

DINÂMICA DE NUTRIENTES EM CANA-DE-AÇÚCAR¹.

IV. PERDA DE N POR LIXIVIAÇÃO EM CANA-PLANTA FERTILIZADA COM URÉIA-¹⁵N

IGNACIO H. SALCEDO, EVERARDO V.S.B. SAMPAIO² e CLEMENTE J.G. CARNEIRO³

RESUMO - As perdas de N foram medidas, em solo Podzólico Vermelho-Amarelo, textura arenosa de Goiana, PE, num experimento com dois tratamentos: a) 60 kg N/ha no plantio e b) 20 kg N/ha no plantio e 40 kg N/ha, três meses após. O N foi aplicado como uréia em parcelas de 10 m x 12,5 m e como uréia-¹⁵N em subparcelas de 1,25 m x 1,25 m no sulco central das parcelas. Junto às subparcelas foram instalados tensiômetros por duplicado a 1,0 m e 1,2 m de profundidade, tubo de acesso para sonda de nêutrons e amostrador de solução a 1,0 m de profundidade sob a subparcela. A solução foi analisada quanto aos teores de N-NO₃ e N-NH₄ e abundância de ¹⁵N. A curva de retenção de umidade e a condutividade hidráulica foram determinadas e o fluxo de drenagem estimado a partir desta última e do gradiente de potencial entre 1,0 m e 1,2 m. A perda de N foi calculada como o produto do fluxo e da concentração de N mineral da solução do solo. Nos primeiros cinco meses após o plantio (em outubro) choveu pouco, não houve quase drenagem e nem perda de N. Com as chuvas que se seguiram as perdas de N aumentaram e em março houve a única lixiviação significativa de N do fertilizante, menos de 1 kg N/ha no tratamento com aplicação única. De maio a setembro foram drenados 300 mm de água e ocorreram as maiores perdas de N, apesar das concentrações de N mineral na solução do solo terem sido as mais baixas, 5 µg N/ml. As perdas de N em todos os 16 meses do ciclo da cana-planta foram de 21 e 28 kg N/ha, com aplicação parcelada e única, respectivamente.

Termos para indexação: adubação nitrogenada, fluxo de drenagem, N-NO₃ e N-NH₄, solução do solo.

NUTRIENT CYCLING IN SUGAR CANE.

IV. LEACHING LOSSES OF N IN PLANT-CANE FERTILIZED WITH UREA-¹⁵N

ABSTRACT - Leaching losses of N from a field experiment in a sandy Red-Yellow Podzolic soil of Goiana, Pernambuco State, Brazil, were measured. Two of the treatments were monitored: a) 60 kg N/ha at planting; and b) 20 kg N/ha at planting plus 40 kg N/ha, three months later. The N was applied as urea in plots 10 m x 12,5 m and as ¹⁵N-urea in subplots 1,25 m x 1,25 m in the middle furrow. Two tensiometers in duplicates at 1,0 m and 1,2 m and a neutron probe access tube were placed close to the subplots while a soil solution sampler was placed under the subplot at 1,0 m depth soil. Solution was analyzed for NO₃-N, NH₄-N and ¹⁵N abundance. Water retention curves and water conductivity were determined, drainage was estimated from the conductivity and the potential gradient between 1,0 m and 1,2 m and N losses calculated by multiplying flux of drainage by mineral N concentration in soil solution. In the first five months after planting (in October) rainfall was little and there was no drainage and N losses by leaching. Thereafter rainfall increased, N leaching losses started and in March occurred the only significant loss of N derived from the fertilizer, amounting to less than 1 kg N/ha in the treatment with a single N application. The highest N losses occurred from May to September, when 300 mm of water drained, in spite of mineral N concentrations being very low, 5 µgN/ml. Total N leaching losses during the 16 month cycle were 21 and 28 kg N/ha, for splitted and single urea applications, respectively.

Index terms: nitrogen fertilization, drainage, N-NO₃ and N-NH₄, soil solution, nitrogen 15.

