

# **ESTIMATIVA DA ADUBAÇÃO NITROGENADA PARA O MILHO EM SISTEMAS DE MANEJO E CULTURAS DE COBERTURA DO SOLO<sup>(1)</sup>**

**T. J. C. AMADO<sup>(2)</sup> & J. MIELNICZUK<sup>(3)</sup>**

## **RESUMO**

**O uso de fertilização mineral e de leguminosas são as principais alternativas para fornecimento, em larga escala, de nitrogênio (N) a culturas exigentes deste nutriente. Os riscos de poluição ambiental decorrentes da adubação nitrogenada podem ser elevados; portanto, em uma agricultura sustentável, torna-se necessário aprimorar a recomendação desta adubação. Este trabalho objetivou desenvolver uma estimativa da necessidade de adubação nitrogenada que considere o sistema de preparo e o uso de culturas de cobertura. Utilizou-se um experimento de longa duração, localizado na Depressão Central do Rio Grande do Sul, em Argissolo Vermelho Distrófico típico. O delineamento foi o de blocos casualizados com parcelas subdivididas e três repetições. As parcelas principais foram três sistemas de preparo: convencional, reduzido e direto; as subparcelas foram três sistemas de cultura: aveia/milho, ervilhaca/milho e aveia + ervilhaca/milho + caupi; as subsubparcelas foram: solo descoberto/milho, cultura de cobertura/milho, cultura de cobertura/milho + 90 kg ha<sup>-1</sup> de N, cultura de cobertura/milho + 180 kg ha<sup>-1</sup> de N. Com base nos resultados obtidos neste experimento, foi desenvolvida uma equação que considera o efeito do preparo do solo sobre a mineralização do N total do solo e a contribuição da cultura de cobertura na disponibilidade de N, como uma consequência da quantidade de N acumulada na fitomassa e a relação C/N. A partir desta equação, foi possível estimar a quantidade de N a ser adicionada pela adubação mineral, visando alcançar um rendimento projetado. Embora avaliada com uma base limitada de dados, a equação desenvolvida para estimar a recomendação de adubação nitrogenada apresentou satisfatória concordância com os dados experimentais.**

**Termos de indexação: sistemas de preparo, leguminosas, mineralização de nitrogênio.**

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Doutorado, apresentada pelo primeiro autor à Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Recebido para publicação em novembro de 1999 e aprovado em junho de 2000.

<sup>(2)</sup> Professor Adjunto do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Caixa Postal 221, CEP 97105-900 Santa Maria (RS). Bolsista do CNPq. E-mail: tamado@ccr.ufsm.br

<sup>(3)</sup> Professor Titular do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Caixa Postal 776, CEP 90001-970 Porto Alegre (RS). Bolsista do CNPq.

**SUMMARY:** *ESTIMATE OF NITROGEN FERTILIZATION FOR CORN UNDER SOIL CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS AND COVER CROPS*

*The use of mineral fertilizers and legumes is the most important strategy used to supply nitrogen for cash crops. Since there is a risk of environmental pollution by nitrogen fertilization, it is very important to improve the approaches of nitrogen use recommendation to achieve sustainable agricultural practices. The organic matter content has been used as a parameter to estimate N availability, but in some cases it has been inefficient. In order to develop an equation to estimate N availability in conservation tillage systems, a long-term experiment on a Paleudult of Rio Grande do Sul was used. The experimental design applied was a split-split plot with three replications. The main plots received tillage systems consisting of conventional, minimum and no-tillage. Subplots received winter cover crops in corn production systems: black oat/corn, common vetch/corn and mixture of black oat + common vetch/corn + cowpea. Subplots were split in four treatments: bare soil without cover crop previously to corn, cover crops with 0, 90 and 180 kg ha<sup>-1</sup> of N. Based on the results, an equation was developed that considers the effect of soil tillage on N mineralization and the cover crops contribution on N availability, as a consequence of the N content in above ground biomass and C/N ratio. With this equation, it was possible to estimate the N requirement to be supplied by mineral fertilization aiming to achieve a target yield. Although validated with a limited data, the equation showed a good agreement with the experimental data.*

*Index terms: conservation tillage, legume cover crop, nitrogen mineralization.*

## INTRODUÇÃO

O nitrogênio é um dos nutrientes requeridos em grande quantidade pelas plantas e, especialmente para as gramíneas, com frequência suprido em quantidade insuficiente pelo solo. Assim, a utilização de outras fontes de N faz-se necessária, para atender à demanda de culturas exigentes, como o milho. Segundo Hauck (1984), as principais alternativas disponíveis são a utilização de fertilizante mineral e de leguminosas.

