

POTENCIAL DE MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO EM SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL⁽¹⁾

F. A. O. CAMARGO⁽²⁾, C. GIANELLO⁽²⁾ & C. VIDOR⁽²⁾

RESUMO

Com o objetivo de avaliar o potencial de mineralização de nitrogênio (No) de alguns solos do Rio Grande do Sul e sua relação com a absorção de N por plantas, desenvolveu-se um estudo em casa de vegetação, a céu aberto e em laboratório, no segundo semestre de 1993. Utilizando dez amostras de solos, coletadas a uma profundidade de 0-20 cm e acondicionadas em vasos com 20 kg de solo, cultivou-se milho por um período de 45 dias. Para os mesmos solos, o potencial de mineralização foi obtido, por meio do N mineralizado num experimento de incubação aeróbia, em laboratório, num período de 32 semanas. Os valores de No para os dez solos variaram de 108,6 a 210,8 mg kg⁻¹ e foram, aproximadamente, os mesmos dos totais de N mineralizado. A constante de mineralização variou entre os solos de 0,2985 a 0,3181 semana⁻¹, e a velocidade de mineralização foi maior no período inicial compreendido até a 4ª semana de incubação. O coeficiente de correlação entre a absorção de N por plantas de milho e o potencial de mineralização de N foi significativo ($r = 0,887$), concluindo-se que este último pode ser utilizado como índice de disponibilidade de N no solo para as plantas.

Termos de indexação: N-mineralizado, taxa de mineralização, N-potencialmente mineralizável, exponencial simples, milho, disponibilidade.

SUMMARY: NITROGEN MINERALIZATION POTENTIAL OF SOILS FROM RIO GRANDE DO SUL STATE, BRAZIL

Nitrogen mineralization potential (No) for ten Rio Grande do Sul, Brazil, soils was studied with corn grown on 20 kg pots for 45 days, as compared with nitrogen mineralized in aerobic incubation for 32 weeks. No values ranged from 108.6 to 210.8 mg kg⁻¹, being similar to the total nitrogen mineralized. Mineralization velocity was higher during the first four weeks, and overall mineralization rate varied from 0.2985 to 0.3181 week⁻¹ among soils. The correlation coefficient between corn absorbed nitrogen and mineralization potential was significant (0.886), indicating that this can be used as an index for soil nitrogen availability to plants.

Index terms: Mineralized-N, mineralization rate, N-potentially mineralizable, simple exponential, corn, availability.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em junho de 1996 e aprovado em setembro de 1997.

⁽²⁾ Professor Adjunto 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).

INTRODUÇÃO

Durante a mineralização do N-orgânico do solo, os seus distintos componentes são transformados, a velocidades variáveis, em N-inorgânico, podendo alguns serem acumulados em função do seu elevado grau de recalitrância e resistência ao ataque microbiano (Janssen, 1996). O N das frações mais lábeis é liberado nos períodos iniciais do processo de mineralização, e sua estimativa de mineralização pode ser utilizada para ajustar as recomendações de adubação nitrogenada (Mengel, 1996; Geypens & Vanderdriche, 1996). Do ponto de vista prático, tem-se observado que o potencial de mineralização e a respectiva taxa de mineralização podem ser utilizados na predição da disponibilidade de N às plantas em determinado período de tempo. O potencial de mineralização do nitrogênio do solo é definido como a fração presente no nitrogênio orgânico suscetível à mineralização, pressupondo que a mineralização seja descrita por uma cinética de primeira ordem (Stanford & Smith, 1972).

O processo de mineralização é expresso pela equação exponencial negativa de crescimento: $N_m = N_o (1 - \exp^{-kt})$. Nesta equação, N_o é o parâmetro definido como potencial de mineralização do nitrogênio (mg kg^{-1} de N) quando $t = 0$; sendo t o tempo (semanas); k , a constante de mineralização (semana^{-1}); e N_m , o nitrogênio mineralizado (Mary et al., 1996). Em experimentos de incubação, são obtidos os valores de N_m em função de t , com o objetivo de estimar N_o e k e prever a disponibilização do nitrogênio presente na forma orgânica. Na maioria dos trabalhos publicados, o potencial de mineralização prende-se, particularmente, ao ajuste matemático, valendo-se deste para interpretar a resposta biológica dada pela microbiota e pela absorção de nitrogênio pelas plantas.