INTRODUÇÃO

Uma extensa área dos tabuleiros costeiros do Nordeste, cultivada com cana-de-açúcar, é fertili-

zada anualmente com 50 a 100 kg N/ha e é opinião corrente que parte considerável deste N, permanecendo na forma mineral, é perdida por lixiviação, já que a precipitação excede a evapotranspiração potencial durante seis meses do ano e os solos são arenosos. A permanência de N mineral no solo depende do equilíbrio entre os processos que tendem a reduzi-lo (absorção pelas plantas, incorporação à matéria orgânica, perdas por volatilização, denitrificação e lixiviação) e os que tendem a aumentá-lo (adubação, aporte pela chuva e mine-

¹ Aceito para publicação em 26 de janeiro de 1988
Trabalho financiado pela FINEP e CNEN.

² Prof. - Adj., Ph.D., Dep. de Energia Nuclear (Radio-
agronomia) UFPE, Cidade Universitária, CEP 50000
Recife, PE, Bolsista do CNPq.

³ Prof. - Tit., Ph.D., Dep. de Energia Nuclear (Radio-
agronomia) UFPE.

realização da matéria orgânica).

Pouca informação existe sobre qualquer um desses processos nos solos da região. No trabalho de Lima Júnior (1982), cerca de 20% do N do fertilizante (uréia- ^{15}N) não foi recuperado nas plantas e no solo, não se sabendo quanto foi perdido por volatilização, desnitrificação ou lixiviação. Não existem dados de perdas de N por lixiviação na cultura de cana-de-açúcar no Brasil e nem em outros países da América Latina e do Caribe, com exceção do Peru, onde determinaram-se perdas de 20 kg N/ha.ano por esta via (Ruschel et al. 1982).

Em São Paulo, com aplicação de 80 kg N/ha, no milho, a perda por lixiviação foi de 9 kg N/ha, sendo que apenas 0,5 kg N/ha provieram do fertilizante (Reichardt et al. 1979). No Havaí, a lixiviação do N oriundo do fertilizante aplicado à cana-de-açúcar em vários locais e épocas tem sido geralmente pequena apesar da ocasional ocorrência de chuvas pesadas logo após sua aplicação (Takahashi 1968, 1970). Uma excessão foi a lixiviação de 30% do N aplicado em um dos quatro solos estudados por Ayres & Hagihara (1968). Na África do Sul, Wood (1974) tem atribuído a baixa recuperação do N do fertilizante nos canaviais às perdas por lixiviação.

Este trabalho faz parte de uma série tratando da dinâmica de N em cana-de-açúcar em solo de tabuleiro costeiro de Pernambuco (Sampaio et al. 1984, Salcedo & Sampaio 1984) e objetivou estimar as perdas de N por lixiviação em cana-planta.

MATERIAL E MÉTODOS

Um experimento com cana-de-açúcar foi instalado, em outubro de 1981, na Unidade de Execução de Pesquisa (UEP) de Itapirema, Goiânia, PE, em um solo Podzólico Vermelho-Amarelo latossólico, álico, distrófico, de textura arenosa, tendo um delineamento experimental de blocos completos ao acaso com quatro repetições e três tratamentos: a) sem nitrogênio; b) 60 kg N/ha no plantio; e c) 20 kg N/ha no plantio e 40 kg N/ha, três meses após (Sampaio et al. 1984). Para o trabalho de drenagem consideraram-se apenas os tratamentos b e c. O N foi aplicado como uréia.

Cada parcela tinha nove sulcos com 10 m de comprimento e 1,25 m entre sulcos. Todas as parcelas receberam 1 t/ha de calcário dolomítico seis meses antes do plantio

e 120 kg/ha de P_2O_5 e 100 kg/ha de K_2O no sulco de plantio. No sulco central de cada parcela que recebeu nitrogênio foram delimitadas duas subparcelas de 1,25 m x 1,25 m, enterrando-se filme plástico até a profundidade de 80 cm. Nessas subparcelas, colocou-se a dose correspondente de N do plantio, utilizando-se uréia com 10,2% de átomos de excesso de ^{15}N .

Próximos a cada subparcela foram instalados dois pares de tensiômetros a 1,0 m e 1,2 m de profundidade e um tubo de acesso para sonda de nêutrons. Um amostrador de solução de solo foi colocado inclinado, de modo que sua cápsula porosa ficasse a 1,1 m de profundidade sob o sulco de plantio das subparcelas.

