

COMISSÃO II - QUÍMICA E MINERALOGIA DO SOLO

AVALIAÇÃO DOS CONCEITOS DE QUANTIDADE E INTENSIDADE DE MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO PARA TRINTA SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL⁽¹⁾

S. N. PARENTONI⁽²⁾, G. E. FRANÇA⁽³⁾ & A. F. C. BAHIA FILHO⁽³⁾

RESUMO

Visando testar a aplicabilidade do modelo de mineralização de N, sugerido por Stanford & Smith, a alguns solos brasileiros, foram utilizados os dados de incubação por trinta semanas obtidos por Pottker & Tedesco em trinta solos do Rio Grande do Sul. O modelo matemático utilizado parte da premissa de que apenas uma fração do N total do solo é potencialmente mineralizável e que esse fenômeno segue uma cinética de primeira ordem, ou seja: $dN/dt = -kN$, onde $N = N_0 - N_t$, sendo N_0 o nitrogênio potencialmente mineralizável e k , a constante de mineralização. As relações entre N_0 e k para os grandes grupos de solos estudados foram avaliadas, sendo tecidas considerações sobre ambos os fatores. O modelo de mineralização ajustou-se perfeitamente aos solos estudados ($r^2 \geq 0,99$). Mesmo dentro dos grandes grupos de solos, a variação dos valores de N_0 e k é grande. A meia-vida da mineralização de N a 24°C foi de 11,6 semanas. Para estimar N_0 por meio de regressões, é vantajoso trabalhar com os grandes grupos de solos isoladamente.

Termos de indexação: Modelo-mineralização N, matéria orgânica.

SUMMARY: EVALUATION OF CONCEPTS OF QUANTITY AND INTENSITY OF N MINERALIZATION IN THIRTY SOILS OF RIO GRANDE DO SUL STATE, BRAZIL

To test the fitness of the N mineralization model suggested by Stanford & Smith in some Brazilian soils, the data of incubation obtained by Pottker & Tedesco for thirty soils from Rio Grande do Sul were used. The mathematical model was based on the hypothesis that only a fraction of the total N is potentially mineralizable. This phenomenon is expressed by the equation $dN/dt = -kN$, where $N = N_0 - N_t$ in which $N_0 = N$ mineralization potential and k the rate of mineralization. The relationship between N_0 and k for the major soil groups was also evaluated and these two factors were considered in details. The mineralization model gave a good fit for the soils studied ($r^2 \geq 0.99$). Even within major soil groups, the N_0 and k variation was significant. The half-time of N mineralization at 24°C was 11.6 weeks. The regression model seemed to be better when fitted for the major soil groups, instead of working with all the soils together.

Index terms: N mineralization models, organic matter.

INTRODUÇÃO

Esforços de pesquisa têm sido feitos ao longo dos anos na tentativa de desenvolver índices que permitam estimar a capacidade de suprimento de N dos solos de forma simples e eficiente. Essa é uma tarefa extremamente difícil, dada a complexidade de fatores que afetam a dinâmica do elemento no ambiente (Black, 1968).

A maior parte dos trabalhos tenta correlacionar o nitrogênio mineralizado durante determinado período com características estâncias do solo, como N total, teor de matéria orgânica, CTC, relação C/N, pH, ou ainda com frações do N total extraíveis com reagentes químicos, o que não tem levado a grandes avanços no manejo agrônomico do nutriente (Bremner, 1965).

Uma abordagem nova do problema foi feita por Stanford & Smith (1972) e, mais recentemente, por Hadas

(1) Recebido para publicação em fevereiro de 1987 e aprovado em julho de 1988.

(2) Engenheiro-Agrônomo, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), à disposição do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, CNPMS/EMBRAPA. Caixa Postal 151, Sete Lagoas (MG).

(3) Pesquisador do Setor de Solos, Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo-CNPMS/EMBRAPA, Caixa Postal 151, 35700 Sete Lagoas (MG).

et al. (1986). Partindo da premissa de que apenas uma fração do N total do solo é potencialmente mineralizável, Stanford & Smith (1972) propuseram que esse fenômeno siga uma cinética de primeira ordem, ou seja:

$$\frac{dN}{dt} = -kN$$

onde: $N = N_0 - N_t$,

sendo: N_0 = nitrogênio potencialmente mineralizável;

N_t = nitrogênio mineralizado até o tempo t ;

k = constante de mineralização.

