	192	206	198	195
90	198	217	209	197	205
120	216	219	220	216	218
Média	194	204	204	198	
F dose	= 9,95*				
C.V. dose (%)	= 8,48				
F modo	= 1,36 ^{ns}				
C.V. modo	= 7,44				
F dose x modo	= 0,56 ^{ns}				

⁽¹⁾ Uréia em superfície na emissão da quarta folha. ⁽²⁾ Uréia incorporada no solo na emissão da quarta folha. ⁽³⁾ Sulfato de amônio em superfície na emissão da quarta folha. ⁽⁴⁾ Metade da dose na forma de uréia em superfície na emissão da quarta folha e a outra metade na forma de sulfato de amônio em superfície na emissão da oitava folha. ns = não significativo * = significativo P < 0,05

De acordo com as equações de regressão ajustadas, houve aumento linear da massa de espigas por planta e da massa de grãos por espiga com as doses de nitrogênio aplicadas (FIGURA 04). Dessa forma, o aumento na produção de grãos de milho em função das doses de nitrogênio (FIGURA 02) foi ocasionado pelo aumento da massa de grãos por espiga.

FIGURA 04 - MASSA DE ESPIGAS POR PLANTA (a) E DE GRÃOS POR ESPIGA (b) DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO



US = uréia na superfície, UI = uréia incorporada, SAS = sulfato de amônio na superfície, US + SAS = uréia + sulfato de amônio na superfície, ** = significativo P < 0,01

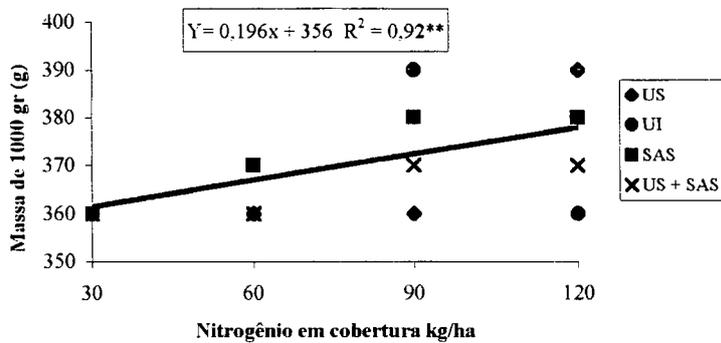
Os modos de aplicação de nitrogênio e a interação dose x modo não exerceram influência significativa na massa de 1000 grãos (TABELA 08). O teste de F também não revelou efeito significativo de doses de nitrogênio sobre a massa de 1000 grãos, mas a análise de regressão mostrou que houve aumento linear na massa de 1000 grãos com as doses de nitrogênio aplicadas (FIGURA 05). Em outros trabalhos também foi observado aumento na massa de 1000 grãos de milho em função de doses de nitrogênio (MEDEIROS & SILVA, 1983; SANGOI & ALMEIDA, 1994).

TABELA 08 - MASSA DE 1000 GRÃOS DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA EM SISTEMA PLANTIO DIRETO, FAZENDA BONSUCESSO, TIBAGI - PR

Dose de N kg ha ⁻¹	Modos de aplicação de N				Média
	US ⁽¹⁾	UI ⁽²⁾	SAS ⁽³⁾	US+SAS ⁽⁴⁾	
	Massa de 1000 grãos (g)				
30	360	360	360	360	360
60	360	370	370	360	365
90	360	390	380	370	370
120	390	360	380	370	380
Média	370	370	370	370	
F dose	= 3,93 ^{ns}				
C.V. dose (%)	= 3,75				
F modo	= 0,36 ^{ns}				
C.V. modo	= 4,33				
F dose x modo	= 0,98 ^{ns}				

⁽¹⁾ Uréia em superfície na emissão da quarta folha. ⁽²⁾ Uréia incorporada no solo na emissão da quarta folha. ⁽³⁾ Sulfato de amônio em superfície na emissão da quarta folha. ⁽⁴⁾ Metade da dose na forma de uréia em superfície na emissão da quarta folha e a outra metade na forma de sulfato de amônio em superfície na emissão da oitava folha. ns = não significativo

FIGURA 05 – MASSA DE 1000 GRÃOS DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO



