

# MOVIMENTO DE NUTRIENTES EM LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO<sup>1</sup>

JOSÉ FRANCISCO VALENTE MORAES<sup>2</sup>

**RESUMO** - Foram coletadas amostras da solução do solo, com cápsulas porosas, durante quinze semanas, nas profundidades de 20, 40, 60 e 80 cm, em cinco parcelas de um experimento que estuda os efeitos de calagem, adubação corretiva com fosfato, adubo verde e aplicação de uma mistura de micronutrientes e enxofre nas características químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico (LEd). De 1982 a 1985 foram cultivados feijão, trigo e arroz em sucessão, com três cultivos anuais. Todos os cultivos eram adubados no sulco com 300 kg/ha, da fórmula 5-30-15 (adubação de manutenção), mais adubação nitrogenada em cobertura. Os resultados mostraram que a lixiviação do cálcio, magnésio e potássio foi intensa, tendo alcançado em alguns tratamentos a profundidade de 80 cm. Entre os ânions, o nitrato foi o que mais se movimentou no solo e apresentou curvas semelhantes às da movimentação dos cátions, o que indica a sua participação como íon acompanhante. Nas parcelas com calcário, adubação corretiva com fosfato e adubo verde, a lixiviação dos cátions foi menor do que na parcela com adubação de manutenção.

Termos para indexação: solos de cerrado, cápsula porosa, solução, lixiviação, cátions e ânions, movimento de íons.

## MOVEMENT OF NUTRIENTS IN A DARK RED LATOSOL

**ABSTRACT** - Soil solution samples were collected with porous ceramic cup during fifteen weeks at 20, 40, 60 and 80 cm depths in five plots of an experiment on the effect of lime, corrective phosphate fertilization, green manure and the application of a mixture of micronutrients and sulfur, observing the chemical characteristics of a dystrophic dark red latosol (LEd). From 1982 to 1985 the experiment was carried out with cultures of beans, wheat and rice in three successive crops per year. All crops were fertilized, in the row, with 300 kg of the formula 5-30-15 per ha (maintenance) plus nitrogen fertilization in top dressing. The results showed that the leaching of calcium, magnesium and potassium was very intense up to the depth of 80 cm. Among the anions, nitrate showed the greatest movement into the soil profile and its leaching curves were very similar to those of the cations which indicates participation of nitrate as an accompanying ion. In the plots with lime, phosphate fertilizer and green manure, leaching of cations was diminished compared with the maintenance fertilization plots.

Index terms: cerrado soil, porous ceramic cup, soil solution, leaching, cations, anions.

## INTRODUÇÃO

Os solos de cerrados da Região Central do Brasil são altamente intemperizados e sua fração argila é constituída basicamente de caolinita e de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Possuem uma baixa fertilidade natural e

devido a isso o crescimento das raízes das plantas cultivadas é limitado, principalmente à camada superficial de 10 a 15 cm de espessura, mais rica em matéria orgânica e nutrientes. Diante disso, o suprimento de nutrientes não é adequado para a obtenção de boas colheitas e os riscos de deficiência hídrica são muito elevados. A concentração de nutrientes na solução dos solos tropicais é extremamente baixa se comparada com a dos solos das regiões temperadas. Nestes a concentração do cálcio varia entre 2,5 e 10,0 me/l (Altman & Dittmer

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 30 de outubro de 1990.

<sup>2</sup> Eng. - Agr., Ph.D., EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP), Caixa Postal 179, CEP 74000 Goiânia, GO, Brasil.

1966, citados por Bell & Gillman 1978), enquanto na solução do horizonte superficial dos solos tropicais, a concentração de cálcio, em geral é menor que 0,7 me/l, a de magnésio menor que 0,5 me/l e a de potássio menor que 0,4 me/l (Gonzalez-Erico 1976, Bell & Gillman 1978, Pavan 1983).

A pequena quantidade de minerais primários nesses solos não permite a reposição rápida da concentração de nutrientes na solução quando estes são absorvidos pelas plantas ou lixiviados.

As perdas por lixiviação dos nutrientes do solo e dos aplicados como fertilizante são muito altas e mesmo nos solos adubados podem ocorrer deficiências. Os ânions  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  e o  $\text{SO}_4^{2-}$ , são móveis no solo e suas perdas por lixiviação são importantes, principalmente a do nitrato. Em seu movimento através do solo os íons  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  carregam cálcio, magnésio, potássio, sódio e outros cátions presentes na solução do solo.