Com isso, pode-se estimar dois parâmetros básicos: a quantidade de N passível de ser mineralizada (N_0) e a taxa de mineralização de N (k), de grande importância prática no manejo agrônomo do N. O índice N_0 seria o fator quantidade e k , o fator intensidade. O valor N_0 , conforme sugerido por Stanford et al. (1973), seria independente da temperatura; somente o tempo de incubação exigido para atingi-lo seria variável, segundo a temperatura de incubação do solo. Já a constante de mineralização (k) é dependente da temperatura e umidade do solo (Oyanedel & Rodriguez, 1977). Equações foram desenvolvidas para prever o nitrogênio mineralizado até um tempo t , N_t , de acordo com variações semanais ou mensais de temperatura (Stanford et al., 1973) e umidade (Oyanedel & Rodriguez, 1977).

Usando as equações de temperatura e umidade, Oyanedel & Rodriguez (1977) conseguiram, em experimentos de campo, prever, com erro de 10%, a necessidade de fertilização nitrogenada para determinada cultura e produtividade, mostrando que os parâmetros N_0 e k são bastante promissores.

Outros modelos têm sido propostos e utilizados no estudo da mineralização do N (Deans et al., 1986; Beauchamp et al., 1986, e Hadas et al., 1986). Resultados encontrados por Deans et al. (1986) mostraram que o uso de equações de cinética de segunda ordem permitiu estimar N_0 com maior precisão. Entretanto, trabalhos como o de Hadas et al. (1986), utilizando o modelo de mineralização de cinética de primeira ordem, conforme Stanford & Smith (1972), também permitiram estimar os parâmetros N_0 e k com boa precisão.

O presente trabalho visou avaliar conceitos de quantidade e intensidade de mineralização de N (Stanford & Smith, 1972) em trinta solos do Rio Grande do Sul (RS) e verificar as relações entre N_0 e k para os grandes grupos de solos estudados.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados os dados de incubação aeróbica a 24°C por trinta semanas (Quadro 1) obtidos por Pottker & Tedesco (1979), para trinta solos do Rio Grande do Sul, para cálculo dos parâmetros N_0 e k , conforme o modelo de mineralização do N orgânico do solo descrito por Stanford & Smith (1972).

A equação de mineralização de N proposta por Stanford & Smith (1972) foi resolvida neste trabalho utilizando-se o método de Gauss-Newton modificado para ajustamento de regressões não-lineares, conforme citado por Campbell et al. (1981).

Para verificar o ajuste da regressão entre N mineralizado no tempo t (N_t) e nitrogênio potencialmente mineralizável (N_0) para cada grande grupo de solo, utilizou-se o coeficiente de determinação corrigido para o número de graus de liberdade da regressão (r^2) (Hoffmann et al., 1983), já que o número de solos amostrados dentro de cada grande grupo é diferente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O coeficiente de determinação (r^2) para todos os solos foi igual ou superior a 0,99, mostrando o perfeito ajustamento dos dados à equação cinética de primeira ordem. Esses dados, bem como os valores de N_0 e k para os vários solos, podem ser vistos no quadro 2. A variação de tais valores é grande mesmo entre solos pertencentes a um mesmo grupo (Latosolos, Podzólicos etc.), provavelmente devido à grande heterogeneidade nas propriedades químicas, físicas e mineralógicas dos solos amostrados (Pottker & Tedesco, 1979). Diante disso, qualquer comparação dos valores médios de N_0 e k entre grandes grupos de solos torna-se sem sentido.

O valor médio de N_0 para solos do RS foi de 31 ppm, enquanto Stanford & Smith (1972) encontraram, para alguns solos dos EUA, um valor médio de 163 ppm. Entretanto, a percentagem de N nos trinta solos do RS (média de 0,22) é o dobro daquela encontrada nos solos americanos (0,103%).

Tais dados fazem com que a relação N_0/N total para os solos sul-rio-grandenses fiquem em torno de 1,40% e nos solos dos EUA, 15,82%. Isso provavelmente se deva a diferenças qualitativas e quantitativas da fração orgânica dos solos dessas regiões.