O amostrador de solução e os tensiômetros foram construídos com tubos de PVC rígido e cápsulas porosas de cerâmica. As cápsulas de amostrador tinham 15 cm de comprimento e 4,5 cm de diâmetro e as dos tensiômetros 7 cm de comprimento e 2 cm de diâmetro. Estes últimos foram ligados a manômetros de mercúrio e lidos duas ou três vezes por semana. A sonda de nêutrons usada foi uma Campbell Pacific Nuclear Model 503 com fonte de 500 mC de Am-Be, previamente calibrada segundo a técnica de Carneiro & Jong (1985). Leituras foram feitas semanalmente a 20, 40, 60, 80 e 110 cm de profundidade, tendo-se considerado a leitura a 20 cm como representativa para a medida de umidade de 0 cm - 30 cm.

A solução de solo foi retirada do amostrador com uma bomba de sucção a intervalos de tempo variáveis, em geral não maiores que duas semanas, durante o ciclo de crescimento da cana-planta, excetuando-se o período de novembro de 1982 até sua colheita em fevereiro de 1983, quando o solo estava muito seco e ocorreram dificuldades na extração da solução.

A solução de solo foi analisada quanto aos teores de N-NO_3 e N-NH_4 (Industrial... 1973) e quanto a abundância de ^{15}N no CENA-USP (Rennie & Paul 1971). Na maioria das ocasiões foi necessário juntar a solução retirada dos vários amostradores de um mesmo tratamento para obter-se material suficiente para análise. Os valores do potencial matricial, umidade do solo, concentrações de N-NO_3 e N-NH_4 e abundância de ^{15}N , medidos entre outubro de 1981 e novembro de 1982, foram interpolados linearmente e obtidos diariamente. Valores de precipitação pluvial diária foram obtidos da estação meteorológica da UEP de Itapirema.

A curva de retenção da umidade do solo foi determinada pelo método descrito por Richards (1965), usando-se amostras indeformadas coletadas a 110 cm de profundidade e aparelho de placa porosa. Para sucções inferiores a 100 mbar utilizaram-se funis de placa porosa (Grohman 1960). A condutividade hidráulica, $K(\Theta)$, função da umidade do solo, foi determinada pelo método do perfil instantâneo para valores de sucções entre 100 mbar e saturação, correspondente a valores de umidade entre 0,20 e 0,42 cm^3/cm^3 (Hillel et al. 1972).

Para sucções maiores que 100 mbar, a condutividade hidráulica foi determinada através da curva de retenção

de umidade usando-se o método de Campbell (1974). A drenagem foi estimada a partir: a) do gradiente de potencial médio entre as profundidades de 100 cm e 120 cm, e b) da condutividade hidráulica a 110 cm. A partir dos valores interpolados de potencial matricial e umidade determinaram-se o gradiente de potencial total da água e a condutividade hidráulica, K (⊖).

O fluxo de drenagem foi então determinado pelo produto de K (⊖) e desse gradiente.

A perda de N por lixiviação foi calculada através do somatório do produto dos valores médios da concentração de N mineral ($N-NO_3$ e $N-NH_4$) na solução do solo a 1,0 m de profundidade e do fluxo de drenagem abaixo dessa profundidade (Carneiro da Silva & Jong 1986). Portanto, foi considerado como perdido qualquer N carregado para baixo de 1,1 m de profundidade. A fração dessa perda que foi oriunda do fertilizante foi obtida através da relação entre as percentagens de átomos de ^{15}N em excesso na solução do solo e no fertilizante.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Levando em consideração a precipitação, o conteúdo de água no solo, a drenagem e as concentrações de ^{15}N e N mineral (NH_4-N e NO_3-N) na solução do solo (Fig. 1A, B, C e 2A e B), os 16 meses do ciclo da cana-planta podem ser divididos em quatro períodos: 1) do plantio, em outubro, até meados de dezembro, período de poucas mudanças nesses parâmetros; 2) de dezembro até fins de abril, período de precipitações esporádicas e intensas, com oscilações grandes no conteúdo de água e concentração de N e ^{15}N na solução do solo; 3) de começo de maio até fim de setembro, período de muita chuva e drenagem, com perdas de N por percolação e 4) de outubro até a colheita em fevereiro, período de pouca chuva, baixo conteúdo de água no solo e aumento da concentração de N na solução do solo.

