

AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DO NITROGÊNIO DO SOLO ESTIMADA POR MÉTODOS QUÍMICOS⁽¹⁾

C. GIANELLO⁽²⁾, F. A. O. CAMARGO^(2,3),
E. REICHMANN⁽³⁾ & M. J. TEDESCO⁽⁴⁾

RESUMO

Com o objetivo de avaliar a disponibilidade de nitrogênio do solo para a aveia e o milho, realizou-se um experimento em microparcelas com vinte solos do Rio Grande do Sul. As microparcelas foram constituídas por recipientes com 20 L de solo, com drenagem livre, mantidas em céu aberto e com irrigação quando necessária. Foi determinado o N absorvido por plantas de aveia preta (*Avena strigosa*) e por três cultivos sucessivos de milho (*Zea mays*). Foram determinados, inicialmente, os teores de N-total e de matéria orgânica dos solos. Antes de cada cultivo, foram também determinados os teores extraíveis de N por KMnO_4 $0,05 \text{ mol L}^{-1}$, tampão fosfato-borato e por KCl 2 mol L^{-1} às temperaturas de 100 e 95°C, durante 4 e 16 horas, respectivamente. O N do solo extraído por KCl 2 mol L^{-1} a 95°C por 16 h apresentou os maiores coeficientes de correlação com o somatório do N acumulado pelas plantas nos quatro cultivos. Os coeficientes de correlação entre o N extraído por todos os métodos químicos e o N acumulado pelas plantas aumentaram com a correção da acidez do solo a pH 6,0.

Termos de Indexação: N absorvido, seleção de métodos, mineralização, microparcelas, milho, aveia.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em janeiro de 1998 e aprovado em dezembro de 1999.

⁽²⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Caixa Postal 776, CEP 90001-970 Porto Alegre (RS). Bolsista do CNPq.

⁽³⁾ Engenheiro-Agrônomo, MS. Departamento de Solos da UFRGS.

⁽⁴⁾ Professor Titular, Departamento de Solos da UFRGS. Bolsista do CNPq.

SUMMARY: EVALUATION OF SOIL NITROGEN AVAILABILITY ESTIMATED BY CHEMICAL METHODS

*In order to evaluate organic N availability to oats and corn, a microplot experiment was carried out using 20 types of soil from Rio Grande do Sul State, Brazil. Microplots consisted of 20 L soil plastic pots with free drainage, maintained in an open area, with supplemental irrigation when necessary. N taken up by oats (*Avena strigosa*) and three corn (*Zea mays*) crops grown in successions was evaluated. Soil total-N and organic matter contents were initially determined as well as N extracted by acid 0.05 mol L⁻¹ KMnO₄, phosphate-borate buffer and by 2 mol L⁻¹ KCl at 100°C and 95°C temperature for 4 and 16 hours, respectively, on samples taken before each crop. N extracted by 2 mol L⁻¹ KCl at 95°C for 16 hours showed the highest correlation coefficient with total-N taken up by plants from all crops. Liming soil to pH 6.0 increased the correlation coefficients for all the tested methods.*

Index terms: N-absorbed, method selection, mineralization, microplots, corn, oats.

INTRODUÇÃO

A maior parte do nitrogênio do solo encontra-se em formas orgânicas que podem ser mineralizadas durante os cultivos por meio da hidrólise enzimática produzida pela atividade da microbiota do solo (Camargo, 1996; Camargo et al., 1997a). A mineralização dos constituintes nitrogenados libera para a solução do solo íons inorgânicos do nitrogênio, principalmente NH₄⁺ e NO₃⁻. A quantificação da taxa de mineralização do nitrogênio serve para prever a disponibilidade potencial desse nutriente durante os cultivos e, com isso, implementar a recomendação da adubação nitrogenada (Camargo et al., 1997b). Tal cálculo pode ser obtido, em laboratório, por meio de métodos químicos de extração do N potencialmente disponível às plantas.

A utilização de métodos químicos na avaliação da fertilidade do solo pelos laboratórios que analisam grande número de amostras pode ser viável, por serem mais rápidos, mais precisos e menos alterados pelo manuseio do solo do que os métodos biológicos (Stanford, 1982; Tedesco, 1985; Oliveira, 1989). Desta forma, inúmeros métodos químicos têm sido propostos nos últimos trinta anos, utilizando geralmente métodos biológicos como comparativo para estimar a disponibilidade de nitrogênio. Entretanto, para melhor entendimento do processo e das limitações metodológicas detectadas até o momento, faz-se necessário correlacionar o N extraído pelos métodos químicos com o N absorvido pelas plantas e, com isto, estimar mais adequadamente a disponibilidade do nitrogênio do solo (Serna & Pomares, 1992).