O valor médio encontrado para a constante k dos solos do RS incubados a 24°C foi de 0,063 semana⁻¹. Isso significa que a 24°C a fração mineralizável de N é liberada a uma taxa de 6,3% por semana, baseada na quantidade de N mineralizável remanescente após cada semana sucessiva de incubação ($N_0 - N_t$). Salcedo et al. (1985), trabalhando com um podzólico vermelho-amarelo - latossólico arenoso, representativo dos tabuleiros costeiros de Pernambuco, obtiveram um valor da constante de mineralização (k) de 0,075 ± 0,02 semana⁻¹ com o solo incubado a 35°C. Para os solos dos EUA a 24°C, o valor médio de k encontrado por Stanford et al. (1973) foi de 0,029 semana⁻¹.

Espera-se, por conseguinte, que, quanto maior esta constante, mais decrescente seja a distribuição do N mineralizado ao longo do tempo com a maior parte deste N sendo mineralizada nas semanas iniciais de incubação.

Valores elevados de k parecem sugerir que a maior parte do N passível de se tornar disponível à cultura seja originado de compostos de rápida mineralização (proteínas, aminoácidos etc.) provenientes de reciclo fitobiológico, devendo ter o manejo deste último, portanto, uma importância fundamental no suprimento de N para as plantas.

Kliemann (1973), trabalhando com vinte solos do Rio Grande do Sul, verificou que a maior parte do N total deles estava na forma de aminoácidos (42,4%) e que esta fração foi a que mais contribuiu para o fornecimento de N às plantas, confirmando as observações acima.

Estudos de alguns pesquisadores (Stanford et al., 1973; Campbell et al., 1981) correlacionando a variação da constante de mineralização (k) com a temperatura, em solos de locais completamente distintos (Chile, Austrália, EUA, Irlanda) levaram sempre a relações semelhantes. Esses autores sugerem que a relação entre k e temperatura tenha valor universal. Assim sendo, com essa relação, pode-se corrigir os valores de k encontrados em determinada temperatura de incubação, usando-se as médias térmicas semanais ou mensais do local de origem do solo.

A meia-vida do N_0 , ou o tempo gasto para mineralizar metade do N_0 ($t_{1/2}$) de cada solo pode ser visto na coluna 5 do quadro 2. Este valor dá uma idéia do tempo a ser gasto na incubação. O valor médio de N_0 ($t_{1/2}$) para todos os solos foi de 11,6 semanas, próximo aquele encontrado por Stanford & Smith (1972), 12,8 semanas. Ressalta-se, todavia, que os autores acima incubaram os solos a 35°C, enquanto os solos do Rio Grande do Sul foram incubados a 24°C. Stanford & Smith (1972) encontraram que, a cada aumento de 10°C na temperatura (Q_{10}), a constante de mineralização dobrava.

Portanto, a meia-vida N_0 ($t_{1/2}$) para os solos do Rio Grande do Sul deveria ser muito menor se eles fossem incubados a 35°C, e o efeito prático disso seria a possibilidade de obter N_0 com menor tempo de incubação.

No quadro 3 encontram-se as regressões entre N_0 e N mineralizado com 3, 6 e 10 semanas para todos os solos e para cada grande grupo. Como se pode ver, há grande diferença quando se analisam os solos como um todo ou separadamente.

Para estimar N_0 por meio de equações, parece vantajoso trabalhar com os grandes grupos de solos (para uma mesma época, o r^2 de cada grupo geralmente é maior que o r^2 total, com exceção dos Latossolos). Tanto para cada grupo de solos quanto para o conjunto, notou-se que o aumento do tempo de incubação melhora as estimativas do N_0 .

Para os solos incipientes (Litossolos e Cambissolos), três semanas de incubação foram suficientes para estimar N_0 com um $r^2 = 0,98$. Para os Podzólicos, são necessárias

Quadro 1. N mineralizado aerobicamente a 24° durante trinta semanas, para trinta solos do Rio Grande do Sul⁽¹⁾