US = uréia na superfície, UI = uréia incorporada, SAS = sulfato de amônio na superfície, U + SAS = uréia sulfato de amônio na superfície, ** = significativo $P < 0,01$

O aumento na produção de grãos de milho em função das doses de nitrogênio (FIGURA 02) foi ocasionado, portanto, pelo aumento do número de grãos por espiga e da massa de 1000 grãos. Esse aumento na produção de milho pode ser melhor explicado pelas funções que o nitrogênio exerce na planta. De acordo com BUTZEN & CUMMINGS (1999), o nitrogênio é um componente importante dos aminoácidos que fazem parte da estrutura das proteínas. Portanto, não é de surpreender que o teor protéico no milho responda muito bem à fertilização com nitrogênio. Estudos realizados pelos mesmos pesquisadores demonstraram que o teor de proteínas aumenta com aplicações de nitrogênio de maneira muito semelhante à produtividade. OBREZA & RHOADS (1988) observaram aumento de proteínas nos grãos de milho mediante aplicação de doses diferentes de adubos nitrogenados. Dessa forma, o nitrogênio apresenta forte influência sobre a qualidade da produção de grãos de milho, uma vez que contribui para aumentar o teor de proteínas nos grãos de milho (VASCONCELOS, 1989).

A altura da planta (TABELA 09) e da inserção da espiga (TABELA 10) não foram influenciadas significativamente pelas doses e modos de aplicação de nitrogênio. Segundo ARNON (1975), a deficiência de nitrogênio retarda a divisão celular nos pontos de crescimento do milho, resultando em redução na área foliar e no tamanho da planta, com reflexos negativos sobre a produção de grãos. No presente trabalho, não houve falta de nitrogênio a ponto de afetar o crescimento da planta. SANGOI & ALMEIDA (1994), em dois experimentos conduzidos no município de Lages (SC), também não observaram efeito significativo da aplicação de nitrogênio sobre a altura da planta de milho e da inserção da espiga.

TABELA 09 - ALTURA DA PLANTA DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, FAZENDA BONSUCESSO, TIBAGI – PR

Dose de N kg ha ⁻¹	Modos de aplicação de N				Média
	US ⁽¹⁾	UI ⁽²⁾	SAS ⁽³⁾	US+SAS ⁽⁴⁾	
	Altura da planta (m)				
30	2,06	2,04	2,02	1,98	2,03
60	1,94	2,02	1,97	1,99	1,98
90	2,00	2,04	2,04	2,01	2,02
120	1,98	1,93	1,96	1,98	1,96
Média	2,00	2,00	2,00	2,00	
F dose	= 0,88 ^{ns}				
C.V. dose (%)	= 6,31				
F modo	= 0,07 ^{ns}				
C.V. modo	= 3,88				
F dose x modo	= 0,72 ^{ns}				

⁽¹⁾ Uréia em superfície na emissão da quarta folha. ⁽²⁾ Uréia incorporada no solo na emissão da quarta folha. ⁽³⁾ Sulfato de amônio em superfície na emissão da quarta folha. ⁽⁴⁾ Metade da dose na forma de uréia em superfície na emissão da quarta folha e a outra metade na forma de sulfato de amônio em superfície na emissão da oitava folha. ns = não significativo

TABELA 10 - ALTURA DE INSERÇÃO DA ESPIGA DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, FAZENDA BONSUCESSO, TIBAGI - PR

Dose de N kg ha ⁻¹	Modos de aplicação de N				Média
	US ⁽¹⁾	UI ⁽²⁾	SAS ⁽³⁾	US+SAS ⁽⁴⁾	
	Altura da espiga (m)				
30	0,91	0,91	0,92	0,86	0,90
60	0,89	0,91	0,90	0,93	0,91
90	0,94	0,95	0,97	0,93	0,95
120	0,91	0,93	0,91	0,93	0,92
Média	0,91	0,92	0,93	0,91	
F dose	= 0,58 ^{ns}				
C.V. dose (%)	= 10,27				
F modo	= 0,25 ^{ns}				
C.V. modo	= 4,79				
F dose x modo	= 0,66 ^{ns}				

⁽¹⁾ Uréia em superfície na emissão da quarta folha. ⁽²⁾ Uréia incorporada no solo na emissão da quarta folha. ⁽³⁾ Sulfato de amônio em superfície na emissão da quarta folha. ⁽⁴⁾ Metade da dose na forma de uréia em superfície na emissão da quarta folha e a outra metade na forma de sulfato de amônio em superfície na emissão da oitava folha. ns = não significativo

As concentrações de nutrientes nas folhas de milho em função da aplicação de doses de nitrogênio são mostradas na TABELA 11. Nota-se que os teores de N e P nas folhas aumentaram linearmente com as doses de nitrogênio, enquanto que as concentrações de K, Ca, Mg e S não foram influenciados significativamente pelas doses de nitrogênio.