Entre os métodos químicos de extração intensa (fator quantidade) que estimam a disponibilidade

de nitrogênio do solo às plantas, podem-se destacar o teor de N total e o de matéria orgânica do solo, sendo este último utilizado, como critério básico, para recomendar o nitrogênio para as culturas no Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CFRS/SC, 1995), considerando os elevados coeficientes de correlação observados entre esta característica do solo e o N absorvido pelas culturas do sul do País (Anghinoni, 1985) e a facilidade de determinação da matéria orgânica do solo. Os demais métodos químicos classificados como de extração de intensidade média ou baixa avaliam os fatores intensidade e capacidade de liberação de nitrogênio mineralizado. Entre estes destacam-se os métodos de extração com solução de KCl 2 mol L⁻¹ a 100°C por 4 h e a 95°C por 16 h, propostos por Gianello & Bremner (1986), em substituição ao método descrito por Oien & Selmer-Olsen (1980), com o objetivo de agilizar o procedimento analítico.

A adoção de um método analítico para caracterizar a fertilidade do solo em laboratórios que analisam grande número de amostras deve apresentar capacidade preditiva, além de ser prático, de baixo custo e de boa reprodutibilidade. Com base nestas considerações, objetivou-se, no presente trabalho, avaliar alguns métodos químicos quanto à capacidade de estimar a disponibilidade de nitrogênio do solo para as culturas do milho e da aveia, cultivadas em solos do Rio Grande do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados neste trabalho vinte solos do estado do Rio Grande do Sul (Quadro 1), coletados da camada arável (0-20 cm de profundidade). Após

a coleta, foram adicionados 300 kg ha⁻¹ de K₂O (na forma de KCl) a todos os solos. Foram também adicionados 600 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de superfosfato triplo, nos solos das unidades Bom Jesus (Ch), Erechim (LR), Santo Angelo (LR) e Vacaria (LB); nos demais solos, apenas a metade daquela quantidade de fosfato. No tratamento com calagem, foi adicionado corretivo (CaCO₃ e MgCO₃, na proporção de 3:1) na quantidade indicada pelo índice SMP para elevar o pH do solo a 6,0 (CFRS/SC, 1995).

Após a calagem e a adubação, os solos foram colocados em vasos de plástico (20 L), que continham, na parte inferior, uma camada de brita (0,5-1,0 cm de diâmetro) com 3 cm de espessura. Estes vasos foram colocados em estrados a 50 cm acima do chão e ligados a frascos coletores de lixiviado (2,5 L), por tubos para drenagem. Os vasos que continham os solos foram distribuídos em área aberta, ficando sujeitos à temperatura e precipitações naturais. Após cada período de chuva, a água lixiviada foi quantificada, e um volume de 100 mL separado para determinação de N-mineral. Em períodos de baixa precipitação pluviométrica, foi feita a irrigação para repor a quantidade de água perdida, estimada pela

pesagem dos vasos. O experimento foi conduzido em área aberta na área experimental do Departamento de Solos da UFRGS, situado na longitude 51° 13' 19" W, latitude 30° 01' 53" S, altitude de 10 m e clima Cfa (classificação de Koeppen).

A disponibilidade de nitrogênio do solo foi avaliada pela absorção do elemento pelas plantas de um cultivo de aveia-preta (*Avena strigosa*) e de três cultivos sucessivos de milho (*Zea mays*) – cv BR 201. Após a semeadura do primeiro cultivo de milho (após o de aveia), foram aplicados 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 160 kg ha⁻¹ de K₂O, em solução. Antes do quarto cultivo (3º cultivo de milho), foram aplicados KH₂PO₄, CaSO₄ e ZnSO₄ nas quantidades correspondentes de 300 kg de P₂O₅, 200 kg de K₂O, 100 kg de Ca e 20 kg de Zn por ha. A colheita da parte aérea das plantas foi realizada aos 70, 40, 44 e 46 dias da semeadura para os cultivos de aveia e milho, respectivamente. O tecido vegetal coletado foi seco a 60°C em estufa, pesado e moído, determinando-se o teor de nitrogênio total pelo método semi-micro Kjeldahl (Tedesco et al., 1995). Imediatamente antes do segundo, do terceiro e do quarto cultivos, foram coletados 500 g de cada solo, para análises químicas em laboratório; após