Solo	Classificação	Período de mineralização (semanas)					
		0-3	0-6	0-10	0-14	0-20	0-30
		ppm					
Vacaria	LB	35,3	46,4	51,5	54,4	57,6	62,1
Erexim	LR	13,0	25,8	30,6	35,3	39,2	43,6
Santo Angelo	LR	16,4	23,4	30,3	37,9	42,4	46,5
Passo Fundo	LE	11,9	20,4	23,2	25,1	27,1	29,4
Cruz Alta	LE	6,0	8,4	10,3	12,5	15,3	18,3
Durox	LH	8,2	11,7	13,9	15,5	16,9	18,8
Júlio de Castilhos	PV	13,5	23,9	26,4	27,9	30,2	34,1
Camaquã 1	PV	3,8	6,2	7,7	8,7	9,7	10,8
Bom Retiro	PV	2,6	4,2	5,9	7,3	8,6	9,8
Gravataí	PE	5,9	9,2	11,6	13,2	14,8	16,5
Estação	TRd	21,7	42,1	47,3	50,5	53,5	56,3
São Jerônimo	TRd	4,7	6,7	8,4	10,1	12,1	13,8
Carlos Barbosa	TRd	11,3	22,9	29,2	31,4	33,6	35,9
Pitova	TRd	6,6	12,1	14,7	16,3	17,7	19,4
Alto das Canas	TRE	4,1	7,9	9,5	11,2	13,1	14,8
Oásis	TRd	15,1	25,5	30,9	35,4	38,3	40,8
Arroio dos Ratos	TRE	6,2	8,6	9,5	10,0	10,6	11,3
Vila	Br	16,3	43,6	47,5	50,8	54,5	58,2
Ciriaco	Br	20,0	32,2	43,1	46,9	49,9	53,4
Seival	Br	13,3	27,6	34,3	39,1	43,6	47,2
Poncho Verde	Br	9,9	25,1	28,3	30,8	34,4	38,5
Vacacaí	Pl	12,3	21,1	28,6	34,7	40,5	44,7
Pelotas	Pl	3,4	6,0	7,8	9,0	10,3	11,4
Bagé	Pl	8,8	16,3	21,5	24,7	28,1	32,1
São Gabriel	Pl	6,0	9,5	11,2	12,7	14,0	15,7
Aceguá	V	15,0	26,3	32,8	37,6	40,8	43,5
Escobar	V	7,2	17,7	22,5	25,3	27,3	29,5
Farroupilha	C	16,9	29,0	34,6	40,1	45,1	48,0
Charrua	Li	11,8	18,9	22,2	24,9	27,3	29,9
Pinheiro Machado	Li	9,9	13,9	15,5	17,4	19,6	22,1

⁽¹⁾ Dados obtidos por Pottker & Tedesco (1979).

seis semanas de incubação para se obter uma equação com $r^2 = 0,95$. Para os Hidromórficos, dez semanas de incubação permitem que se estime N_0 com $r^2 = 0,94$.

Os Latossolos, dentre os grupos estudados, parecem ser aqueles que exigem mais tempo de incubação para estimar N_0 . Considerando que quanto maior for o valor de k , menor será o de $t_{1/2} N_0$, e que o valor médio de k para os Latossolos foi de $0,070 \text{ semana}^{-1}$, seria esperado que esse grupo de solos permitisse estimar N_0 com menos tempo de incubação. Deve-se levar em conta, entretanto, que entre

os grupos amostrados, os Latossolos, além de não possuírem muitos representantes, mostraram a maior diversidade de constantes de mineralização, $CV = 42,8\%$, enquanto o CV para todos os solos foi de $36,7\%$, o que torna a análise da média pouco significativa.

Conhecidos os valores de N_0 e k para determinado solo, pode-se, com maior probabilidade de acerto, tentar prever o efeito que certas práticas culturais teriam no manejo de N do mesmo. Assim, em solos com N_0 e k altos, práticas como adubação verde talvez sejam pouco eficien-

Quadro 2. Estimativa do potencial de mineralização (N_0) e da constante de mineralização (k) para trinta solos do Rio Grande do Sul