Com base nessas considerações, objetivou-se no presente trabalho avaliar a estimativa do potencial de mineralização do nitrogênio (N_o) em dez solos do Rio Grande do Sul, relacionando-o com a absorção de N-mineral pelas plantas de milho.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de solo utilizadas neste experimento foram coletadas, em 1988, do horizonte superficial (0-20 cm) de dez solos representativos do Rio Grande do Sul, colocadas em vasos de 30 L e mantidas, sob condições naturais de temperatura e umidade, por quatro anos, com desenvolvimento de vegetação nativa sobre os mesmos. Após este período (em 1993), os solos foram amostrados, excluindo-se a primeira camada de 1 cm, e caracterizados química e fisicamente, conforme método descrito por Tedesco et al. (1985) (Quadro 1). Em seguida à amostragem, uma quantidade de 20 kg de cada solo foi transferida para recipientes com 20 L de capacidade (2 repetições) e foi semeado milho (cv BR 201), deixando-se seis plantas por vaso, durante 45 dias. A adubação do milho constou da adição de fósforo (300 kg ha^{-1}) e potássio (100 kg ha^{-1}), na forma de KH_2PO_4 ; zinco (20 kg ha^{-1}) na forma de ZnSO_4 , e cálcio (100 kg ha^{-1}), na forma de CaSO_4 . Após a colheita, utilizando o método supradescrito, foram determinados os teores de N no tecido de milho (toda a planta), e o conteúdo de N absorvido pelo milho foi calculado em função da matéria seca produzida.

Para estudar o potencial de mineralização do N, foram utilizados 25 g de cada solo coletado imediatamente antes da semeadura do milho, misturados a igual quantidade de areia lavada, sendo a mistura acondicionada em tubos de lixiviação

Quadro 1. Parâmetros cinéticos de mineralização do nitrogênio, características químicas e físicas de amostras de dez solos do Rio Grande do Sul e concentração e acúmulo de nitrogênio pelo milho cultivado nestes solos

Solo	Argila	pH	N-total	M.O.	C/N	N_m	N_o	R^2	EPE	No/Nt	k	N-milho	
	g dm^{-3}		g kg^{-1}			mg kg^{-1}				%	semana^{-1}	g kg^{-1}	mg/vaso^0
1. Latossolo roxo	550	6,4	1,42	17	7,0	114,7	108,6	0,990***	6,94	7,6	0,3026	7,98	51,87
2. Latossolo vermelho-amarelo	240	4,7	1,00	19	11,0	107,6	108,6	0,990***	6,35	10,9	0,3025	7,50	42,00
3. Podzólico vermelho-amarelo	180	4,0	0,90	23	14,8	129,7	125,0	0,991***	7,19	13,9	0,3066	9,15	82,44
4. Planossolo vértico	240	5,4	1,61	29	10,4	128,6	122,6	0,987***	8,73	7,6	0,2845	9,50	90,44
5. Latossolo vermelho-escuro	360	5,0	2,03	33	9,4	151,6	146,2	0,995***	6,66	7,2	0,3208	10,50	117,71
6. Brunizem hidromórfico	130	5,4	1,81	33	10,6	140,5	133,1	0,992***	7,51	7,4	0,3340	8,85	76,11
7. Podzólico vermelho-amarelo	330	4,1	1,90	36	11,0	135,0	133,2	0,994***	6,43	7,0	0,2085	10,00	101,00
8. Latossolo roxo	470	4,8	2,51	47	10,9	191,3	182,6	0,994***	8,49	7,3	0,2904	11,65	167,76
9. Terra roxa estruturada	400	4,4	3,62	51	8,2	218,8	210,8	0,995***	9,48	5,8	0,2437	14,00	289,52
10. Cambissolo húmico	320	4,6	3,10	56	10,5	204,0	194,7	0,993***	10,10	6,3	0,3181	10,15	117,84

⁽¹⁾ N acumulado por vaso (seis plantas).