As perdas do nitrogênio mineral (principalmente  $\text{NO}_3^-$ ), nos solos drenados, são altas no período das chuvas (Watanabe & Padre Junior 1979), daí o parcelamento do nitrogênio em duas ou três aplicações. Os estudos sobre a dinâmica do N- $\text{NO}_3^-$ , entretanto, são muito escassos.

Neste trabalho são apresentadas as variações dos teores de nutrientes na solução do solo, extraída com cápsula de porcelana porosa durante quinze semanas, em parcelas cultivadas com arroz e guandu, de um experimento de longa duração, onde se estuda a influência de calagem, adubação corretiva com fosfato, adubação verde e de uma mistura de micronutrientes e enxofre nas características químicas e físico-químicas do solo e no crescimento e produção do arroz, trigo e milho, em cultivos sucessivos.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em outubro de 1982, em Latossolo Vermelho-Escuro distrófico (LEd) na sede do Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP), em Goianira, Goiás. Estava cons-

tituído de um fatorial completo  $2^4$ , com parcelas subdivididas, arranjadas em blocos ao acaso com quatro repetições. As parcelas continham os tratamentos de um fatorial completo  $2^2$ , composto dos cultivos iniciais, arroz (*Oryza sativa* L.) e guandu-anão (*Cajanus cajan* L.), o qual foi incorporado como adubo verde na época de máxima floração, e, de dois níveis (zero e um) de uma mistura de micronutrientes mais enxofre. As subparcelas estavam constituídas por dois níveis de calcário (zero e um) e dois níveis (zero e um) de adubação fosfatada corretiva, também em fatorial completo  $2^2$ .

O nível um de calcário foi estimado pelo método SMP para elevar o pH do solo a 6,5; a adubação corretiva fosfatada foi feita com 320 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$ /ha, tendo sido metade na forma de superfosfato triplo e metade como fosfato-de-Araxá.

O calcário, a mistura de micronutrientes + enxofre e a mistura de fosfatos da adubação fosfatada corretiva foram aplicados e incorporados ao solo com grade, antes do primeiro plantio.

Em novembro de 1982, foram plantados o guandu-anão e o arroz cv. Lebonnet, que faziam parte dos tratamentos principais. Ambas as espécies foram adubadas (adubação de manutenção) com 300 kg/ha da fórmula 5-30-15, na linha de semeadura. Aos 45 dias após a semeadura o arroz foi adubado com 60 kg de N/ha. Nas parcelas sem enxofre empregou-se a uréia e nas parcelas com enxofre o sulfato de amônio. O guandu não recebeu adubação nitrogenada em cobertura.

Depois da colheita do arroz e da incorporação do guandu-anão toda a área do experimento foi cultivada com feijão, trigo e arroz, em três cultivos anuais, tendo-se completado nove cultivos em outubro de 1985.

Todos os cultivos receberam a mesma adubação de manutenção (300 kg/ha da fórmula 5-30-15) no sulco. A adubação em cobertura consistiu de 45 kg de N/ha para o feijão, 60 kg de N/ha para o arroz e 90 kg de N/ha para o trigo. Usaram-se as mesmas fontes e nas mesmas condições descritas nos cultivos iniciais de arroz e de guandu-anão.

Em outubro de 1985 foram incorporados ao experimento tratamentos testemunha (T) e com metade da adubação de manutenção (1/2 M). Na mesma época foram refeitos os tratamentos com calagem e a mistura de micronutrientes + enxofre. As parcelas com adubo verde foram semeadas com guandu-anão, que foi incorporado ao solo na época de floração, e as demais, foram semeadas com arroz cv. Guarani.

A adubação de manutenção, por erro, foi de

200 kg/ha, da fórmula 5-30-15, tanto para o arroz quanto para o guandu-anão. O arroz, 45 dias após a semeadura, foi adubado com 40 kg de N/ha e 45 kg de  $K_2O$ /ha, pois observaram-se fortes sintomas de deficiência de potássio. O nitrogênio foi aplicado na forma de uréia ou sulfato de amônio, respectivamente, nas áreas sem e com enxofre, e o potássio, na forma de cloreto de potássio.