Solo	Classificação	N mineralizado em 30 sem.	Potencial de mineralização (N_0)	Constante de mineral (k) a 24°C	Meia-vida para mineralização de N_0	$\frac{N_0}{N \text{ total}}$	r^2
		ppm	ppm	Semana ⁻¹	Semanas	%	
Latossolos							
Vacaria	LB	62,1	57,88 ± 1,82	0,121 ± 0,016	5,7	1,86	0,99
Erexim	LR	43,6	43,35 ± 1,58	0,055 ± 0,006	12,4	1,60	0,99
Santo Angelo	LR	46,5	47,43 ± 1,87	0,049 ± 0,004	14,0	1,97	0,99
Passo Fundo	LE	29,4	28,25 ± 0,84	0,081 ± 0,008	8,5	2,01	0,99
Cruz Alta	LE	18,2	19,00 ± 1,70	0,037 ± 0,007	18,4	1,26	0,99
Durox	LH	18,8	17,83 ± 0,71	0,074 ± 0,009	9,3	0,99	0,99
X			35,62	0,070 ± 0,008	11,3	1,61	
Podzólicos							
Júlio de Castilhos	PV	34,1	31,69 ± 1,39	0,082 ± 0,012	8,4	1,59	0,99
Camaquã	PV	10,8	10,60 ± 0,32	0,069 ± 0,005	11,7	1,76	0,99
Bom Retiro	PV	9,8	10,60 ± 0,22	0,036 ± 0,002	19,0	2,12	0,99
Gravataí	PE	16,5	16,24 ± 0,32	0,057 ± 0,005	12,1	1,34	0,99
Estação	TRd	56,3	55,36 ± 1,82	0,085 ± 0,009	8,1	2,40	0,99
São Jerônimo	TRd	13,8	14,07 ± 0,87	0,043 ± 0,006	15,8	1,08	0,99
Carlos Barbosa	TRd	35,9	35,97 ± 1,12	0,066 ± 0,006	10,4	1,99	0,99
Pitova	TRd	19,4	19,06 ± 0,50	0,065 ± 0,005	10,6	1,27	0,99
Alto das Canas	TRe	14,8	15,08 ± 0,64	0,045 ± 0,005	15,1	1,07	0,99
Oásis	TRd	40,8	40,47 ± 0,70	0,067 ± 0,003	10,3	2,02	0,99
Arroio dos Ratos	TRe	11,3	10,65 ± 0,28	0,117 ± 0,013	5,9	1,77	0,99
Vila	Br	58,2	57,67 ± 3,80	0,058 ± 0,016	9,4	1,64	0,99
Ciríaco	Br	53,4	53,15 ± 0,67	0,068 ± 0,003	10,2	1,61	0,99
Seival	Br	47,2	47,80 ± 1,46	0,055 ± 0,005	12,6	1,44	0,99
Poncho Verde	Br	38,5	37,83 ± 2,43	0,060 ± 0,011	11,6	1,26	0,99
X			30,43	0,064 ± 0,007	11,4	1,62	
Hidromórficos							
Vacacaí	PI	44,7	47,24 ± 0,59	0,041 ± 0,001	16,9	2,14	0,99
Pelotas	PI	11,4	11,59 ± 0,24	0,049 ± 0,003	14,1	0,97	0,99
Bagé	PI	32,1	32,74 ± 0,89	0,046 ± 0,003	15,0	0,96	0,99
São Gabriel	PI	15,7	15,10 ± 0,58	0,065 ± 0,007	10,6	1,37	0,99
Aceguá	V	43,5	43,57 ± 0,60	0,062 ± 0,003	10,6	1,37	0,99
Escobar	V	29,5	30,11 ± 1,46	0,056 ± 0,007	12,3	0,97	0,99
X			30,05	0,053 ± 0,004	13,3	1,25	
Solos incipientes							
Farroupilha	C	48,0	47,86 ± 1,23	0,061 ± 0,004	11,3	1,32	0,99
Charrua	Li	29,9	28,87 ± 0,90	0,070 ± 0,007	9,9	1,03	0,99
Pinheiro Machado	Li	22,1	20,54 ± 1,18	0,072 ± 0,014	9,2	0,68	0,99
X			32,42	0,068 ± 0,008	10,1	1,01	
Média geral			31,59	0,063 ± 0,007	11,6	1,48	

Quadro 3. Regressão entre N mineralizado no tempo de incubação t e nitrogênio potencialmente mineralizável (N₀) para t = 3, 6 e 10 semanas, para os trinta solos e para cada grande grupo separadamente