Quadro 1. Valores de pH e teores de matéria orgânica (MO), nitrogênio total (N-total) e de argila das amostras de solos utilizados, conforme Tedesco et al. (1995)

| Solo | | pH | M.O. | N-Total | Argila |
|----------------------------|-----------------------|-----|------|--------------------|--------|
| Unidade Taxonômica | Unidade de Mapeamento | | | | |
| | | | | g kg ⁻¹ | |
| Latossolo Roxo | Santo Ângelo | 6,4 | 17 | 1,4 | 550 |
| Latossolo Vermelho-Amarelo | Passo Fundo II | 4,7 | 19 | 1,0 | 240 |
| Podzólico Vermelho-Amarelo | Bom Retiro | 4,0 | 23 | 0,9 | 180 |
| Brunizem Avermelhado | Ciríaco | 6,9 | 23 | 1,5 | 250 |
| Podzólico Vermelho-Escuro | São Gerônimo | 4,7 | 24 | 1,0 | 200 |
| Brunizem Avermelhado | Vila | 5,9 | 27 | 2,2 | 240 |
| Planossolo Vértico | Bagé | 5,4 | 29 | 1,6 | 380 |
| Podzólico Vermelho-Amarelo | Tupanciretã | 4,6 | 30 | 1,6 | 240 |
| Litólico | Charrua | 4,7 | 31 | 1,7 | 240 |
| Latossolo Vermelho-Escuro | Cruz Alta | 5,0 | 33 | 2,0 | 360 |
| Podzólico Vermelho-Amarelo | Camaquã | 4,7 | 33 | 1,9 | 410 |
| Brunizem Hidromórfico | Santa Maria | 5,4 | 33 | 1,8 | 130 |
| Podzólico Vermelho-Amarelo | Júlio de Castilhos | 4,1 | 36 | 1,9 | 330 |
| Latossolo Vermelho-Escuro | Passo Fundo II | 4,9 | 36 | 1,7 | 400 |
| Terra Roxa Estruturada | Estação I | 4,5 | 42 | 2,7 | 460 |
| Latossolo Roxo | Erechim | 4,8 | 47 | 2,5 | 470 |
| Brunizem Hidromórfico | Uruguaiana | 5,3 | 47 | 2,9 | 280 |
| Latossolo Bruno | Vacaria | 4,7 | 50 | 2,5 | 430 |
| Terra Roxa Estruturada | Estação II | 4,4 | 51 | 3,6 | 400 |
| Cambissolo Húmico | Bom Jesus | 4,6 | 56 | 3,1 | 320 |

homogeneização com espátula, parte foi mantida em temperatura ambiente e parte mantida úmida e em temperatura entre 0 e -4°C.

Para avaliar os métodos químicos, foram testadas: (a) determinação do nitrogênio mineral por extração com KCl 1 mol L⁻¹ de acordo com o método descrito por Tedesco et al. (1995); (b) determinação do teor de matéria orgânica, de acordo com o método descrito por Tedesco et al. (1995); (c) determinação do N total, de acordo com o método descrito por Bremner & Breitenbeck (1983); (d) determinação do N amoniacal por extração com KMnO₄ 0,05 mol L⁻¹ : H₂SO₄ 1 mol L⁻¹, de acordo com o método de Stanford & Smith (1978); (e) determinação do N amoniacal por extração com tampão fosfato-borato, pH 11,2, de acordo com o método descrito por Gianello & Bremner (1986); (f) determinação do N amoniacal por extração com KCl 2 mol L⁻¹ a 100°C, durante quatro horas, de acordo com o método descrito por Gianello & Bremner (1986) e (g) modificação deste último método pela diminuição da temperatura para 95°C e aumento do tempo de extração para dezesseis horas.

Os valores de N mineral obtidos pela extração com KCl 1 mol L⁻¹ antes do primeiro cultivo (aveia) e dos dois seguintes (primeiro e segundo cultivo de milho) não foram utilizados para as correlações, pois os resultados apresentaram elevada variabilidade, atribuída à manipulação das amostras. A extração de N-mineral (NH₄⁺ + NO₃⁻ + NO₂⁻) antes do quarto cultivo foi realizada no momento da retirada da amostra dos vasos, correspondendo, aproximadamente, às quantidades encontradas nos solos no momento da semeadura.

Foi utilizado um delineamento experimental em blocos ao acaso, com três unidades experimentais por tratamento. As quantidades de N absorvido pelas plantas de milho e aveia foram utilizadas para a avaliação dos métodos de laboratório por meio da determinação dos coeficientes de correlação. As diferenças entre os solos e a adição ou não de calagem foram avaliadas pela análise de variância, utilizando o programa computacional de análises estatísticas SANEST.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A correlação entre o N-disponível extraído por KCl 1 mol L⁻¹, teor de N-mineral e o N absorvido pelo milho no último cultivo foi significativa (p < 0,01) somente para os solos que receberam calagem (Quadro 2). A utilização do N-mineral inicial como método para estimar a disponibilidade de N para as plantas pode ser viável em algumas situações, como nos casos em que existe N-residual de aplicações prévias ou em períodos longos sem cultivo (Serna & Pomares, 1993). No entanto, os

valores obtidos estão mais relacionados com variáveis de difícil controle, como a chuva e a época de colheita, do que com a mineralização anterior ao período de amostragem.