N-total = nitrogênio total. M.O. = matéria orgânica. N_m = nitrogênio mineralizado acumulado na 32ª semana. N_o = nitrogênio potencialmente mineralizável. R^2 = coeficiente de determinação do ajuste para estimativa do N_o . *** = $p < 0,001$. EPE = erro-padrão da estimativa do N_o . k = constante de mineralização.

(100 mL) em duplicata. Inicialmente, o N-mineralizado foi removido dos tubos por percolação com 100 mL de CaCl_2 0,01 mol L^{-1} , adicionando-se, em seguida, 25 mL de uma solução nutritiva sem N ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,002 mol L^{-1} , MgSO_4 0,002 mol L^{-1} , $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0,005 mol L^{-1} e K_2SO_4 0,00025 mol L^{-1}), sendo o excesso de água removido por sucção (60 cm de Hg). Os tubos foram fechados, de forma a manter a condição aeróbia, e incubados em estufa a 35°C. Ao final da 2ª, 4ª, 8ª, 16ª e 32ª semana, os solos foram lixiviados com CaCl_2 0,01 mol L^{-1} e solução nutritiva desprovida de N, aplicando-se a sucção supracitada e mantendo-se a umidade, conforme Stanford & Smith (1972). Nos lixiviados, foram determinados o NH_4^+ por destilação com MgO e o $\text{N}-(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)$ após destilação com liga de devarda (Tedesco et al., 1985).

O potencial de mineralização do nitrogênio (No) foi obtido a partir dos valores acumulados de nitrogênio mineral, utilizando-se o programa científico de ajuste de curvas SIGMASTAT (1994) e o algoritmo descrito por Marquardt (1963) para estimar os parâmetros não lineares. Para comparar os valores médios de N-mineralizado, utilizou-se o teste de Tukey (1%), após a análise de variância e as correlações (coeficientes e probabilidade indicadas no texto) entre as propriedades químicas dos solos, sendo o No e a absorção de N pelas plantas de milho obtidos por meio dos resultados dos dez solos e duas repetições ($n = 20$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O padrão de mineralização do nitrogênio acumulado com o tempo foi similar para todos os solos (Figura 1), todavia os valores encontrados permitiram separar, visualmente, as curvas de resposta em três grupos distintos. O primeiro grupo é representado pelos dois solos com menores valores de nitrogênio mineralizado acumulado, que, em termos médios, foi de 111 mg kg^{-1} de N no solo. Para os cinco solos intermediários (3 a 7), esse valor atingiu, em média, 137 mg kg^{-1} de N no solo e, para os três solos restantes, (8, 9 e 10, na parte superior da figura 1), 205 mg kg^{-1} de N no solo. Entretanto, a análise comparativa de médias mostrou que essa separação não foi possível, uma vez que, com um DMS de 24,73 (1%), verificou-se que o número de grupos diminuiu para dois, ou seja, os solos 8, 9 e 10 e os demais solos (1 a 7) (Figura 1). A análise geral desta figura permite constatar que a velocidade de mineralização foi maior no período inicial compreendido até a quarta semana, em relação ao período posterior à oitava semana. Em média, 64% do N mineralizado para os dez solos foi obtido até a quarta semana, atingindo cerca de 84% na oitava semana de incubação. A partir daí e prolongando-se até o final da incubação, o processo atingiu patamares mais estáveis, aproximando-se de uma cinética de ordem zero, com diminuição do nitrogênio mineralizado em função do tempo, sendo tal situação mais evidente para o primeiro grupo de solos.