Tempo de incubação (semanas)	Grupo de solos	Equação	r ² (1)
0-3	Todos	N ₀ = 9,01 + 2,00 N ₃	0,73
	Latossolos	N ₀ = 15,20 + 1,34 N ₃	0,68
	Podzólicos	N ₀ = 2,27 + 2,72 N ₃	0,88
	Hidromórficos	N ₀ = 2,27 + 3,16 N ₃	0,81
	Solos incipientes	N ₀ = -0,17 + 3,86 N ₃	0,98
0-6	Todos	N ₀ = 4,52 + 1,33 N ₆	0,86
	Latossolos	N ₀ = 10,23 + 1,11 N ₆	0,78
	Podzólicos	N ₀ = 4,19 + 1,32 N ₆	0,94
	Hidromórficos	N ₀ = 0,36 + 1,83 N ₆	0,86
	Solos incipientes	N ₀ = -5,22 + 1,82 N ₆	0,98
0-10	Todos	N ₀ = 3,17 + 1,18 N ₁₀	0,97
	Latossolos	N ₀ = 7,46 + 1,05 N ₁₀	0,88
	Podzólicos	N ₀ = 2,81 + 1,17 N ₁₀	0,99
	Hidromórficos	N ₀ = 0,06 + 1,45 N ₁₀	0,94
	Solos incipientes	N ₀ = -3,63 + 1,48 N ₁₀	0,98

(1) Coeficiente de determinação corrigido para o número de graus de liberdade da regressão.

tes: estar-se-ia adicionando ao solo grande quantidade de N mineralizável a curto prazo, quando o problema é o suprimento de N a longo prazo. Ainda para solos com N₀ e k altos, a incorporação de material com relação C/N mais ampla talvez tenha mais chance de ser feita sem prejudicar a cultura seguinte.

O estudo de N₀ e k para solos brasileiros pode vir a ser uma maneira promissora de avaliar a capacidade de suprimento de N destes solos.

CONCLUSÕES

1. O modelo matemático de mineralização proposto por Stanford & Smith (1972) ajustou-se perfeitamente aos solos estudados (r² ≥ 0,99).
2. A variação dos valores de N₀ e k dentro de cada grande grupo de solo foi grande.
3. O valor médio encontrado para N₀ foi de 31 ppm e para k, de 0,063 semana⁻¹.
4. Para estimar N₀ com poucas semanas de incubação, por meio de regressões lineares, é vantajoso trabalhar com cada grande grupo de solo separadamente.

LITERATURA CITADA

- BEAUCHAMP, E.G.; REYNOLDS, W.D.; BRASCHE-VILLENEUVE, D. & KIRBY, K. Nitrogen mineralization kinetics with different soil pretreatments and cropping histories. *Soil Sci. Soc. Am. J. Madison*, 50:1478-1483, 1986.
- BLACK, C.A. *Soil-plant relationship*. 2. ed. New York, John Wiley, 1968. p.419-452.
- BREMNER, J.M. Nitrogen availability indexes. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties*. Madison, American Society of Agronomy, Part 2, 1965. p.1324-1345.
- CAMPBELL, A.C.; MYERS, K.J.R. & WEIER, L.K. Potentially mineralizable nitrogen, decomposition rates and their relationship to temperature for five Queensland soils. *Aust. J. Soil Res.*, Victoria, 19:323-332, 1981.
- DEANS, J.R.; MOLINA, J.A.E. & CLAPP, C.E. Models for predicting potentially mineralizable nitrogen and decomposition rate constants. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 50:323-326, 1986.
- HADAS, A.; FEIGENBAUM, S.; FEIGIN, A. & PORTNOY. Nitrogen mineralization in profiles of differently managed soil types. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 50:314-319, 1986.
- HOFFMANN, R. & VIEIRA, S. *Análise de regressão. Uma introdução à Econometria*. 2.ed., São Paulo, Hucitec, 1983. p.61.
- KLIEMANN, H.J. Componentes nitrogenados de alguns solos do Rio Grande do Sul e sua relação com a disponibilidade de nitrogênio para as plantas. Porto Alegre, UFRGS, 1973. 75p. (Tese de Mestrado)
- OYANEDEL, C. & RODRIGUEZ, J.S. Estimación de la mineralización del N en el suelo. *Ciencia e Inv. Agraria*, Santiago, 4:33-34, 1977.
- POTTKER, D. & TEDESCO, M.J. Efeito do tipo e tempo de incubação sobre a mineralização da matéria orgânica e nitrogênio total em solos do Rio Grande do Sul. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 3:20-24, 1979.
- SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B. & ALVES, G.D. Mineralização do carbono e do nitrogênio em solo cultivado com cana-de-açúcar. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 9:33-38, 1985.
- STANFORD, G. & SMITH, S.J. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Proc. Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 36:465-472, 1972.
- STANFORD, G.; FRERE, M.H. & SCHWAININGER, D.H. Temperature coefficient of soil nitrogen mineralization. *Soil Sci.*, Baltimore, 115:321-323, 1973.