Os riscos de poluição ambiental decorrentes da adubação nitrogenada podem ser elevados, especialmente em condições de intensa precipitação e altas doses de adubação. Em uma agricultura sustentável, torna-se necessário aprimorar a recomendação da adubação nitrogenada, visando atender à demanda da cultura com mínima possibilidade de contaminação ambiental (Stanford, 1973). O teor de matéria orgânica (MO) tem sido classicamente utilizado para estimar a disponibilidade de N e, conseqüentemente, a necessidade de adubação às culturas. No entanto, em alguns sistemas agrícolas, este atributo, quando utilizado isoladamente, tem-se mostrado inadequado (Pottker & Roman, 1994). A crescente adoção do sistema plantio direto no Brasil e a necessidade de utilizar culturas de cobertura e rotação de culturas, visando à sustentabilidade desse sistema, são aspectos que devem ser considerados na otimização da adubação nitrogenada. A inclusão de outros atributos, além do teor de MO, que tenham influência sobre a disponibilidade de N, como o sistema de preparo e a

cultura de cobertura antecedente, pode permitir o aprimoramento da recomendação de adubação nitrogenada.

Dentre as informações requeridas para otimizar essa recomendação, incluem-se: (a) a estimativa do potencial de mineralização do N do solo; (b) a quantidade de N mineralizado ou imobilizado pela cultura de cobertura; (c) o requerimento do N pela cultura, para atingir um rendimento projetado; (d) a expectativa da eficiência de recuperação do N disponível das diferentes fontes (solo, cultura de cobertura e fertilizante mineral) (Amado, 1997). Stanford (1973) acrescenta, ainda, a necessidade de se considerar a quantidade de N mineral presente na zona radicular no início da estação de crescimento da cultura econômica. Esta última informação tem sido utilizada, com sucesso, em regiões de clima temperado, porém, em condições de clima tropical úmido, necessita ser mais bem avaliada.

Este trabalho teve como objetivo desenvolver uma equação que possibilite recomendar a adubação nitrogenada, considerando os sistemas de preparo do solo e a cultura de cobertura antecedente.

## MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se um experimento de longa duração, instalado, em 1985, na Estação Experimental Agrônômica da UFRGS, Rio Grande do Sul, em um Argissolo Vermelho Distrófico típico derivado de granito. Em conseqüência do manejo (preparo

convencional com enxada rotativa), adotado anteriormente à instalação do experimento, foi possível diagnosticar a ocorrência de degradação do solo. A análise química do solo, efetuada por ocasião do experimento, indicou reação ácida ( $\text{pH} = 5,3$ ), baixo teor de matéria orgânica ( $\text{MO} = 22 \text{ g kg}^{-1}$ ) e teores médios de P ( $9,3 \text{ mg dm}^{-3}$ , Mehlich-1) e K ( $0,20 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ). O clima da região é o subtropical de verão úmido quente, do tipo fundamental Cfa, conforme classificação de Köppen. A precipitação pluvial média anual é de 1.440 mm, a temperatura média do mês mais quente é de  $25^\circ\text{C}$  e a temperatura média do mês mais frio é de  $9^\circ\text{C}$  (Bergamaschi & Guadagnin, 1990). O relevo da região é ondulado, sendo a declividade média da área experimental de 5%.

O delineamento experimental empregado foi o de blocos casualizados com parcelas subsubdivididas, com três repetições. As parcelas principais foram constituídas de três sistemas de preparo: convencional, reduzido e direto, sendo aplicados todos os anos antes da cultura do milho. O preparo convencional constou de uma lavração na profundidade de 20 cm, com arado de disco, e de uma gradagem na profundidade de 12 cm, com grade de disco. O preparo reduzido foi constituído por uma escarificação, com implemento de quatro hastes, espaçadas 35 cm entre si, e a uma profundidade de 30 cm. No plantio direto, as culturas de cobertura foram dessecadas, acamadas com rolo-faca e deixadas sobre a superfície do solo.

As subparcelas foram constituídas por três sistemas de culturas: (a) aveia (*Avena strigosa* Schreb.)/milho (*Zea mays* L.) (A/M), (b) aveia + ervilhaca (*Vicia sativa* L.)/milho (A + E/M), (c) aveia + ervilhaca/milho + caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) (A + E/M + C). De 1985 a 1990, o trevo foi utilizado como leguminosa de cobertura do solo no inverno, sendo, posteriormente, substituído pela ervilhaca. No ano desta pesquisa (1995), o tratamento A + E/M foi substituído por ervilhaca/milho (E/M).