Os coeficientes de correlação entre os teores de matéria orgânica (M.O.) e os valores de N absorvido pelas plantas cultivadas foram significativamente (p < 0,05) mais elevados nos solos que receberam calagem. Esta relação fica evidente quando se compara o somatório do nitrogênio absorvido nos quatro cultivos em solo sem calagem (r = 0,47; p < 0,05) e com calagem (r = 0,74, p < 0,01) (Quadro 2). A mineralização do nitrogênio orgânico presente em solos ácidos, tal como para os solos avaliados, cuja média de pH situou-se em torno de 4,9, é mais lenta, uma vez que a microbiota responsável por este processo encontra-se restrita a determinados grupos (Tsai et al., 1992). Em pH ácido pode ocorrer hidrólise de alguns componentes celulares, desnaturar irreversivelmente determinadas enzimas envolvidas na mineralização, alterar a dissociação e a solubilidade de várias moléculas e influenciar diretamente a microbiota do solo (Atlas & Bartha, 1998). Desse modo, a elevação do pH pela adição de calcário favorece a atividade microbiana nos solos com pH próximo a 6,0, sendo, portanto, a quantidade mineralizada de N proporcional ao teor de matéria orgânica do solo.

A adoção do teor de matéria orgânica do solo como método para avaliar a disponibilidade de N às plantas deve-se ao fato de ser a maior parte do N do solo (solos não adubados e cultivados com plantas não leguminosas) proveniente da mineralização da matéria orgânica, sendo esperado, portanto, que solos em condições de teores de M.O. semelhantes proporcionem quantidades semelhantes de N mineralizado.

Os coeficientes de correlação obtidos entre o N total do solo e o N absorvido pelas plantas seguiram a mesma tendência apresentada pelo teor de matéria orgânica do solo, ou seja, foram significativamente maiores (p < 0,05) nos solos que receberam calagem (Quadro 2). Estes resultados podem ser esperados como consequência da pequena variação da relação C:N em solos minerais (em média 10:1) (Anghinoni, 1985). Coeficientes de correlação altos podem ser obtidos quando a maioria dos fatores que favorecem a mineralização do N-orgânico do solo encontra-se em condições favoráveis (Das et al., 1993). Entretanto, os mesmos resultados não são necessariamente obtidos no campo, principalmente quando os solos são submetidos a diferentes manejos. Mesmo que os demais fatores ambientais (incluindo temperatura, umidade, condições físicas, químicas e biológicas, entre outros) que promovem a mineralização sejam semelhantes, a quantidade de nitrogênio mineralizado pode ser diferente dependendo das características da M.O. do solo (Magdoff, 1991). No entanto, tanto a determinação

Quadro 2. Coeficientes de correlação linear simples obtidos entre os teores de nitrogênio disponível estimado por diferentes métodos químico, o teor de matéria orgânica e a quantidade de nitrogênio absorvido pelas plantas de aveia e de milho, em quatro cultivos

| Cultivo | N-mineral ⁽¹⁾ | Matéria Orgânica | N-total | KmnO ₄ | Tampão fosfato borato |
|--------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| Sem calagem | | | | | |
| Aveia 1º cultivo | - | 0,27 ^{ns} | 0,26 ^{ns} | - | - |
| Milho 2º cultivo | - | 0,38 ^{ns} | 0,55** | 0,59** | 0,49* |
| Milho 3º cultivo | - | 0,52* | 0,75** | 0,73** | 0,63** |
| Milho 4º cultivo | 0,03 ^{ns} | 0,19 ^{ns} | 0,35 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | 0,50* |
| Total Absorvido | 0,03 ^{ns} | 0,47* | 0,61** | 0,63** | 0,56** |
| Com calagem | | | | | |
| Aveia 1º cultivo | - | 0,55** | 0,63** | - | - |
| Milho 2º cultivo | - | 0,78** | 0,87** | 0,75** | 0,74** |
| Milho 3º cultivo | - | 0,69** | 0,69** | 0,64** | 0,59** |
| Milho 4º cultivo | 0,61** | 0,61** | 0,61** | 0,62** | 0,72** |
| Total Absorvido | 0,61** | 0,74** | 0,76** | 0,73** | 0,70** |

*, ** e ^{ns} Significativos a 5 e 1% e não-significativo, respectivamente.