Efeitos positivos da interação entre nitrogênio e fósforo sobre a produção de grãos de milho têm sido relatados principalmente quando a adubação nitrogenada é feita na forma amoniacal, proporcionando incrementos na absorção de fósforo (GAMBOA, 1980). Esses efeitos podem ser atribuídos ao fato de elevadas concentrações de nitrogênio, na zona de absorção, pré-condicionam as raízes a aumentar a absorção e a translocação de fósforo (THIEN & McFEE, 1970). TERMAN & NOGGLE (1973) observaram influência do nitrogênio no aumento da absorção de fósforo, mesmo em solos com altos teores de

fósforo. E devido o fósforo fazer parte da molécula de ATP, molécula esta que atua no armazenamento e na transformação de energia química captada da luz solar na fotossíntese, sendo assim segundo BÜLL (1993), todos os processos metabólicos da planta que envolvem gasto de energia, desde a absorção de nutrientes até a formação dos diferentes órgãos, têm participação direta ou indireta do fósforo e com isso podemos concluir que com o aumento da absorção do fósforo aumentamos a produção de grãos de milho.

Não foram observados efeitos significativos de modos de aplicação de nitrogênio nas concentrações de nutrientes nas folhas de milho (TABELA 12). Isso mostra que tanto a uréia, na superfície ou com incorporação, como o sulfato de amônio na superfície, se comportaram de maneira semelhante quanto ao aproveitamento de nitrogênio pelo milho. Mesmo com a utilização de sulfato de amônio não houve alteração na concentração de S nas folhas de milho, mostrando que os teores de $S-SO_4^{2-}$ disponível no solo foram suficientes para atender a demanda da planta.

TABELA 11 - TEORES DE NUTRIENTES NAS FOLHAS DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO (MÉDIAS DE QUATRO MODOS DE APLICAÇÃO E TRÊS REPETIÇÕES), FAZENDA BONSUCESSO, TIBAGI - PR

Doses de N	N	P	K	Ca	Mg	S
kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹					
30	22,1	3,7	21,9	5,4	3,6	1,7
60	22,5	3,9	23,5	5,1	3,4	1,7
90	23,7	4,0	22,7	5,8	4,0	1,7
120	26,2	4,3	21,7	5,7	3,8	2,0
Efeito	L**	L**	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	13,6	5,7	8,3	12,3	19,3	22,4

L = efeito linear por regressão polinomial. ns = não significativo. ** = significativo P < 0,01

TABELA 12 - TEORES DE NUTRIENTES NAS FOLHAS DE MILHO EM FUNÇÃO DE MODOS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO (MÉDIAS DE QUATRO DOSES DE N E TRÊS REPETIÇÕES), FAZENDA BONSUCCESSO, TIBAGI - PR

Modos de Aplicação de N	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----g kg ⁻¹ -----					
US	23,0	3,9	22,1	5,5	3,7	1,7
UI	24,4	4,0	23,0	5,5	3,6	1,7
SAS	23,0	4,0	23,0	5,4	3,6	1,8
US+SAS	24,2	4,1	22,0	5,6	3,8	1,8
Valor F	0,67 ^{ns}	1,15 ^{ns}	1,16 ^{ns}	1,07 ^{ns}	1,14 ^{ns}	0,85 ^{ns}
C.V. (%)	13,0	5,0	7,6	6,0	7,0	11,0

ns = não significativo

4 CONCLUSÕES

A adubação nitrogenada em cobertura aumentou linearmente a produção de grãos de milho até a dose de 120 kg ha⁻¹ de N, mostrando que para a obtenção de altas produtividades de milho, após o cultivo de aveia preta, em sistema plantio direto consolidado, é necessário o suprimento de doses elevadas de nitrogênio, pelo menos quando a precipitação pluvial durante o ciclo da cultura for da ordem de 760 mm.