Dez dias depois da semeadura do arroz e do guandu-anão, foram instaladas cápsulas de porcelana porosa em subparcelas com os tratamentos testemunha (T), com metade da adubação de manutenção (1/2 M), com adubação de manutenção (M), com adubação de manutenção, correção com fosfato e calagem (MCCa), e do tratamento completo, com micronutrientes + enxofre, adubo verde, adubação de manutenção, correção com fosfato e calagem (AV MCCa). As cápsulas de porcelana porosa foram instaladas nas profundidades de 20, 40, 60 e 80 cm.

Amostras de solução do solo foram coletadas dez dias após a instalação das cápsulas e continuaram a ser coletadas semanalmente, por quinze semanas.

Na solução do solo foram determinados o pH, a condutividade elétrica (CE) e a concentração de cálcio, magnésio, potássio, bicarbonato, cloreto, nitrato e sulfato.

A condutividade elétrica foi medida com ponte salina e eletrodo de platina; o cálcio e o magnésio foram determinados por absorção atômica, e o potássio, por fotometria de chama. O sulfato foi analisado por turbidimetria, o nitrato por espectrofotometria em ultravioleta, o cloreto por titulação com nitrato de prata e o bicarbonato por titulação com ácido sulfúrico.

Três dias antes da coleta da solução as cápsulas porosas eram submetidas a sucção de 600 mb. Por ocasião da aplicação do vácuo e da coleta da solução, eram retiradas amostras de solo nas profundidades de 20, 40, 60 e 80 cm para se determinar a umidade.

Anualmente, antes do plantio das chuvas, eram coletadas amostras de solo para análise de rotina no laboratório do CNPAF, seguindo-se a metodologia descrita em EMBRAPA (1979).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido à uniformidade e semelhança dos resultados entre os tratamentos, somente serão apresentados e discutidos os dados das parcelas testemunha (T), manutenção (M) e manutenção, adubação fosfatada corretiva e calagem (MCCa).

Os dados da precipitação pluvial no período de outubro de 1985 a março de 1986 mostram que até a 3ª coleta da solução do solo a chuva foi pouca e irregular (Fig. 1), tendo sido necessário irrigar para se garantir a germinação das sementes e o crescimento inicial das plantas. Durante a coleta da solução, entretanto, a umidade do solo manteve-se acima de 18% (Fig. 2).

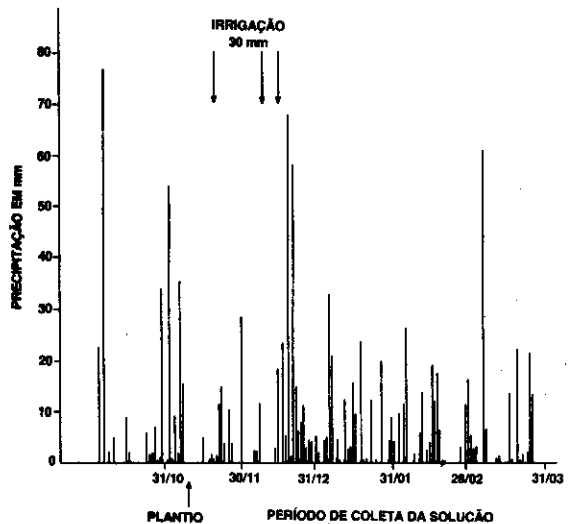


FIG. 1. Precipitação pluvial no período de outubro de 1985 a março de 1986.

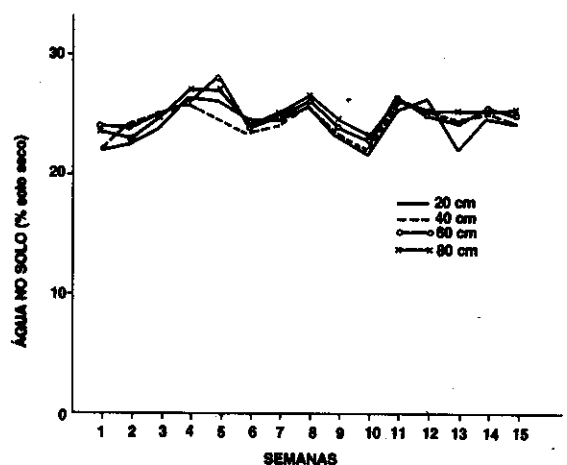


FIG. 2. Variação da umidade do solo durante o período de coleta das soluções. Médias de duas amostragens.