No primeiro período a precipitação foi pouca mas a demanda de água da cultura recém plantada também foi baixa, não houve drenagem e o conteúdo de água a 1,0 m de profundidade variou pouco, do mesmo modo que a abundância de ^{15}N e a concentração de N mineral na solução do solo a 1,0 m de profundidade. A abundância de ^{15}N foi quase sempre ligeiramente abaixo da abundância natural do N total do solo a 1,0 m de profundidade (0,370% átomos de ^{15}N) indicando que o N do fertilizante (com 10,5% átomos de

^{15}N) não havia atingido esta profundidade. Menor abundância de ^{15}N na solução que na fase sólida do solo é explicada pela discriminação contra o ^{15}N que ocorre no processo de mineralização do N da matéria orgânica (Tiessen et al. 1984). Considerando-se o solo a 1,0 m de profundidade com 20% de água em volume (Fig. 1B), concentração de N mineral na solução em torno de $15 \mu g/ml$ (Fig. 2B) e uma densidade de $1,48 g/cm^3$, ter-se-ão cerca de $2 \mu g N/g$ solo, um valor que corresponde a aproximadamente metade do N mineral extraído com KCl 2N de amostra de solo retirada por ocasião do plantio à profundidade entre 0,8 m e 1,0 m (Salcedo & Sampaio 1984).

O segundo período, entre dezembro e abril, foi o que apresentou maiores mudanças nas variáveis estudadas. Ocorreram precipitações esporádicas e intensas, como os 133 mm caídos no dia 18 de fevereiro e as plantas entraram no seu período de maior crescimento (Sampaio et al. 1984). Esta conjunção, aliada a condições que favoreceram a evapotranspiração, fez com que o conteúdo de água no solo, mesmo a 1,0 m de profundidade, oscilasse entre valores dos mais baixos e dos mais altos.

Os valores de N mineral na solução a 1,0 m de profundidade também apresentaram oscilações grandes, em parte atribuídas à menor ou maior diluição do N já presente com as variações no conteúdo da água do solo, e em parte à chegada de N deslocado das camadas superiores pelo ocasional excesso de água. O efeito da forma de aplicação do N, todo no plantio ou parcelado, fez-se sentir nas concentrações de N mineral e na abundância de ^{15}N .

Com a aplicação única no plantio, as concentrações de N mineral tiveram oscilações maiores que com a aplicação parcelada, atingindo no fim de março mais de $50 \mu gN/ml$ de solução, quase o dobro do valor máximo de $27 \mu gN/ml$ alcançado com o último tratamento referido, no início de fevereiro. O aumento na concentração de N mineral registrado em março foi acompanhado do único pico considerável de ^{15}N , com 1,15% de átomos em excesso (Fig. 2A). Isto significa que cerca de 8% do N na solução provinha do fertilizante e