O aumento na produção de grãos de milho em função de adubação nitrogenada em cobertura esteve relacionado com o aumento do número de grãos por espiga e da massa de 1000 grãos.

A uréia, aplicada na superfície ou com incorporação, e o sulfato de amônio, aplicado na superfície, tiveram comportamento semelhante na nutrição e na produção de grãos de milho, indicando não existir vantagens econômicas em realizar a incorporação da uréia no solo ou sua substituição parcial ou total pelo sulfato de amônio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUZUK, J.; FERNÁNDEZ, S.B.V.; BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas (SP), v. 23, p. 679-686, jul./set. 1999.

ARNON, I. **Mineral Nutrition of Maize**. Bern: International Potash Institute, 1975. 452p.

BALKO, L.G.; RUSSEL, W. A. . Response of maize inbred lines to N fertilizer. **Agronomy Journal**, Madison, v.72 .n. 5, p. 723-732, 1980.

BALLOTA, E.L.; ANDRADE, D.S.; COLOZZI FILHO, A. Avaliações microbiológicas em sistema de preparo do solo e sucessão de culturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTIO DIRETO PARA UMA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL, 1, 1996. Ponta Grossa, **Resumos expandidos**. Ponta Grossa (PR): IAPAR, 1996, p.9-11.

BANWART, W. L.; PIERRE, W. H. Cation-anion balance of field-grown crops. II. Effect of P and K fertilization and soil pH. **Agronomy Journal**, Madison, v.67, n.1, p. 20-25, 1975.

BOUWMEESTER, R.J.B.; VLEK, P.L.G.; STUMPE, J. M. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from a urea-fertilized soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.49, p.367-381, 1985.

BÜLL, L. T. **Influência da relação K/(Ca+Mg) do solo na produção de matéria seca e na absorção de potássio por gramínea e leguminosa forrageiras**. Piracicaba (SP), 1986. Tese (Doutorado)-ESALQ, Universidade de São Paulo.

BÜLL, L. T. Nutrição Mineral do Milho: In: BÜLL, L. T.; CANTARELA, H. **Cultura do milho**: Fatores que afetam a produtividade. Piracicaba (SP): Potafós, 1993, p. 63-121.

BUTZEN, S.; CUMMINGS, M. Environmental effects on protein content in conventional and high oil corn grain. **Crop Insights**, v.9 n.11. (1999) Disponível em : <www.pioneer.com/usa/crop> Data de acesso 11 set. 2001.

CAIRES, E.F. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiências no estado do Paraná. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24, 2000. Santa Maria, **Anais**. Santa Maria (RS): Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. 24p. 1 CD-ROM.

- CANTARELLA, H. **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Campinas, Instituto Agronômico, 1986.
- CANTARELLA, H.; GALLO, P. B.; CAMARGO, A. P. Modos de aplicação de fertilizantes nitrogenados em milho. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 18, 1988 Guarapari, **Resumos**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988 a. p.37-38.
- CRAWFORD, T.W.; RENDING, V.V.; BROADBENT, F.E. Sources, fluxes, and sinks of nitrogen during early reproductive growth of maize (*Zea mays* L.). **Plant Physiology**, Lancaster, v.70, n.1, p.654-60, 1982.
- CTIC, 1996. Conservation Technology Information Center, **CTIC Partners**, v. 14, n. 3, April/May, 1996.
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; BAHIA, A.F.C.; GUEDES, G.A. A. Balanço de nitrogênio (^{15}N) em um latossolo vermelho escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas (SP), v. 15, p. 187-193, 1991.
- DERPSCH, R. **Controle de erosão no Paraná, Brasil**: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: Dt.Ges. Für Techn. Zusammenarbeit (GTZ), 1990.
- DICK, W. A. ; Mc COX, E.L.; EDWARDS, W.M. Continuous application of no-tillage to Ohio soils. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, p. 65-73, 1991.
- EBELHAR, S.A.; KAMPRATH, E. J.; MOLL, R.H. Effects of nitrogen and potassium on growth and cation composition of corn genotypes differing in average ear number. **Agronomy Journal**, Madison, v. 79, n. 5, p. 875-881, 1987.
- ECK, H. V. Irrigated corn yield response to nitrogen and water. **Agronomy Journal**, Madison, v.76, n. 3, p. 421-428, 1984.
- ERNST, J. W.; MASSEY, H. F. The effects of several factors on volatilization of ammonia formed from urea in the soil. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 24, p. 87-90, 1960.
- FAWCETT, R.S. Influências dos sistemas plantio direto na potabilidade de água. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo (RS), v.42, p. 11-13, 1997.