### pH da solução

O pH inicial da solução do solo, que em todas as parcelas situava-se entre 6 e 7, diminuiu acentuadamente até valores entre 5,1 e 5,3 na 5ª semana e manteve-se estável até a 9ª semana quando voltou a aumentar até valores compreendidos entre 5,5 e 6,0 (Fig. 3).

A diminuição do pH da solução do solo nas primeiras semanas deve ser atribuída à produção de ácidos orgânicos, nítrico e sulfúrico, provenientes da decomposição da matéria orgânica e da lixiviação das bases trocáveis com água das chuvas. Alexander (1977) relata que ocorre um aumento substancial da decomposição da matéria orgânica pela atividade microbiana com o início das chuvas, depois de um período de seca.

A variação nos valores do pH estão de acordo com as observações de Black (1968) de que o pH dos solos nos Estados Unidos diminuiu de 7,8 para próximo de 5,0 com o aumento da precipitação pluvial de 400 para 1.000 mm anuais.

Após o período de máxima atividade biológica a contínua lavagem dos sais solúveis fez com que o pH da solução do solo aumentasse.

A movimentação dos eletrólitos em profundidade, no perfil do solo, explica a variação

no tempo em atingir os valores mínimos de pH da solução, nas várias profundidades. Explica também o aumento mais rápido nos valores de pH das soluções coletadas após a 8ª semana, na profundidade de 20 cm.

### Cálcio

A concentração de cálcio na solução do solo da parcela (M), que era de pouco mais de 1,0 me/l nas primeiras semanas, diminuiu rapidamente entre a 3ª e a 6ª semana, alcançando valores próximos de 0,2 me/l (Fig. 4). Quase simultaneamente à diminuição da concentração na camada superficial, detectou-se um aumento pronunciado nas profundidades de 40, 60, e até 80 cm.

Na parcela testemunha a concentração do cálcio na solução do solo da camada de 0-20 cm, que era de 1,1 me/l, diminuiu rapidamente até valores próximos a 0,1 me/l, mas não se observou aumento correspondente nas camadas inferiores.

Pode-se inferir que sem adubação de manutenção a quantidade de ânions não era suficientemente alta para promover o aumento do cálcio em profundidade. Neste caso, a diminuição do cálcio na camada superficial deve ser atribuída à absorção pelas plantas.

A concentração inicial do cálcio na solução da camada superficial do tratamento MCCa, era bem maior do que nos tratamentos anteriores e diminuiu mais lentamente (Fig. 4), o que indica liberação do cálcio para a solução do solo por tempo mais longo.

Observa-se também que o aumento da concentração do cálcio nas camadas subsuperficiais do tratamento MCCa, principalmente a 60 cm de profundidade, foi mais lento que no tratamento (M) e o cálcio não alcançou a profundidade de 80 cm. O aumento da capacidade de troca de cátions, devido aos aumentos do pH do solo e da concentração salina da solução nesse tratamento, conforme é indicado por Rajj & Peech (1972), deve ter sido a causa do menor movimento do cálcio.

Observou-se em todos os tratamentos que a reserva de cálcio no solo não permitiu a repo-