A quantidade de N-mineralizado em determinado período depende de fatores; a saber: temperatura, umidade, aeração, quantidade e natureza do material orgânico presente (Mary et al., 1996). Como os três primeiros fatores foram uniformizados, experimentalmente, o comportamento apresentado pelos solos em estudo está diretamente associado ao conteúdo de matéria orgânica ($r = 0,966$; $p < 0,001$) e de N-total ($r = 0,923$; $p < 0,001$). Sampaio et al. (1995), avaliando a capacidade de suprimento de nitrogênio à cultura do sorgo em vinte solos de Pernambuco, constataram que parte da variação entre solos do N absorvido pelo sorgo pode ser explicada pelos seus teores de N-total e N-mineral. Observou-se que esses teores poderiam ser utilizados para uma primeira aproximação de estimativa do potencial de fornecimento de N dos solos. Dessa forma, pode-se atribuir o baixo potencial absoluto de mineralização do nitrogênio (No), para os primeiros solos do quadro 1, aos baixos conteúdos de N e C orgânicos. Entretanto, quando se relaciona o No com o conteúdo de nitrogênio do solo (No/Nt), verifica-se que os solos 2 e 3 (Quadro 1) foram os que apresentaram a maior porcentagem de mineralização, tendo o solo 3 mineralizado cerca de 14% do N-total. Esse solo contém o menor conteúdo de argila entre os estudados, o que justifica, em parte, os valores encontrados. A argila participa na formação de complexos organo-minerais insolúveis, além de adsorção de enzimas, que podem resultar em proteção da matéria orgânica ao ataque microbiano, diminuindo a mineralização do nitrogênio (Ladd & Jackson, 1982).

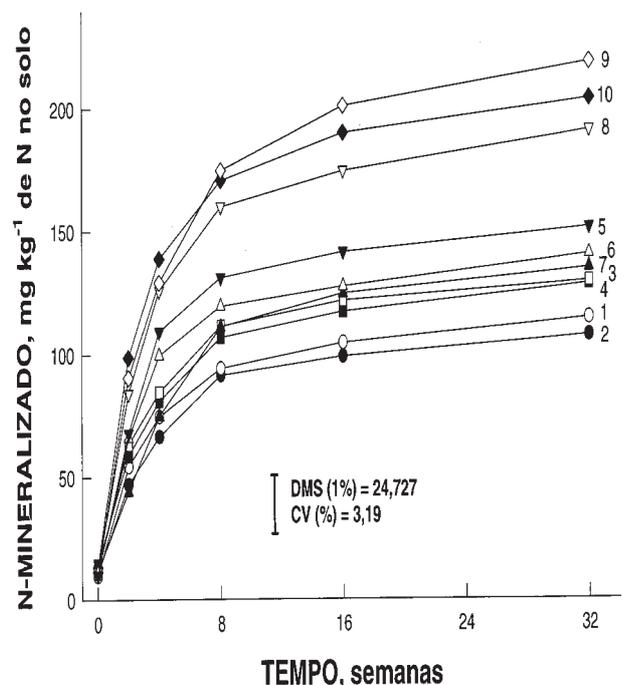


Figura 1. Mineralização acumulada do nitrogênio presente em dez solos do Rio Grande do Sul (o número ao lado das curvas representa o número do solo descrito no quadro 1).

É possível, ainda, separar os dois últimos solos do quadro 1 (terra roxa estruturada e cambissolo húmico), os quais apresentaram a menor porcentagem de mineralização do N-total (5,8 e 6,3%, respectivamente); em relação aos outros cinco que se situaram em uma faixa intermediária, com média de 7,6% (Quadro 1). Tal situação é evidenciada pelos resultados dos solos do 3º grupo, solos (três curvas superiores na figura 1) que apresentaram os maiores conteúdos de matéria orgânica e N-total, refletindo em maior N_0 (média de 196,0 mg kg⁻¹ de N no solo). Entretanto, comparados aos solos com menor N_0 , constatou-se que o aumento não foi proporcional ao conteúdo de matéria orgânica ou N-total, indicando que boa parte do N-orgânico não é mineralizada nessas condições. Esse comportamento é exemplificado com o cambissolo húmico (Quadro 1), que, apesar de apresentar o maior conteúdo de matéria orgânica, teve sua mineralização limitada pelas condições do meio, principalmente pH baixo, elevada saturação de alumínio e baixas temperaturas médias anuais em suas condições de origem. Essas condições determinam um meio biologicamente pouco ativo, o que justifica, a princípio, um baixo potencial relativo de mineralização, pela microbiota, do material existente. O maior valor obtido de N_0 para a terra roxa estruturada parece estar relacionado com o maior conteúdo de N-total e com a ausência das limitações do meio constatadas principalmente para o cambissolo (Quadro 1).