Nas subsubparcelas, foram aplicados quatro tratamentos: (a) solo descoberto/milho; (b) cultura de cobertura/milho; (c) cultura de cobertura/milho +  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de N; (d) cultura de cobertura/milho +  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. As quantidades de sementes utilizadas foram: aveia -  $70 \text{ kg ha}^{-1}$ , ervilhaca -  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  e aveia -  $28 \text{ kg ha}^{-1}$  + ervilhaca -  $42 \text{ kg ha}^{-1}$ . As culturas de cobertura foram feitas no sistema plantio direto, no mês de abril de 1995. Após a emergência das culturas de cobertura na parcela destinada a ficar descoberta (tratamento a), foi realizado o controle químico destas culturas, bem como a catação manual dos resíduos de culturas anteriores. Vinte dias após o manejo das culturas de cobertura, foi semeado o milho, híbrido Pioneer 3069, com semeadora de plantio direto e população ajustada para 55.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  e espaçamento de

$0,80 \text{ m}$ . A adubação de base do milho consistiu de  $75 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $45 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ . A uréia foi a fonte de adubação nitrogenada, sendo parcelada em três aplicações na cultura do milho, aos 7, 26 e 45 dias após a emergência. Estas aplicações foram realizadas na superfície do solo ao lado da linha de semeadura do milho, sempre em condições favoráveis de umidade. Durante o ciclo do milho, visando maximizar a absorção de N e o rendimento, foram realizadas 18 irrigações suplementares à precipitação pluvial, determinadas pelo uso de tensiômetros.

A quantidade de N total no solo foi determinada por meio de uma pequena trincheira, estratificada em cinco profundidades do solo: 0-2,5; 2,5-5,0; 5,0-7,5; 7,5-12,5; 12,5-17,5 cm, com área de amostragem de  $0,10 \times 0,50 \text{ m}$ . As análises de N total seguiram o método de Kjeldahl (oxidação úmida), descrito por Tedesco et al. (1995). Os resultados foram expressos em quantidade de N na camada de 0-17,5 cm, obtida da média ponderada das cinco camadas amostradas; para tanto, considerou-se a relação peso/volume, com o objetivo de eliminar o efeito de diferentes densidades do solo encontradas entre os métodos de preparo, neste experimento. A produção de matéria seca e a quantidade de N na fitomassa de culturas de cobertura foram avaliadas, no pleno florescimento das espécies, pela amostragem de  $0,5 \text{ m}^2$ /subparcela. Na cultura do milho, foram determinadas a produção de matéria seca e a quantidade de N absorvida 95 dias após a emergência (DAE). O N no tecido foi avaliado segundo o método de Kjeldahl, descrito por Tedesco et al. (1995), o qual inclui digestão das amostras com  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e mistura de digestão. O rendimento de grãos do milho foi avaliado em área de  $6,3 \text{ m}^2$ . A análise estatística foi feita seguindo o delineamento de blocos casualizados com parcelas subsubdivididas. Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente, e as médias comparadas pelo teste de Duncan a 5%.

Alguns índices e equações foram desenvolvidos com o objetivo de estimar a disponibilidade e o requerimento de N pela cultura do milho.

### Potencial de mineralização do N do solo

Os coeficientes de mineralização do N do solo foram determinados, durante o ciclo do milho, pela relação:  $\mathbf{K}_1 = \mathbf{N \text{ absorvido} / N \text{ total solo}}$  (Equação 1), sendo o numerador a quantidade de N absorvido pela parte aérea do milho na subsubparcela sem cultura de cobertura e sem adição de N mineral (solo descoberto/milho) e o denominador a quantidade de N total acumulada no solo na camada de 0-17,5 cm, também sem adição de N mineral.

### Disponibilidade de N em sistemas de cultura

Para estimar a quantidade aparente de N suprida pelos resíduos das culturas de cobertura ao milho (Ncc), subtraiu-se da quantidade de N absorvido pelo

milho na subsubparcela com presença de resíduos culturais e sem adição de adubação mineral (tratamento b) a quantidade de N absorvido pelo milho na subsubparcela com o solo descoberto (tratamento a), também sem adubação mineral (Amado, 1997). As variáveis de planta das culturas de cobertura selecionadas para estimar indiretamente o Ncc foram a quantidade de N total na parte aérea (N fitomassa) e a relação carbono/nitrogênio (Rel C/N). Utilizando a regressão linear múltipla entre Ncc determinado em campo e estas variáveis, obtiveram-se os coeficientes da equação:

$$N_{cc} = 5,066 + 0,1334 \times N_{\text{fitomassa}} - 0,242 \times \text{Rel C/N} \quad (2)$$