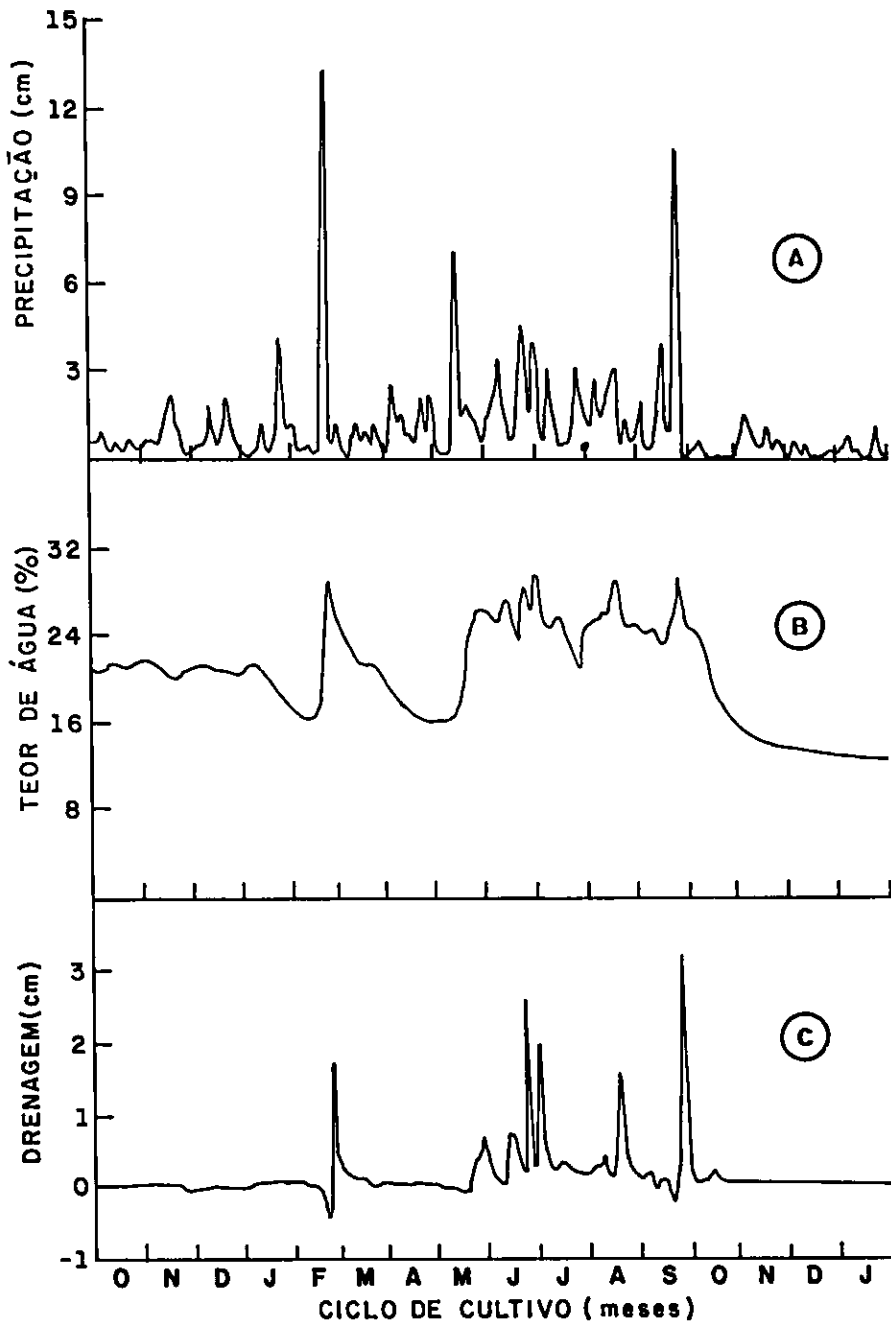


FIG. 1. Precipitação (A), conteúdo de água no solo a 1,1 m de profundidade (B) e drenagem abaixo dessa profundidade (C) em solo Podzólico Vermelho-Amarelo de Goiana, PE, cultivado com cana-de-açúcar.