⁽¹⁾ Extraído com KCl 1 mol L⁻¹, a frio (Tedesco et al., 1995).

da M.O., como a do N total permitem avaliar esta diferença relativa à quantidade de nitrogênio disponível às plantas.

As quantidades de nitrogênio potencialmente mineralizável obtidas pela extração com KMnO₄ em meio ácido foram as mais altas em comparação com as obtidas pelos outros métodos de dissolução seletiva de compostos nitrogenados, independentemente da intensidade dos extratores. As quantidades extraídas por este método foram relacionadas com o N absorvido pelo milho nos dois primeiros cultivos (Quadro 2). Os coeficientes de correlação obtidos para o segundo e terceiro cultivo neste método de extração de média a baixa intensidade mostraram-se inferiores quando comparados aos obtidos com o extrator KCl (16 horas), de baixa intensidade, nos solos que receberam calagem. Esta relação de inferioridade de coeficientes não foi observada em relação aos extratores de alta intensidade, como no caso dos métodos de determinação do N total e da M.O.

Apesar de serem métodos de diferentes intensidades de extração, os resultados do último cultivo mostraram que o método químico de extração com a solução de KMnO₄, em meio ácido, apresentou coeficiente de correlação muito baixo e não-significativo (r = 0,04 – Quadro 2) em relação aos obtidos com os outros métodos, à exceção do N-mineral. Estes resultados confirmam os obtidos por vários autores (Gianello & Bremner, 1986; Serna &

Pomares, 1992, 1993) que consideram o método inadequado para uso em laboratórios que analisam grande número de amostras, principalmente por requerer duas etapas de extração e duas centrifugações, sem que isto aumente a eficiência do método, o qual apresenta alta variabilidade de resultados.

O método que utiliza solução de fosfato-borato tamponado a pH 11,2 extraiu pouco N do solo (dados não apresentados), valores estes que foram somente superiores aos obtidos pelo método de extração com solução de KCl 2 mol L⁻¹ por 4 h (Figura 1). Os coeficientes de correlação obtidos entre os valores de N extraído por fosfato-borato e o N absorvido por milho foram estatisticamente significativos tanto para os solos sem calcário como para os solos com calcário (Quadro 2). Os coeficientes de correlação foram, em geral, maiores nos solos calcariados aumentando, no total do N absorvido pelos três cultivos de milho, de 0,56 para 0,70 (Quadro 2). Comparando os valores de N extraído por este método e os valores do N mineralizado em condições anaeróbias a 40°C, por sete dias, Gianello & Bremner (1986) obtiveram correlações significativas, indicando ser este método rápido e simples para avaliar a disponibilidade do nitrogênio do solo. Oliveira (1989) confirmou os resultados de Gianello & Bremner (1986), obtendo coeficiente de correlação de 0,94 entre a quantidade de N extraído por este método e o N mineralizado em condições aeróbias, por seis semanas, e um r = 0,79 com o N absorvido

por trigo. Resultados obtidos com este método foram também correlacionados significativamente com a absorção de N por plantas de arroz cultivadas em 21 solos do Rio de Janeiro (Pereira, 1993).

Considerando os dois primeiros cultivos de milho, o método do tampão fosfato-borato apresentou coeficientes de correlação inferiores aos dos métodos de extração mais intensiva (M.O., N-total e KMnO_4), principalmente nos solos que não receberam calcário. Contudo, para o último cultivo, os coeficientes de correlação dos métodos de extração de baixa intensidade (KCl 4 h e KCl 16 h) foram superiores, independentemente da adição ou não de calcário. Oliveira (1989), comparando os resultados de diversos métodos químicos com o N absorvido por trigo, verificou que o método da solução tamponada, embora com coeficiente de correlação elevado e significativo ($r = 0,79$), foi inferior ao da extração com solução de KCl 2 mol L^{-1} a 100°C por 4 h ($r = 0,81$), e ao método da água oxigenada por ele proposto ($r = 0,81$). Resultado semelhante foi obtido, recentemente, por Jalil et al. (1996), ao comparar o

método do tampão-fosfato borato (Gianello & Bremner, 1986) com o do KCl (Gianello & Bremner, 1986). Estes autores verificaram, para 42 solos do Canadá, que o método do KCl (4 h) apresentou a maior correlação com o nitrogênio potencialmente mineralizável ($r = 0,88$), comparado ao método do tampão fosfato-borato.