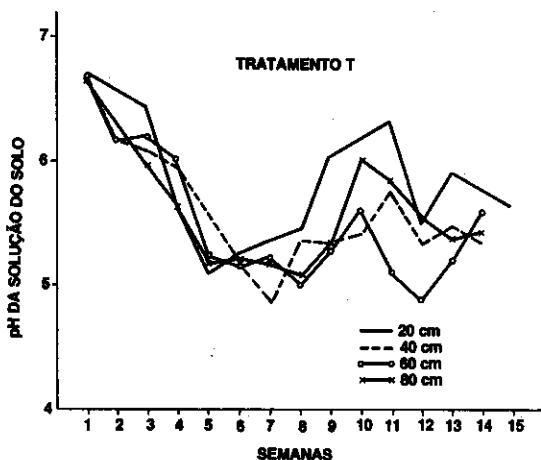
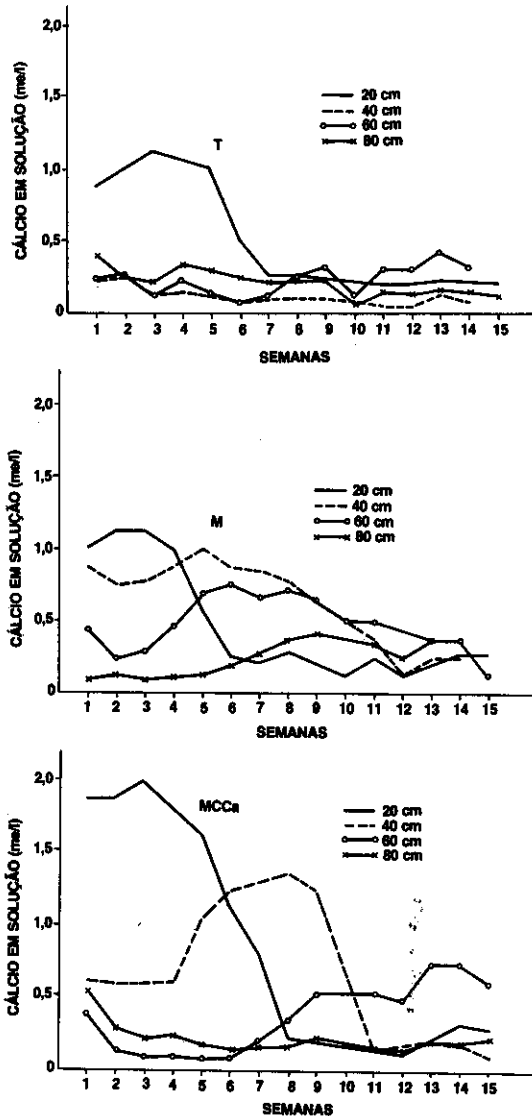


FIG. 3. pH da solução do solo extraída em quatro profundidades na parcela testemunha (T).

sição imediata do cálcio absorvido pelas plantas e lixiviado, e que a sua concentração na solução do solo da camada superficial pode cair a níveis inadequados para o crescimento das plantas.

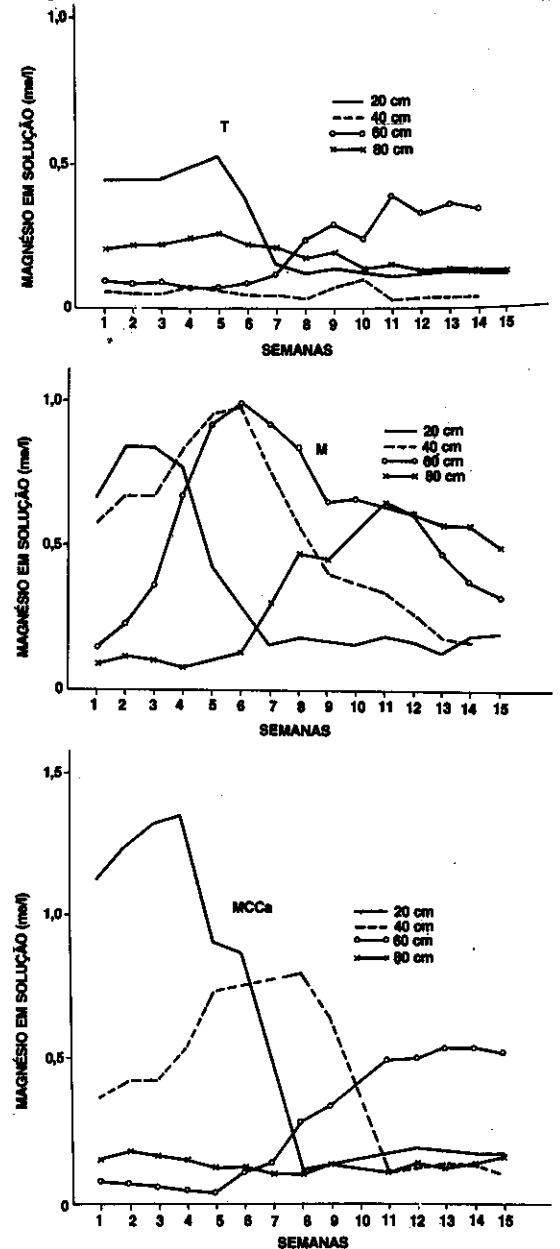
**Magnésio**

As curvas do magnésio na solução do solo



**FIG. 4.** Concentração de cálcio na solução do solo, em quatro profundidades. T = testemunha; M = manutenção; MCCa = manutenção, correção com fósforo, calagem.