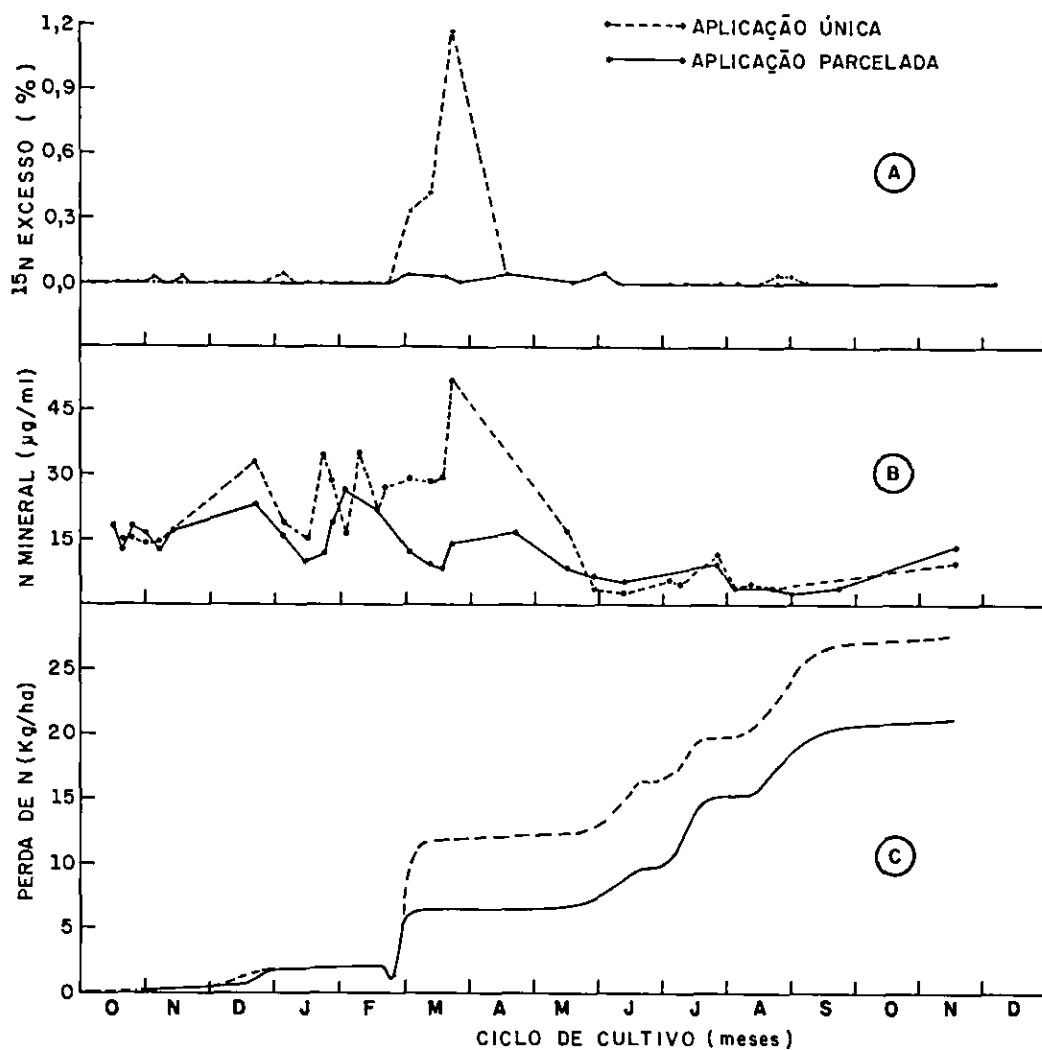


FIG. 2. Percentagem de átomos de ^{15}N em excesso (A) concentração (B) do N mineral ($\text{N-NH}_4 + \text{N-NO}_3$) da solução do solo a 1,1 m de profundidade e perda acumulada de N por lixiviação, ao longo do ciclo da cana-planta (C) cultivada em PV de Goiana-PE e adubada com 60 kg/ha de N em aplicação única ou parcelada, 20 kg no plantio e 40 kg/ha de N em cobertura três meses após (Uréia com 10,2% átomos de ^{15}N em excesso).

como nesse período houve drenagem e arraste de aproximadamente 10 kg N/ha abaixo de 1,1 m de profundidade no tratamento com aplicação única (Fig. 2C), pode-se estimar a perda de N do fertilizante como sendo no máximo de 1 kg N/ha, se todo o N perdido no mesmo período tivesse essa proporção de ^{15}N . As perdas totais de N até o fim de abril totalizaram 12 e 6 kg N/ha para os tratamentos com aplicação única e parcelada, respectivamente (Fig. 2C).

O destino do N aplicado em cobertura em janeiro no tratamento de adubação parcelada não parece claro; seria de esperar que estando mais recente no solo que o N aplicado no plantio, fosse mais facilmente carregado com o fluxo descendente de água e aparecesse na solução a 1 m de profundidade. Nem isto ocorreu e nem ele provocou aumento do N mineral no solo, em nenhuma profundidade, nas amostras retiradas três meses após sua aplicação, no fim de abril (Salcedo & Sampaio 1984). Ele pode ter sido perdido por volatilização ou desnitrificação, incorporado ao reservatório da matéria orgânica do solo e/ou absorvido pelas plantas.

Deve-se registrar que neste período, no mês de fevereiro, houve uma descida na curva de perda de N (Fig. 2C), ou seja, um ganho de N, que é explicado pelo fluxo ascendente da solução do solo (Fig. 1C) trazendo N mineral das camadas de solo abaixo de 1,1 m de profundidade.

O terceiro período, de maio a setembro, correspondeu a estação mais chuvosa na zona costeira de Pernambuco, com a precipitação excedendo a evapotranspiração, o solo com teor de água alto e drenagem de uma lâmina de mais de 300 mm. As plantas continuavam acumulando matéria seca e N num ritmo elevado (Sampaio et al. 1984), reduzindo o N mineral em todo o perfil do solo, até 1,0 m de profundidade, a valores menores que 1 $\mu\text{g/g}$ solo (Salcedo & Sampaio 1984).

Este fato, aliado ao elevado teor de água do solo e ao arraste do N com o fluxo de água para camadas situadas abaixo do ponto de amostragem da solução do solo determinaram valores mínimos de N mineral em solução (Fig. 2C). Apesar dessas baixas concentrações do N na solução, o volume de água drenado foi suficiente para provocar as maiores perdas de N do sistema durante o ciclo

da cana-planta, 13 e 15 kg N/ha nos tratamentos com aplicação única e parcelada, respectivamente.