GAMBOA, A. La fertilización del maíz. Berna: **Instituto Internacional de la Potassa**, 1980. 72p.

GASSEN, D. ISSO 14000: o impacto ambiental e agricultura. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo (RS), v. 41, p. 36-40, 1997.

GONÇALVES, C. N.; CERETTA, C. A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.23, p. 307-313,1999.

KARLEN,D.L.; FLNNERY,R.L.; SADLER,E.J. Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, n. 2, p.232-242, 1988.

LARA CABEZAS, W.A . R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A . Volatilização de N-NH₃ na cultura do milho: I. efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa (MG), v. 21, n. 3, p. 481-487, 1997 a.

LARA CABEZAS, W.A . R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A . Volatilização de N-NH₃ na cultura do milho: II. avaliação de fontes sólidas e fluídas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa (MG), v. 21, n.3, p. 489-496, 1997 b.

LARA CABEZAS, W. A. R.. Uréia aplicada na superfície do solo: péssimo negócio. **Revista de Plantio Direto**, Passo Fundo (RS), v. 53,p. 21-24, 1999.

LEONCE, F.S.; MILLER, M.H. A physiological effect of nitrogen on phosphorus absorption by corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.58, p. 245-249, 1966.

LOUÉ, A. The interaction of potassium with other growth factors, particularly with others nutrients. In: CONGRESS INTERNATIONAL OF THE POTASH INSTITUTE, 11,1987. Bern, **Proceedings**. International Potash Institute, 1978. p. 407-433.

MALAVOLTA, E. Potássio, magnésio e enxofre nos solos e culturas brasileiras. Boletim Técnico, **Instituto Internacional da Potassa**, n. 4, 1979. 92p.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: Academic Press Limited, 1995.

MARTIN, J. P.; CHAPMAN, H. D. Volatilization of ammonia from surface fertilized soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 71, p. 25-34, 1951.

MEDEIROS, J. S.; SILVA, P. R. F. da. Efeitos de níveis de nitrogênio e densidade de plantas sobre o rendimento de grãos e outras características agrônômicas de duas cultivares de milho. **Agronomia Sul – Rio – Grandense**, Porto Alegre (RS), v. 11, n. 2 p.227-249,1983.

MUZILLI, O . Princípios e respectivas de expansão. **Circular [do] Instituto Agrônômico do Paraná**, Londrina (PR), n. 23, p. 11-16, 1981.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 7, p. 95-102, 1983.

MUZILLI, O. A fertilidade do solo no sistema plantio direto: bases para o manejo sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1, 2000.Ponta Grossa, **Anais**. Ponta Grossa (PR): Junho, 2000. p. 1-16.

NEPTUNE, A .M.L. O magnésio como nutriente para as culturas. In: SEMINÁRIO SOBRE FÓSFORO, CÁLCIO, MAGNÉSIO, ENXOFRE E MICRONUTRIENTES; SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS NA AGRICULTURA, 1984. São Paulo, **Anais**. São Paulo (SP): Manah S.A ., 1984.

NOGGLE, J. C. Ionic balance and growth of sixteen plant species. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 30, p. 763-766, 1966.

OBREZA, T. A.; RHOADS, F. M. Irrigated corn response to soil-test indices and fertilizer nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, p. 701-706, 1988.

OSAKI, F. **Calagem e adubação**. Campinas (SP): Instituto Brasileiro de ensino agrícola, 1991.

PAULETTI, V. Adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO, 1, 2000. Ponta Grossa, **Anais**. Ponta Grossa (PR): 2000, p. 122-136.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. Manual de análise química do solo e controle de qualidade. **Circular [do] Instituto Agrônomo do Paraná**, Londrina (PR), n. 76, p. 1-38, 1992.