são muito semelhantes às do cálcio e caracterizam o movimento acentuado deste nutriente no solo (Fig. 5). Observa-se, entretanto, que o magnésio é mais móvel e se movimenta a



**FIG. 5.** Concentração de magnésio na solução do solo em quatro profundidades. T = testemunha; M = manutenção; MCCa = manutenção, correção com fósforo, calagem.

maiores profundidades do que o cálcio. Mesmo na parcela testemunha (T) com 0,5 me de Mg/l, a 20 cm de profundidade, percebe-se que a concentração de magnésio em solução, na profundidade de 60 cm, aumentou desde menos de 0,1 me/l até quase 0,4 me/l.

Na parcela com adubação de manutenção (M) a variação na concentração do magnésio na solução do solo foi seqüencial e alcançou todas as profundidades. Mesmo na profundidade de 80 cm observou-se que, depois de alcançar um máximo, a concentração do magnésio diminuiu a partir da 11ª semana, indicando que a lixiviação foi além daquela profundidade, fora, portanto, do alcance das raízes da maioria das plantas cultivadas.

No tratamento com calagem (MCCa), a lixiviação do magnésio não passou dos 60 cm, muito embora a sua movimentação tenha sido muito forte até aquela profundidade, pois a concentração passou de menos de 0,1 me/l para mais de 0,5 me/l. Observa-se que a diminuição da concentração de magnésio em uma profundidade é acompanhada do aumento na concentração da camada subjacente.

Ao contrário da testemunha, a menor movimentação do magnésio no tratamento MCCa não foi devida à baixa quantidade do nutriente no solo, mas possivelmente ao aumento da sua adsorção na superfície dos colóides, pelo aumento das cargas negativas, como foi indicado para o cálcio.

Observou-se no tratamento MCCa, que a variação na concentração do magnésio em solução foi mais lenta e que, por isso, manteve-se mais alta e por tempo longo do que na parcela que recebeu apenas adubação de manutenção (M).

### Potássio

As curvas do potássio em solução (Fig. 6) seguem as mesmas tendências observadas para cálcio e magnésio (Fig. 4 e 5), embora seus teores sejam menores, o que está de acordo com as quantidades relativas dos nutrientes no solo.

Na parcela testemunha (T) a concentração inicial do potássio que era de 0,15 a 0,25 me/l

diminuiu a partir da 4ª semana até valores menores que 0,1 me/l, considerados insuficientes para o crescimento das plantas. Na profundidade de 60 cm observou-se aumento na concentração do potássio que deve estar associado à lixiviação do mesmo das camadas superior-