### Disponibilidade de N em sistemas de preparo e cultura

A disponibilidade de N, considerando a mineralização do N do solo e a contribuição (positiva ou negativa) da cultura de cobertura, pode ser estimada com base na equação 3, que é a soma das estimativas dadas pelas equações 1 e 2:

$$N_d = N_{\text{tsolo}} \times K_1 + (5,066 + 0,1334 \times N_{\text{fitomassa}} - 0,242 \times \text{Rel C/N}) \quad (3)$$

em que

$N_d$  = nitrogênio disponível

$N_{\text{tsolo}}$  = nitrogênio total no solo

$K_1$  = coeficiente de mineralização

Para se proceder à validação desta equação, considerando a relação entre o  $N_d$  e o N absorvido pelo milho na plena floração, em parcelas sem adubação nitrogenada mineral, utilizaram-se os dados experimentais obtidos no mesmo local, em diferentes anos, por Freitas (1988), Teixeira (1988), Rosso (1989), Bayer (1992) e Amado (1994)<sup>(4)</sup>. Dou (1993) sugeriu que a validação de equações destinadas a descrever processos biológicos seja feita pela combinação de técnicas estatísticas, incluindo coeficiente de correlação (r), diferença média (dm) e raiz quadrada do erro médio (rqem). O r indica o grau de associação entre valores estimados e observados. A diferença média, determinada por  $dm = \Sigma$  (estimado - observado), fornece o grau de coincidência entre valores estimados e observados. Assim, valores de dm com sinal + indicam superestimação do valor observado, enquanto valores de dm com sinal - indicam subestimação. A raiz quadrada do erro médio, determinada por  $rqem = [\Sigma (\text{estimado} - \text{observado})^2/n]^{0.5}$ . (100/ $\bar{x}$  valores observados), fornece o desvio do valor estimado do valor observado, referenciado sobre uma média dos valores observados. Estas técnicas estatísticas foram utilizadas neste trabalho.

<sup>(4)</sup> Dados não publicados.

### Requerimento de N para atingir um rendimento projetado

O requerimento de N para a cultura do milho foi estimado pela equação:

$$NR = CN \times (RP/\text{Rel G/MS}) \quad (4)$$

em que

NR = requerimento de N

CN = concentração crítica de N na matéria seca para atingir o rendimento máximo

RP = rendimento projetado

Rel G/MS = relação grão/matéria seca total

### Recomendação da adubação nitrogenada

Obteve-se a dose de N fertilizante por adicionar ( $N_f$ ), descontando-se do requerimento do N pelo milho para atingir um rendimento projetado (NR), estimado pela equação 4, a quantidade de N disponível, considerando o sistema de preparo e a cultura utilizados ( $N_d$ ), estimado pela equação 3, e dividindo esta diferença pela eficiência da adubação mineral ( $E_f$ ):

$$N_f = \frac{NR - N_d}{E_f} \quad (5)$$

A  $E_f$  foi calculada por meio da divisão do produto da diferença entre a quantidade de N absorvido pelo milho com aplicação de N mineral e a quantidade de N absorvido na ausência da adubação, considerando o mesmo sistema de preparo e a cultura de cobertura antecedente, dividida pela dose de N aplicado.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Estimativa do potencial de mineralização do N total do solo

Embora a quantidade total de N neste solo seja apreciável, variando entre 2.278 e 3.260 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente, para o preparo convencional A/M e plantio direto A + E/M + C (Quadro 1), a maior fração deste N encontra-se na forma orgânica, a qual não é prontamente disponível para as culturas. Para tornar-se disponível, o N orgânico precisa ser convertido a N inorgânico por meio da atividade microbiana, a qual é dependente da temperatura, umidade, pH, nutrientes, N total e manejo do solo (Keeney, 1982). O N mineralizado do solo raramente é suficiente para atender à necessidade da cultura do milho, além de ser lentamente liberado durante o ano, enquanto a maior demanda desta cultura requer este nutriente desde o início da estação de crescimento. Apesar disto, em um manejo sustentável, a quantidade de N disponibilizado pelo solo deve ser considerada, a fim de permitir ajustes na quantidade de N a ser complementada com outras fontes.