A modificação do tempo de extração com o aumento de quatro para 16 h (Figuras 1 e 2) aumentou a quantidade de N amoniacal extraído das amostras de solo, sendo o método de extração com solução de KCl 2 mol L^{-1} por 4 h o que extraiu as menores quantidades de N do solo, quando comparado com os demais métodos testados.

Considerando o primeiro e o segundo cultivo de milho, os coeficientes de correlação entre os valores de N extraídos por KCl 2 mol L^{-1} (durante 4 h a 100°C e 16 h a 95°C) e o N absorvido pelas plantas (Figuras 1 e 2) aumentaram com a ampliação do tempo de extração e com a diminuição da temperatura. Gonzalez-Prieto et al. (1994) não observaram correlação significativa entre as

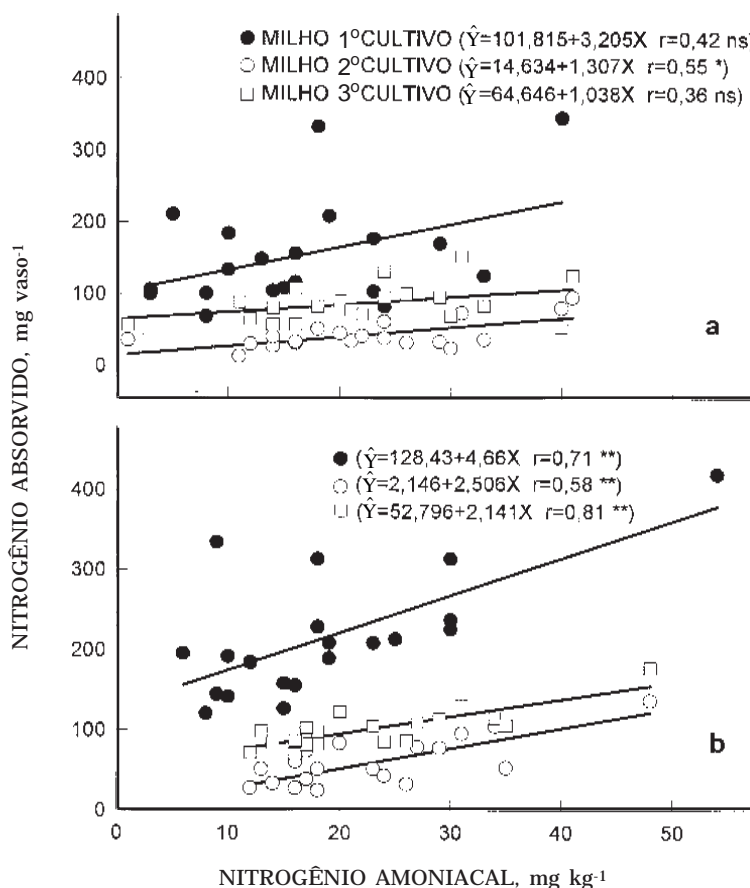


Figura 1. Correlação linear entre o teor de nitrogênio disponível estimado pela extração do solo sem calagem (a) e com calagem (b) com uma solução de KCl 2 mol L^{-1} por quatro horas e a quantidade de N absorvido pelas plantas de milho em três cultivos. ns ($p > 0,05$), * ($p < 0,05$), ** ($p < 0,01$).

quantidades de N extraído por KCl a 100°C por 4 h e o N mineralizado em incubação anaeróbia em 33 solos do nordeste da Espanha. Estes autores verificaram que o N orgânico solubilizado por este método químico não foi correlacionado com os fatores que controlam a mineralização biológica do N orgânico, exceto com o teor de alumínio. Contudo, neste trabalho, para o terceiro cultivo de milho, o coeficiente de correlação determinado nos solos com calagem foi alto, concordando com os dados de Oliveira (1989) que comparou os resultados de diversos métodos químicos com o N absorvido por trigo cultivado em microparcelas, e concluiu que o melhor método entre os testados foi o da extração com solução de KCl 2 mol L⁻¹ a 100°C por 4 h. Os mais altos coeficientes de correlação obtidos pela utilização da extração de nitrogênio por KCl 2 mol L⁻¹ durante 16 h foram observados, quando se correlacionou o N total absorvido nos quatro cultivos, o que justificaria sua adoção em laboratórios de rotina de fertilidade do solo, tendo em vista que pode ser utilizado o período noturno para este teste.