Como a abundância de ^{15}N durante todo esse período estava com valores próximos da abundância natural, o N percolado não originou-se do N do fertilizante, provindo então da matéria orgânica do solo que mantinha seu poder de mineralização sem maiores alterações, apesar de já haver transferido grande quantidade de N para as plantas (Salcedo et al. 1985).

O quarto período foi seco, com a umidade do solo caindo continuamente, sem ocorrência de drenagem e conseqüentemente nenhuma perda de N por percolação. As concentrações de N tenderam a subir, não tendo sido determinados os valores para o final do período quando tornou-se difícil succionar a solução do solo.

Somando-se as perdas por lixiviação dos quatro períodos, ao longo de todo o ciclo da cana-planta, obtiveram-se 21 e 28 kg N/ha para os tratamentos com aplicação parcelada e única, respectivamente. As contribuições do N do fertilizante para essas perdas foram muito pequenas, atingindo menos de 1 kg N/ha (< 2% do N aplicado) no tratamento com aplicação única e valores insignificantes no tratamento com aplicações parceladas.

Baseados nas mudanças, com o tempo, das curvas de N mineral a diferentes profundidades do solo, Salcedo & Sampaio (1984) haviam feito estimativas de perdas por lixiviação, que consideraram conservadoras, no mesmo campo e época, em torno de 14 e 21 kg N/ha para os tratamentos com aplicação de fertilizantes parcelada e única, respectivamente. Os valores estimados pelos dois métodos, totalmente independentes, tem uma diferença de 7 kg/ha e aumentam a confiança numa avaliação de perda por lixiviação da ordem de 14 a 28 kg N/ha.

Perdas semelhantes (20 kg N/ha) foram indicadas para cana irrigada no Peru (Ruschel et al. 1982). Assim, em condições normais de adubação da cana-planta, como as deste trabalho, a absorção e a imobilização pareceu envolver a maior parte do N aplicado, isto acontecendo num curto período de tempo e limitando, dessa maneira, as perdas por lixiviação.

É possível que as perdas da cana-soca sejam maiores que as da cana-planta já que o intervalo

entre adubação e período de chuvas intensas é mais curto no primeiro caso. Estas perdas seriam maiores após fertilização nitrogenada em solos sem cobertura vegetal (Eira et al. 1968) ou quando as doses são maiores que a capacidade total de absorção das canas durante seu ciclo (Ayres & Hagihara 1968). Com doses menores (entre 50 e 100 kg/ha de N) as absorções geralmente oscilam entre 30% e 50% (Sampaio et al. 1984, Lima Júnior 1982, Takahaschi 1968, 1970) e a imobilização entre 40% e 50% (Lima Júnior 1982, Takahaschi 1968, 1970). Pelo menos 86% do N na planta proveniente do fertilizante foram absorvidos até a primeira amostragem, três meses após sua aplicação (Sampaio et al. 1984) e podem ter sido absorvidos em período mais curto, considerando que em *Vicia faba*, 70% a 80% foram absorvidos até uma semana após sua aplicação (De kuizzen & Verkerke 1984). A maior parte da imobilização na matéria orgânica pode ocorrer em menos de um mês após sua aplicação (Takahaschi 1967).

Se, por um lado, a absorção e a imobilização parecem esgotar o N mineral do fertilizante poucos meses após sua aplicação, por outro, o aparecimento de ^{15}N na solução do solo a 1,0 m de profundidade, cinco meses após sua aplicação e correspondendo a 8% do N total na solução, sugere que parte do N do fertilizante não havia sido ainda imobilizada ou estava em algum reservatório mais facilmente mineralizável que a maior parte do N da matéria orgânica.

CONCLUSÕES

1. As perdas totais por lixiviação, durante os 16 meses do ciclo da cana-planta, de outubro de 1981 a fevereiro de 1983, foram de 21 e 28 kg N/ha nos tratamentos com aplicação parcelada e única de 60 kg N/ha, respectivamente.

2. O período de maior perda correspondeu a estação chuvosa da região, de maio a setembro, quando foram drenados 300 mm de água, com as menores concentrações do N mineral de todo o ciclo, em torno de $5 \mu\text{gN/ml}$.