**Quadro 1. Nitrogênio total acumulado no solo na camada de 0-17,5 cm, considerando três sistemas de preparo e três sistemas de cultura, após nove anos (1985-1994)**

Sistema de cultura	Nitrogênio total no solo		
	Sistema de preparo		
	Convencional	Reduzido	Plantio direto
	kg ha <sup>-1</sup>		
Aveia/milho	2.278 ABb	2.139 Bc	2.440 Ac
Aveia + trevo(ervilhaca)/milho	2.402 Bab	2.378 Bb	2.943 Ab
Aveia + trevo(ervilhaca)/milho + caupi	2.518 Ba	2.585 Ba	3.260 Aa

Letras maiúsculas, na linha, comparam sistemas de preparo para um mesmo sistema de cultura e letras minúsculas, na coluna, comparam sistemas de cultura para um mesmo sistema de preparo. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (Duncan a 5%). O trevo foi utilizado de 1985 a 1990, quando então foi substituído pela ervilhaca.

Entre as alternativas para estimar a mineralização do N do solo, Keeney (1982) destaca os experimentos no campo como os mais satisfatórios, por integrarem os fatores de crescimento da cultura com a dinâmica do N em determinado sistema solo-cultura-clima. Neste trabalho, considerou-se que o N mineralizado do solo durante a estação de crescimento do milho foi integralmente absorvido pela cultura. Esta pressuposição é aceitável, considerando o baixo potencial de suprimento de N deste solo, aliado à elevada demanda de N pelo milho na ausência de adubação mineral, condições que favorecem a obtenção de elevado índice de eficiência.

No quadro 2, observa-se que, no sistema convencional e no reduzido, o preparo de solo estimulou a mineralização da MO, enquanto o plantio direto provavelmente conservou um ambiente menos oxidativo e, portanto, com menor taxa de mineralização. Resultados semelhantes foram registrados por Reicosky & Lindstrom (1993). Percebe-se, no plantio direto, menor quantidade de N mineralizado do solo, especialmente na fase de estabelecimento do sistema, pois, durante o ciclo da cultura do milho, 2,1% do N total do solo foi mineralizado nos sistemas de preparo convencional e reduzido, enquanto apenas 1,1% foi mineralizado no plantio direto. Destaca-se, no entanto, que este efeito deverá ser transitório, pois o aumento do estoque de N total no solo verificado no plantio direto (Quadro 1) deverá compensar o menor coeficiente de mineralização (Quadro 2), resultando, a longo prazo, em aumento da disponibilidade de N (Salet, 1994; Bayer & Mielniczuk, 1997). A estimativa de mineralização do N do solo (Quadro 2) foi obtida, considerando o período de desenvolvimento do milho (quatro meses envolvendo primavera e verão com condições favoráveis de umidade), e mostrou-se superior à faixa anual de 1 a 3% do N total do solo (que considera o período de inverno com menor mineralização) proposta por Keeney (1982).

### Contribuição da cultura de cobertura à disponibilidade de N

No ano de 1996, a quantidade de N na fitomassa da ervilhaca variou de 129,1 (preparo convencional) a 94,3 kg ha<sup>-1</sup> (plantio direto) e a relação C/N de 13,8 a 14,7, respectivamente, para os mesmos sistemas de preparo (Amado, 1997). Com base na equação 2, a contribuição aparente da ervilhaca ao milho foi baixa, variando de 19 a 14 kg ha<sup>-1</sup> de N ou, aproximadamente, 15% do total presente na fitomassa. Tais valores estão bem aquém da equivalência da ervilhaca em fertilizante nitrogenado, estimada, neste mesmo experimento, em 55 kg ha<sup>-1</sup> de N (Amado et al., 1998), porém concordam com os resultados obtidos com N marcado, que indicam que não mais do que 30% do N das leguminosas é recuperado diretamente pela primeira cultura em sucessão (Bruulsema & Christie, 1987; Reeves, 1994).

Avaliou-se o ajuste da equação de disponibilidade de N em sistema de preparo e cultura com resultados obtidos neste mesmo experimento em anos anteriores (Quadro 3). Observa-se que o r foi elevado, indicando uma boa associação entre os valores estimados pela

**Quadro 2. Coeficientes de mineralização (K<sub>1</sub>) do N total do solo (média de três sistemas de cultura, durante o ciclo do milho, em diferentes sistemas de preparo)**

Sistema de preparo	Coeficiente de mineralização (K <sub>1</sub> )
Preparo convencional	0,021
Preparo reduzido	0,021
Plantio direto	0,011

equação 3 e os observados em campo neste experimento em diferentes anos. A dm indicou superestimação de valores nos dados apresentados por Freitas (1988), Teixeira (1988), Testa (1989) e Bayer (1992) e subestimação nos dados de Rosso (1989) e Amado (1994). A rquem mais elevada foi observada nos dados encontrados por Freitas (1988). Os resultados obtidos indicam um ajuste satisfatório entre os valores estimados pela equação e os observados, considerando os diferentes sistemas de preparo, cultura e doses de N. Uma vez que a base de dados utilizada foi limitada, sugere-se a validação desta equação também em condições de solo e clima distintas daquelas utilizadas neste experimento.