A adoção de um método analítico para caracterização da fertilidade do solo em laboratórios que analisam grande número de amostras depende da obtenção de elevados coeficientes de correlação entre as quantidades de nutrientes extraídos pelo método e as absorvidas pelas plantas. Neste aspecto, com a utilização de extratores de baixa intensidade como o caso do KCl 2 mol L⁻¹ por 16 h a 95°C, observaram-se os maiores coeficientes de correlação associados ao somatório do N acumulado pelo milho nos três cultivos, independentemente da adição ou não de calcário (Figuras 1 e 2). Não obstante, observa-se para este método que, no caso do milho (1º cultivo), poder-se-iam esperar coeficiente mais elevado (r = 0,84), caso não existisse a dispersão de um ponto (Figura 2b). Mais recentemente, Campbell et al. (1997) demonstraram que é possível utilizar este método para estimar o N potencialmente mineralizável. A partir destas considerações, os autores validaram o uso deste método para estimar o requerimento de fertilizantes nitrogenados pelas culturas.

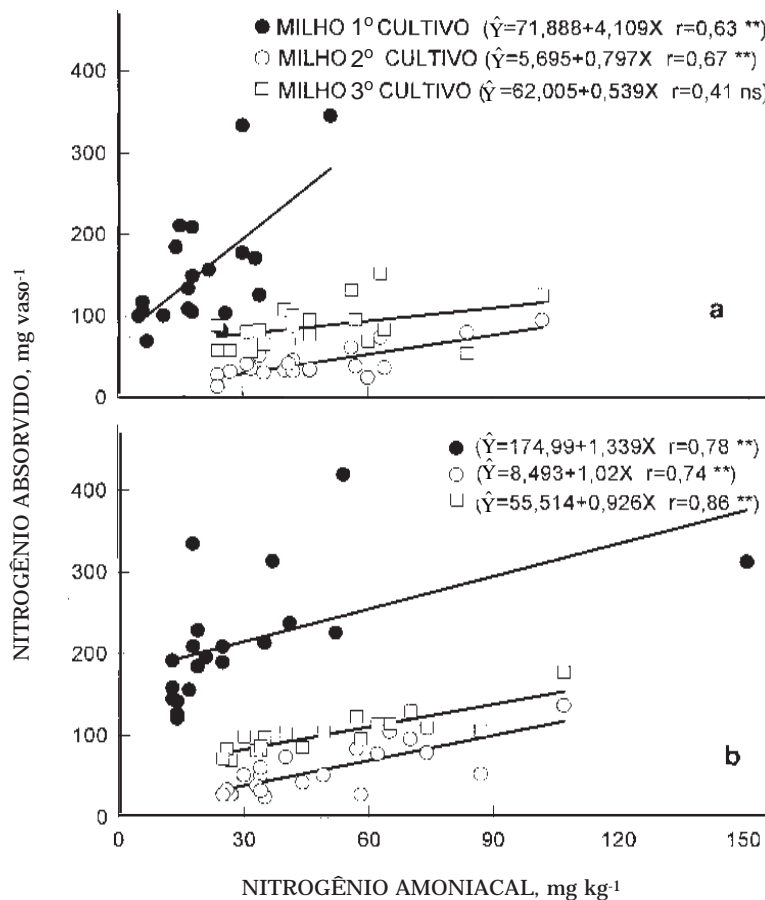


Figura 2. Correlação linear entre o conteúdo de nitrogênio amoniacal extraído do solo sem calagem (a) e com calagem (b) com uma solução de KCl 2 mol L⁻¹ por 16 horas e a quantidade de N absorvido pelas plantas de milho em três cultivos. ns (p > 0,05), ** (p < 0,01).

A estimativa do nitrogênio potencialmente mineralizável por extratores de alta intensidade que avaliam o fator quantidade como no caso da M.O. e do N total do solo mostrou-se satisfatória, conforme revelaram os coeficientes de correlação (Quadro 2). Não se detectaram diferenças significativas nos coeficientes entre estes dois métodos: entretanto, a adoção do teor de MO pelos laboratórios da Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solos dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina para recomendar a adubação nitrogenada justifica-se também pelo fato de que a matéria orgânica indica outras características importantes do solo, como acidez potencial, CTC, capacidade de retenção de água, estruturação, etc., além de ser de fácil determinação e de baixo custo.

CONCLUSÕES

1. Os métodos que utilizam extratores de alta intensidade que avaliam o fator quantidade (N total e matéria orgânica), foram geralmente eficientes para prever a disponibilidade de nitrogênio do solo às plantas de milho e de aveia.

2. Dentre os métodos que utilizam extratores de média a baixa intensidade que avaliam o fator capacidade (KMnO_4 , tampão fosfato-borato e KCl 2 mol L^{-1}), observaram-se em média coeficientes de correlação maiores entre o N absorvido pelas plantas de milho e o nitrogênio do solo extraído por KCl 2 mol L^{-1} (95°C) por 16 h.