Para alguns desses solos, Parentoni et al. (1988), avaliando resultados de Pottker & Tedesco (1979), verificaram valores de N-potencialmente mineralizável inferiores aos aqui obtidos. Os padrões de mineralização entre os solos foram muito distintos e, provavelmente, as diferenças existentes estão relacionadas com a mineralização de formas lábeis do nitrogênio, proporcionada pela coleta e manuseio das amostras. Esses fatores foram atenuados, no presente trabalho, pelas condições em que foram mantidos os solos, com o mínimo de perturbação possível durante a amostragem.

A correlação entre o nitrogênio potencialmente mineralizável e a concentração ($r = 0,887$; $p < 0,001$) e o acúmulo ($r = 0,879$; $p < 0,001$) de N no milho foi altamente significativa, mostrando que os parâmetros N_0 e k descritos pelo modelo exponencial simples (Stanford & Smith, 1972) caracterizaram adequadamente a absorção de N pelo milho em função do N-mineralizado, mesmo estimando valores de N_0 ligeiramente inferiores aos de N-mineralizado.

Os dados obtidos para a constante da taxa de mineralização foram maiores que a média geral (0,054 semana⁻¹), encontrada por Stanford & Smith (1972), que, analisando 38 solos diferentes, utilizaram o ajuste linear para a regressão do logaritmo de ($N_0 - N_m$) sobre t . A equação não linear utilizada neste trabalho apresentou melhor ajuste e estimou, com maior exatidão, a constante da taxa de mineralização do que o logaritmo transformado utilizado por Stanford & Smith (1972). Esse fato foi verificado por Broadbent (1986), ao reanalisar os dados de Stanford & Smith (1972), mostrando, em alguns casos, um aumento em cerca de 10% na taxa de mineralização.

A intensa mineralização verificada nas primeiras semanas, seguida de estabilização por um período relativamente longo, pode, a princípio, explicar os valores elevados de k . Broadbent (1986) utilizou a equação exponencial de forma não linear e verificou que, para os solos descritos por Marion et al. (1981), os valores de k foram bastante superiores aos de Stanford & Smith (1972). O solo Las Posas, além da maior taxa (0,226 semana⁻¹), apresentou comportamento semelhante aos descritos no presente trabalho em termos de curvas de mineralização acumulada. Em um solo do Distrito Federal, Oliveira (1987) constatou uma taxa de 0,249 semana⁻¹, seguindo a tendência supradescrita para o processo de mineralização. A maior velocidade de mineralização encontrada no período inicial refletiu em maior taxa de mineralização verificada na quarta semana (média de 0,3912 semana⁻¹), atenuando-se na oitava semana (0,3333 semana⁻¹) e atingindo valores médios de 0,3196 semana⁻¹ ao final das 32 semanas de incubação. Esse valor indica que a 35°C o N remanescente no solo a ser mineralizado é liberado para a solução do solo em torno de 32%, por semana, em sucessivas semanas de incubação. Tal afirmativa baseia-se no fato de que, no período de 18 dias, ocorreu, em termos de média para os dez solos, cerca de 50% da mineralização observada ao final da 32ª semana.

A ocorrência de taxas iniciais elevadas pode estar associada a uma indução ao aumento da atividade microbiana proporcionado pelo manuseio e preparo das amostras. Esse fato é considerável, tanto que Stanford & Smith (1972) desprezaram a determinação do N-mineralizado das primeiras semanas, chegando alguns autores a iniciar os seus cálculos de N-mineralizado acumulado a partir da 4ª semana (Matar et al., 1991). Adotando esse arranjo neste trabalho, verifica-se que a taxa de mineralização diminuiu, em média, de 0,3196 semana⁻¹ (tempo zero) para 0,253 semana⁻¹, utilizando os dados de N mineralizado, a partir da segunda semana, e para 0,129 semana⁻¹, a partir da quarta semana.