### Requerimento de N para atingir um rendimento projetado

Para obter a quantidade de N por adicionar via adubação, torna-se necessário identificar o requerimento da cultura neste nutriente para atingir determinado rendimento projetado. Stanford (1973), fazendo uma análise de grande número de experimentos nos EUA, encontrou que o rendimento máximo do milho estava associado a uma concentração de 1,2% de N na matéria seca.

Com base nos resultados encontrados neste experimento (Figura 1), e considerando, como limites, 90 a 100% da máxima produção de matéria seca, observou-se uma concentração de 0,9 a 1,25% de N. Assim, analisando os aspectos econômicos e ambientais, considerou-se como 0,9% a concentração crítica de N para atingir o rendimento máximo. Este valor mostrou-se ligeiramente inferior ao proposto por Stanford (1973), avaliando variedades de milho adaptadas a clima temperado.

Para Stanford (1973), a matéria seca total pode ser estimada com confiabilidade, com base no rendimento de grãos. Assim, o autor concluiu que o peso de grãos (12% de umidade) representa 50,4% da matéria seca total (palha + grãos) do milho, com erro-padrão de 4%. Com base nos resultados

encontrados neste experimento (Quadro 4), observou-se que a média geral do experimento foi de 53%, estando dentro do limite proposto por aquele autor. No entanto, observou-se que, sob baixa disponibilidade de N, esta relação foi inferior a 50%, sugerindo que, nesta condição, a produção de grãos foi mais afetada do que a produção de matéria seca. Por outro lado, sob condições de alta disponibilidade de N, verificou-se uma relação superior a 60% (Quadro 4). Os resultados obtidos neste trabalho revelam a necessidade de estabelecer, com mais confiabilidade, a relação grão/matéria seca total e a concentração crítica de N na matéria seca, considerando diferentes condições de clima, solo, disponibilidade de N, rendimento de grãos e híbrido de milho utilizado.

### Recomendação de adubação nitrogenada

O coeficiente de eficiência da adubação nitrogenada irá depender das condições de manejo, clima, solo, cultura e outros, devendo a estimativa deste coeficiente

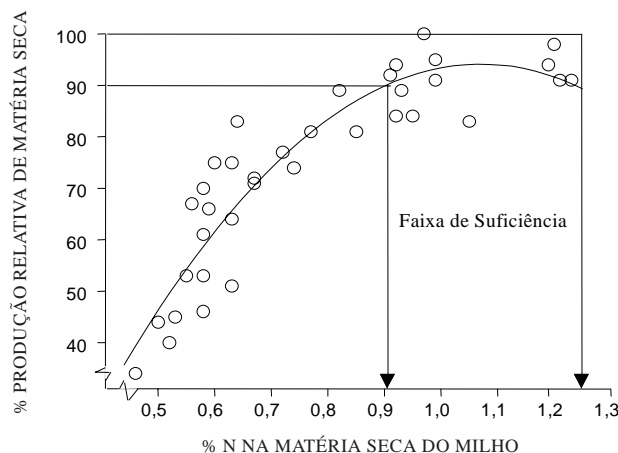


Figura 1. Relação entre a concentração de N e a produção relativa de matéria seca da parte aérea do milho na floração, durante o ano de 1995/96.

Quadro 3. Comparação entre valores de N absorvido pelo milho estimados pela equação 3 e observados, utilizando diferença média (DM), raiz quadrada do erro médio (RQEM) e coeficiente de correlação linear (r)

Autor	Nº observação <sup>(1)</sup>	Intercepto	Declividade	r	DM <sup>(2)</sup>	RQEM <sup>(3)</sup>
					kg ha <sup>-1</sup>	%
Freitas (1988)	18	14,90	1,33	0,93	+ 25,91	54,27
Rosso (1988)	18	8,27	0,87	0,94	- 5,84	19,67
Teixeira (1988)	12	7,60	1,07	0,95	+ 25,78	45,64
Testa (1989)	20	8,87	0,89	0,93	+ 1,15	21,96
Bayer (1992)	18	16,22	0,86	0,96	+16,08	36,09
Amado (1994)	27	11,31	0,92	0,88	- 9,44	33,85

<sup>(1)</sup> Nº observação = número de tratamentos utilizados para avaliar a equação 3. <sup>(2)</sup> Diferença média =  $\sum [(\text{estimados-observado})/n]$ .