3. Os coeficientes de correlação entre o N extraído por todos os métodos químicos testados e o N absorvido pelas plantas aumentaram significativamente ($p < 0,05$) com a correção da acidez do solo a pH 6,0.

LITERATURA CITADA

- ATLAS, R.M. & BARTHA, R. Microbial ecology: fundamentals and applications. 4.ed. Menlo Park, Benjamin Cummings, 1998. 695p.
- ANGHINONI, I. Adubação nitrogenada nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: SANTANA, M.B.M., ed. Adubação nitrogenada no Brasil. Ilhéus, CEPLAC-SBCS, 1985. p.244-273.
- BREMNER, J.M. & BREITENBECK, G.A. A simple steam distillation method for determination of ammonium in semimicro-Kjeldahl analysis of soil and plant materials using a block digester. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 14:905-914, 1983.
- CAMARGO, F.A.O. Fracionamento e dinâmica do nitrogênio orgânico em solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996. 151p. (Tese de Doutorado)
- CAMARGO, F.A.O.; GIANELLO, C. & VIDOR, C. Comparative study of five hydrolytic methods in the determination of soil organic nitrogen compounds. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 28:1303-1309, 1997a.
- CAMARGO, F.A.O.; GIANELLO, C. & VIDOR, C. Potencial de mineralização do nitrogênio em solos do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:575-580, 1997b.
- CAMPBELL, C.A.; JAME, Y.W.; JALIL, A. & SCHOENAU, J. Use of hot $\text{KCl-NH}_4\text{-N}$ to estimate fertilizer N requirements. *Can. J. Soil Sci.*, 77:161-166, 1997.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - CFRS/SC. Passo Fundo, RS. Recomendações de adubação e calagem para o estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3. ed. Passo Fundo, SBCS-Núcleo Regional Sul/EMBRAPA-CNPT, 1995. 128p.
- DAS, S.K.; SUBBA REDDY, G.; SHARMA, K.L.; VITTAL, K.P.R.; VENKATESWARLU, B.; NARAYAMA REDDY, M. & REDDY, Y.V.R. Prediction of nitrogen availability in soil after crop residue incorporation. *Fert. Res.*, 34:209-215, 1993.
- GIANELLO, C. & BREMNER, J.M. Comparison of chemical methods of assessing potentially available organic nitrogen in soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 17:216-236, 1986.
- GONZALEZ-PRIETO, S.J.; VILLAR, M.C., CARBALLAS, M. & CARBALLAS, T. Comparison between a chemical and biological method to determine the N mineralization potential of temperate-humid region soils. *Plant Soil*, 162:147-150, 1994.
- JALIL, A.; CAMPBELL, C.A.; SCHOENAU, J.; HENRY, J.L.; JAME, Y.W. & LAFOND, G.P. Assessment of two chemical extraction methods as indices of available nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60:1954-1960, 1996.
- MAGDOFF, F. Field nitrogen dynamics: implications for assessing N availability. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 22:1507-1517, 1991.
- OIEN, A. & SELMER-OLSEN, A.R. A laboratory method for evaluation of available nitrogen in soil. *Acta. Agric. Scand.*, 30:149-156, 1980.
- OLIVEIRA, S.A. Avaliação da disponibilidade de nitrogênio no solo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 24:131-148, 1989.
- PEREIRA, J.P.C.N. Avaliação da disponibilidade de nitrogênio em solos do estado do Rio de Janeiro. Itaguaí, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1993. 88p. (Tese de Mestrado)
- SERNA, M.D. & POMARES, F. Evaluation of chemical indices of soil organic nitrogen availability in calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:1486-1491, 1992.
- SERNA, M.D. & POMARES, F. Evaluation of nitrogen availability in a soil treated with organic amendments. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 24:1833-1844, 1993.
- STANFORD, G. Assesment of soil nitrogen availability. In: STEVENSON, F.J. Nitrogen in agricultural soils. Madison, ASA-SSA, 1982. p.651-688.

- STANFORD, G. & SMITH, S.J. Oxidative release of potentially mineralizable soil nitrogen by acid permanganate extraction. *Soil Sci.*, 126:210-218, 1978.
- TEDESCO, M.J. Perspectivas do uso de métodos de diagnose na recomendação de fertilizantes nitrogenados no Brasil. In: SANTANA, M.B.M., ed. *Adubação nitrogenada no Brasil*. Ilhéus, CEPLAC-SBCS, 1985. p.244-273.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. *Análise de solos, plantas e outros materiais*. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5)
- TSAI, S.M.; BARAIBAR, A.V.L. & ROMANI, V.L.M. Efeito dos fatores do solo. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M. & NEVES, M.C.P., eds. *Microbiologia do solo*. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.59-72.