3. Menos de 1 kg N/ha do fertilizante foi lixiviado e quase todo no intervalo de um mês, março, no tratamento com aplicação única do fertilizante.

AGRADECIMENTOS

À Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA) e em especial à Unidade de Execução de Pesquisa de Itapirema pela cessão da área experimental. À Vilma Maria Silva, pelas análises de nitrogênio.

REFERÊNCIAS

- AYRES, A.S. & HAGIHARA, H.H. A lysimeter study of losses of nitrogen and potassium. *Hawaii Plant. Rec.*, 56:255-75, 1968.
- CAMPBELL, R.B. A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data. *Soil Sci.*, 117:311-4, 1974.
- CARNEIRO, C. & JONG, E. de. *In situ* determination of the slope of the calibration curve of a neutron probe using a volumetric technique. *Soil Sci.*, 139:250-4, 1985.
- CARNEIRO DA SILVA, C. & JONG, E. de. Comparison of two computer models for predicting soil water in a tropical monsoon climate. *Agric. For. Meteorol.*, 36:249-62, 1986.
- DEKUIJZEN, H.M. & VERKERKE, D.R. Uptake, distribution and redistribution of ^{15}N nitrogen by *Vicia faba* under field conditions. *Field Crops Res.*, 8:93-104, 1984.
- EIRA, P.A.; ALMEIDA, D.L.; ALVAHYDO, R. Movimento do íon nitrato, em solo da série Itaguaí, nas condições naturais de campo. *Pesq. agropec. bras. Sér. Agron.*, 3:267-73, 1968.
- GROHMAN, F. Distribuição em tamanho de poros em três tipos de solos do Estado de São Paulo. *Bragantia*, 19:319-28, 1960.
- HILLEL, D.; KRENTOS, V.D.; STYLIANOU, Y. Procedure and test of an internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics in situ. *Soil Sci.*, 114:395-400, 1972.
- INDUSTRIAL method no. 100-70w and 325-75w. Tarrytown, Technicon Industrial, 1973.
- LIMA JUNIOR, M.A. Nitrogen nutrition of sugarcane in N.E. Brazil. Saskatoon, University of Saskatchewan, 1982. 172p. Tese Ph.D.
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; VICTORIA, R.L.; VIEGAS, G.P. Dinamica do nitrogênio em solo cultivado com milho. *R. bras. Ci. Solo*, 3:17-20, 1979.
- RENNIE, D.A. & PAUL, E.A. Isotope methodology and techniques in soil plant nutrition and plant physiology. Saskatoon, University of Saskatchewan Press, 1971. 42p.
- RICHARDS, L.A. Physical condition of water in soil. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E.; CLARK, F.E., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1965, parte 1, p.128-52.

- RUSCHEL, A.P.; TAMAS, F.R.; AHMAD, N.; MENDOZA-PALACIOS, H.H.; VALDIVIAVEGA, R. Report of the work group on sugarcane. *Plant Soil*, 67:395-7, 1982.
- SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. II. Deslocamento vertical e horizontal de $\text{NO}_3\text{-N}$ e NH_4 no solo. *Pesq. agropec. bras.*, 19(9):1103-8, 1984.
- 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*, 9: 33-8, 1985.
- SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H.; BETTANY, J. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. I. Eficiência na utilização de uréia (^{15}N) em aplicação única ou parcelada. *Pesq. agropec. bras.*, 19(8): 943-9, 1984.
- TAKAHASCHI, D.T. Fate of ammonium and nitrate fertilizers in lysimeter studies with ^{15}N . *Hawaii. Plant. Rec.*, 56:1-12, 1968.
- TAKAHASCHI, D.T. Fate of applied fertilizer nitrogen as determined by the use of ^{15}N . I. Summer and fall plant ratoon crops on the Hamakua coast of Hawaii. *Hawaii. Plant. Rec.*, 57:237-66, 1967.
- TAKAHASCHI, D.T. Fate of unrecovered fertilizer nitrogen in lysimeter studies with ^{15}N . *Hawaii. Plant. Rec.*, 58:95-101, 1970.
- TIESSEN, H.; KARAMANOS, R.E.; STEWART, J.W.B.; SELLES, F. Natural nitrogen-15 abundance as an indicator of soil organic matter transformations in native and cultivated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:312-5, 1984.
- WOOD, R.A. The effect of time and application on the utilization of fertilizer nitrogen by plant cane. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.*, 2:1-12, 1974.