<sup>(3)</sup> Raiz quadrada do erro médio =  $[\sum (\text{estimados-observado})^2/n]^{0,5} \times (100/\bar{x} \text{ valores observados})$ .

ser feita em condições regionais, além de considerar variações de ano para ano. No presente estudo, não foi possível constatar o efeito estatístico de sistemas de preparo e culturas sobre a eficiência da adubação nitrogenada utilizada. Assim, optou-se por utilizar a média geral do experimento que foi próxima a 50%.

Analisando os resultados apresentados em Amado (1997), observou-se que o requerimento de N pelo milho, estimado com base em Stanford (1973), superestimou a dose de máxima eficiência econômica

(MEE) e a quantidade de N absorvida no máximo rendimento (Quadro 5), sugerindo que a quantidade de N fertilizante que exceder estes valores poderá ser utilizada para consumo de luxo e, ou, ser perdida, sendo ambas as situações indesejáveis. Por outro lado, a necessidade de fertilizante nitrogenado, obtida pela equação estimada neste trabalho, apresentou melhor concordância com o requerimento de N estimado e aquele necessário para alcançar a máxima eficiência econômica.

**Quadro 4. Relação entre a produção de grãos (12,5% de umidade) e a matéria seca total da parte aérea do milho (avaliada aos 95 DAE)**

Sistema de preparo	Sistema de cultura	Relação grão/matéria seca total			
		Solo descoberto	Solo coberto com culturas cobertura		
		0 kg ha <sup>-1</sup> de N	0 kg ha <sup>-1</sup> de N	90 kg ha <sup>-1</sup> de N	180 kg ha <sup>-1</sup> de N
		%			
Convencional	A/M	43	45	50	60
	E/M	42	50	65	62 <sup>(1)</sup>
	A + E/M + C	32	44	61	57
Reduzido	A/M	37	48	52	60
	E/M	44	54	72 <sup>(2)</sup>	58
	A + E/M + C	42	53	62	65
Direto	A/M	44	47	56	66
	E/M	52	48	64	63
	A + E/M + C	51	55	63	68 <sup>(3)</sup>
Sistema preparo e cultura		39	49	61	62
Média geral do experimento		39	49	61	62

<sup>(1)</sup> Relação grão/matéria seca total no teto de rendimento (8,23 t/ha) para o preparo convencional. <sup>(2)</sup> Relação grão/matéria seca total no teto de rendimento (8,40 t ha<sup>-1</sup>) para o preparo reduzido. <sup>(3)</sup> Relação grão/matéria seca total no teto de rendimento (8,67 t ha<sup>-1</sup>) para o plantio direto.

A = aveia preta, E = ervilhaca comum, M = milho e C = caupi.

**Quadro 5. Requerimento de N do milho e dose de N fertilizante mineral estimada com base em três índices**

Sistema de preparo	Sistema de cultura	N solo + N cultura de cobertura	Requerimento de N pelo milho			MEE <sup>(4)</sup>	Dose de N fertilizante a adicionar <sup>(1)</sup>		
			Para o máximo rendimento neste trabalho	Com base Stanford (1973) <sup>(2)</sup>	Estimado neste trabalho <sup>(3)</sup>		Para o máximo rendimento neste trabalho	Com base Stanford (1973)	Estimado neste trabalho
			kg ha <sup>-1</sup>						
Convencional	A/M	44,7	173	198	120	122	257	306	151
	E/M	68,8	173	198	120	128	208	258	102
	A + E/M + C	68,5	173	198	120	144	209	260	103
Reduzido	A/M	46,5	145	202	130	122	198	312	167
	E/M	62,1	145	202	130	128	166	280	136
	A + E/M + C	66,9	145	202	130	144	156	270	126
Direto	A/M	26,5	141	208	131	122	230	364	209
	E/M	45,8	141	208	131	128	190	324	170
	A + E/M + C	49,9	141	208	131	144	182	316	162

<sup>(1)</sup> Eficiência da adubação mineral estimada em 50%. <sup>(2)</sup> Índices utilizados em Stanford: relação matéria seca/grão = 1,00; rendimento máximo do experimento: preparo convencional = 8,23 t ha<sup>-1</sup>, preparo reduzido = 8,40 t ha<sup>-1</sup>, plantio direto = 8,67 t ha<sup>-1</sup>; concentração crítica de N = 1,2 %. <sup>(3)</sup> Índices utilizados neste trabalho: relação grão/matéria seca total (avaliada aos 95 DAE) preparo convencional com 8,23 t ha<sup>-1</sup> = 0,62, preparo reduzido com 8,40 t ha<sup>-1</sup> = 0,72, plantio direto com 8,67 t ha<sup>-1</sup> = 0,68; concentração crítica de N = 0,9 %. <sup>(4)</sup> MEE calculada com base na média de três sistemas de preparo. Base de preços de 1997 (Amado, 1997).