RENDING, V.V.; BROADBENT, F.E. Proteins and aminoacids in grain of maize grown with various levels of applied N. **Agronomy Journal**, Madison, v. 71, n. 3, p. 509-512, 1979.

RODRIGUES, M.B., KIEHL, J. C. Volatilização de uréia em diferentes doses e modos de aplicação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas (SP), v.10, p. 37-43, 1986.

RODRIGUES, M.B., KIEHL, J. C. Distribuição e nitrificação da amônia proveniente da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas (SP), v.16, p. 403-408, 1992.

RUEDELL, J. **Plantio direto na região de Cruz Alta**. Cruz Alta: Fundacep, p.134, 1995.

SALET, R. L.; VARGAS, L. K.; ANGHINONI, I.; KOCHHANN, R. A.; CONTE, E. Por que a disponibilidade de nitrogênio é menor no sistema de plantio direto? In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 2., Passo Fundo, **Anais**. Passo Fundo (SP): 1997. P. 217-219.

SÁ, J. C. M. **Manejo da fertilidade de solo no plantio direto**. Castro (PR): FUNDAÇÃO ABC., 1993. 96p.

SÁ, J. C. M. **Manejo do nitrogênio na cultura do milho no sistema plantio direto**. Passo Fundo (RS): Aldeia Norte, 1996. 24p.

SÁ, J. C. M. Nitrogênio: influência da rotação de culturas e resposta da cultura de milho em solos sob plantio direto. In: SÁ, J. C. M., ed. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO. **Anais**. Castro (PR), Fundação ABC, 1996b. p. 213-228.

SÁ, J. C. M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: Inter - Relação Fertilidade, Biologia do solo e Nutrição, Lavras (MG), 1999. **Anais**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. p. 267-291.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio para a cultura do milho num solo com alto teor de matéria orgânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 29. n. 1, p. 20-22, 1994.

STEWART, B. A. & PORTER, L. K. Nitrogen-sulfur relationships in wheat (*Triticum aestvum* L.), corn (*Zea mays*), and beans (*Phaseolus vulgaris*). **Agronomy Journal**, Madison, v. 61, p. 267-271, 1969.

SCHREIBER, H.A.; STANBERRY, C.O.; TUCKER, H. Irrigation and nitrogen effects on sweet corn row numbers at various growth stages. **Soil Science**, Washington, v. 135, n. 1, p. 135-136, 1962.

SUMNER, M.E. & FARINA, M. P. W. Phosphorus interaction with other nutrients and lime in field cropping systems. **Advances in Soil Science**, New York, v. 5, p. 201-236, 1986.

TERMAN, G. L. ; NOGGLE, J. C. Nutrient changes in corn as affected by dry matter accumulation with age and response to applied nutrients. **Agronomy Journal**, Madison, v.65, p. 941-945,1973.

THIEN, S.J.; McFEE, W. W. Influence of nitrogen on phosphorus absorption and translocation in *Zea mays*. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 34, p. 87-90,1970.

TOSELLO, G. A . Milhos especiais e seu valor nutritivo. In: PATERNIANI, E. ; VIEGAS, G. P., (Ed.) **Melhoramento e produção do milho**. 2.ed. Campinas (SP): Fundação Cargill, 1987 p.310-338, v. 1.

VASCONCELLOS, C. A . Importância da adubação na qualidade do milho e do sorgo. In: SIMPÓSIO SOBRE ADUBAÇÃO E QUALIDADE DOS PRODUTOS AGRÍCOLAS, 1, 1989. Ilha Solteira, **Anais**. Ilha Solteira (SP): FEIS, 1989. p.1-20.

VILLAS BÔAS, R. L.; FERNANDES, D. M.; BOARETTO, A.E.; TRIVELIN, P. C. O. Efeito da uréia, do sulfato de amônio e da mistura de ambos na recuperação de N pelo milho (*Zea mays* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, 1993Goiânia, **Resumos**. Goiânia (GO): Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. p. 37-38. v. 2.

YAMADA, T. **Adubação nitrogenada do milho**: Informações Agronômicas [da] Potafós, Piracicaba (SP), n. 74, p. 1-5, jun. 1996.