A mineralização do nitrogênio orgânico do solo ocorre sob distintas velocidades, sendo diretamente relacionadas com o caráter lábil ou recalcitrante das frações e com a atividade dos grupos microbianos que as utilizam. Independentemente da ausência de estudos relativos à atividade microbiana, é possível aplicar o conhecimento a respeito das transformações dos compostos orgânicos presentes no solo como um importante instrumento para estabelecer e estimar adequadamente a contribuição potencial da mineralização do nitrogênio ao conteúdo do N-mineral e, com isto, estimar a disponibilização desse nutriente às culturas (Geypens & Vanderdrieche, 1996).

CONCLUSÕES

1. A mineralização do nitrogênio orgânico foi distinta entre solos, com uma taxa de mineralização variando de 0,2985 a 0,3181 semana⁻¹, permitindo,

assim, separá-los em dois grupos quanto à capacidade potencial de mineralização.

2. A velocidade de mineralização foi maior no período inicial, compreendido até a 4ª semana de incubação, em relação ao período posterior à 8ª semana.

3. O potencial de mineralização do nitrogênio pode ser utilizado como um índice de disponibilidade de N para a cultura do milho.

LITERATURA CITADA

- BROADBENT, F.E. Empirical modeling of soil nitrogen mineralization. *Soil Sci.*, Baltimore, 141:208-213, 1986.
- GEYSENS, M. & VANDERDRIECHE, H. Advisory systems for nitrogen fertilizer recommendation. *Plant Soil*, The Hague, 181:31-38, 1996.
- JANSSEN, B.H. Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. *Plant Soil*, The Hague, 181:39-45, 1996.
- LADD, J.N. & JACKSON, R.B. Biochemistry of ammonification. In: STEVENSON, F.J., ed. *Nitrogen in agricultural soils*. Madison, American Society of Agronomy, 1982. p.173-228.
- MARION, G.M.; KUMMEROW, J. & MILLER, P.C. Predicting nitrogen mineralization in Chaparral soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 45:956-961, 1981.
- MARQUARDT, D.W. An algorithm for least squares estimation of non-linear parameters. *J. Soc. Ind. Appl. Mathem.*, New York, 11:431-441, 1963.
- MARY, B.; RECOUS, S.; DARWIS, D. & ROBIN, D. Interaction between decomposition of plant residues and nitrogen and nitrogen cycling in soil. *Plant Soil*, The Hague, 181:71-82, 1996.
- MATAR, A.E.; BECK, D.P.; PALA, M. & GARABET, S. Nitrogen mineralization potentials of selected mediterranean soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, New York, 22:23-36, 1991.
- MENGEL, K. Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops. *Pl. Soil*, The Hague, 181:83-93, 1996.
- OLIVEIRA, S.A. Avaliação da mineralização e disponibilidade de nitrogênio para o trigo (*Triticum aestivum* L.) em solos do Distrito Federal. Piracicaba, ESALQ, 1987. 128p. (Tese de Doutorado)
- PARENTONI, S.N., FRANÇA, G.E. & BAHIA FILHO, A.F.C. Avaliação dos conceitos de quantidade e intensidade de mineralização de nitrogênio para trinta solos do Rio Grande do Sul. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 12:225-229, 1988.
- 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.
- SAMPAIO, E.V.S.; SALCEDO, I.H.; SILVA, V.M. & ALVES, G.D. Capacidade de suprimento de nitrogênio e resposta à fertilização de vinte solos de Pernambuco. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 19:269-279, 1995.
- SIGMASTA, T. Scientific Graphing Software. Transform & Curve Fitting. Revision SPW 2.0. San Rafael, Jandel Scientific, 1994. n.p.
- STANFORD, G. & SMITH, S.J. Nitrogen mineralization potential of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 36:465-472, 1972.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J. & BOHNEM, H. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia - UFRGS, 1985. 188p. (Boletim Técnico, 5)