A = aveia preta, E = ervilhaca comum, M = milho e C = caupi.

Apesar destas considerações, ressalta-se a necessidade de validar as equações e os índices apresentados neste trabalho em diferentes condições de clima, solo e manejo distintas daquelas avaliadas neste experimento.

### CONCLUSÕES

1. A equação desenvolvida estimou a disponibilidade de N do solo de acordo com o sistema de preparo e cultura de cobertura antecedente. Avaliada com uma limitada base de dados, tal equação apresentou satisfatória concordância com os resultados experimentais.

2. O preparo do solo (convencional e reduzido) aumentou a mineralização do nitrogênio total do solo, durante o ciclo do milho, quando comparado ao plantio direto.

3. A disponibilidade de nitrogênio das culturas de cobertura foi influenciada pela quantidade total de N na fitomassa e relação C/N.

4. A inclusão do sistema de preparo e de cultura de cobertura utilizados aprimorou a estimativa da recomendação da adubação nitrogenada neste experimento. Este fato deve ser confirmado utilizando maior número de experimentos.

### LITERATURA CITADA

- AMADO, T.J.C. Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo do solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. 201p. (Tese de Doutorado)
- AMADO, T.J.C.; FERNANDES, S.B.V. & MIELNICZUK, J. Nitrogen availability as affected by ten years of cover crop and tillage systems in southern Brazil. *J. Soil Water Conserv.*, 53:268-272, 1998.
- BAYER, C. Características químicas do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por métodos de preparo e sistemas de culturas. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1992. 183p. (Tese de Mestrado)
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:105-112, 1997.
- BERGAMASCHI, H. & GUADAGNIN, M.R. Agroclima da Estação Experimental Agronômica. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1990. 96p.
- BRUULSEMA, T.W. & CHRISTIE, B.R. Nitrogen contribution to succeeding corn from alfalfa and red clover. *Agron. J.*, 79:96-100, 1987.
- DOU, Z. Nitrogen dynamics in conventional and no-tillage corn production following legume cover crops. Pennsylvania, Penn. State Univ., 1993. 204p. (Tese de Doutorado)
- FREITAS, V.H. Eficiência de sistemas de preparo do solo e de culturas no fornecimento de nitrogênio para o milho. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1988. 148p. (Tese de Mestrado)
- HAUCK, R.D. Epilogue. In: HAUCK, R.D., ed. Nitrogen in crop production. Madison, Soil Science Society of America, 1984. p.782-787.
- KEENEY, D.R. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. In: STEVENSON, F.J., ed. Nitrogen in agricultural soils. Madison, Soil Science Society of America, 1982. p.605-649.
- PÖTTKER, D. & ROMAN, E. Efeito de resíduos de cultura e do pousio de inverno sobre a resposta do milho a nitrogênio. *Pesq. Agropec. Bras.*, 29:763-770, 1994.
- REEVES, D.W. Cover crops and rotations. In: HATFIELD, J.L. & STEWART, B.A., eds. Crops residue management. Florida, Lewis, 1994. p.125-172.
- REICOSKY, D. & LINDSTROM, M.J. Fall tillage method: effect on short carbon dioxide flux from soil. *Agron. J.*, 85:1237-1243, 1993.
- ROSSO, A. Manejo de culturas de cobertura do solo no inverno e sua relação com a produtividade do milho. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1989. 117p. (Tese de Mestrado)
- SALET, R.L. Dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao sistema de plantio direto. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994. 110p. (Tese de Mestrado)
- STANFORD, G. Rationale for optimum nitrogen fertilization in corn production. *J. Environ. Qual.*, 2:159-166, 1973.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5)
- TESTA, V.M. Características químicas de um Podzólico Vermelho-Escuro, nutrição e rendimento do milho afetados por sistema de culturas. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1989. 96p. (Tese de Mestrado)
- TEIXEIRA, L.A.J. Fornecimento de nitrogênio ao milho por sistemas de culturas. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1988. 110p. (Tese de Mestrado)