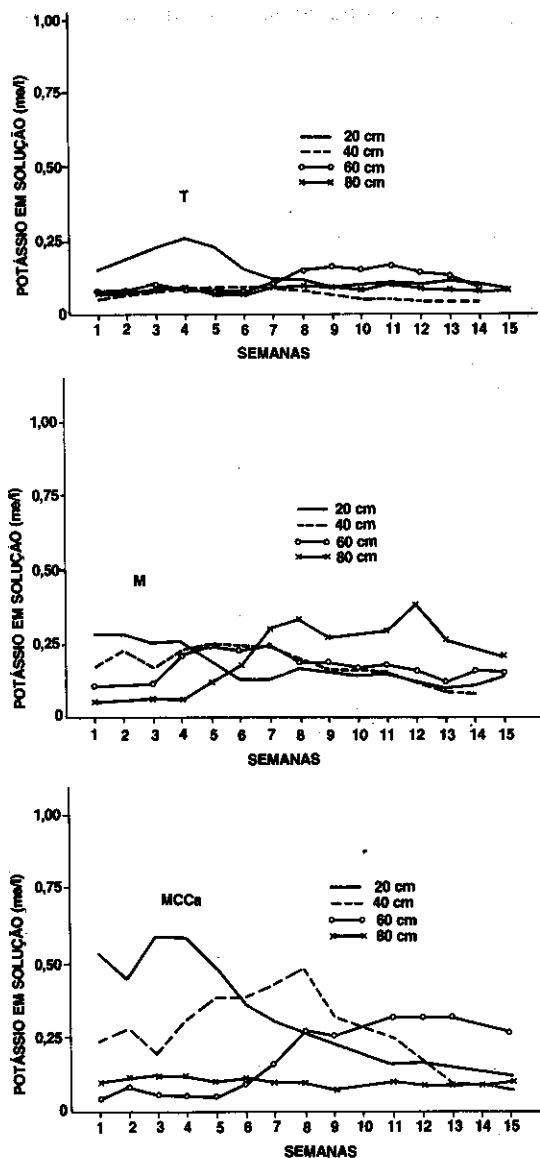


FIG. 6. Concentração de potássio na solução do solo em quatro profundidades. T = Testemunha; M = manutenção; MCCa = manutenção, correção com fosfato, calagem.

res, embora não se tenha registrado aumento apreciável na sua concentração na profundidade de 40 cm.

A lixiviação do potássio foi muito intensa no tratamento M, tendo o nutriente alcançado a profundidade de 80 cm, onde sua concentração passou de menos de 0,05 me/l, registrados nas quatro semanas iniciais, para cerca de 0,35 me/l, entre a 7ª e a 12ª semana, quando voltou a diminuir. A diminuição da concentração do potássio em solução na profundidade de 80 cm, a partir da 12ª semana, indica que este nutriente, à semelhança do magnésio, foi lixiviado para camadas mais profundas. As curvas do potássio nas profundidades de 40 e 60 cm indicam que o movimento foi bastante rápido, pois em sete semanas já havia ultrapassado aquelas camadas.

Na camada superficial do tratamento MCCa a concentração inicial do potássio era maior que 0,5 me/l mas diminuiu lentamente, atingindo concentração de cerca de 0,2 me/l na 11ª semana. Ao mesmo tempo, aumentava a concentração de 0,25 para 0,50 me/l a 40 cm. À diminuição do potássio nesta camada seguiu-se o aumento a 60 cm de profundidade de 0,05 me/l para mais de 0,30 me/l. Não foi determinada variação na concentração do potássio em solução na profundidade de 80 cm.

A menor movimentação do potássio em profundidade, no solo corrigido (MCCa), comparativamente ao tratamento com adubação de manutenção (M), é atribuída, em parte, ao aumento da capacidade de intercâmbio catiônico devido ao aumento do pH do solo, e, conseqüentemente, à maior retenção do nutriente, como foi citado no caso do cálcio e do magnésio. As análises de K em amostras de solo coletadas em outubro de 1985, antes do 9º cultivo (Tabela 1), são ilustrativas da maior retenção do potássio nas camadas superficiais do solo corrigido. Em relação à testemunha, observa-se um aumento do potássio extraído em profundidade na parcela com adubação de manutenção (M), enquanto no tratamento MCCa

**TABELA 1. Teor de potássio no solo, a diferentes profundidades, nos tratamentos T, M e MCCa.**

Profundidade (cm)	K em ppm <sup>1</sup>		
	Tratamentos <sup>2</sup>		
	T	M	MCCa
0 - 20	42	45	64
20 - 40	31	47	51
40 - 60	20	44	37
60 - 80	30	33	33

<sup>1</sup> Extrator de Melich.

<sup>2</sup> T = testemunha, M = manutenção, C = correção com fosfato, Ca = calcário.

o potássio extraído aumenta principalmente nas camadas superficiais (0-40 cm) e muito pouco nas camadas entre 40 e 80 cm.

#### Comparação entre soma de cátions e condutividade elétrica

A soma dos cátions cálcio, magnésio e potássio na solução do solo dos tratamentos em estudo é mostrada na Fig. 7, e a condutividade elétrica das soluções, na Fig. 8. Observa-se semelhança das curvas nas duas figuras o que está de acordo com o grau de dependência entre tais parâmetros. A relação entre a soma de cátions (Ca + Mg + K) e a condutividade elétrica é apresentada na Tabela 2.

As curvas da condutividade elétrica da solução do solo Latossolo Vermelho-Escuro dos cerrados do Brasil podem representar com muita aproximação a concentração em cátions e o seu movimento através do perfil. A concentração dos cátions (Ca + Mg + K), em me/l, pode ser estimada pela última equação da Tabela 2, multiplicando a condutividade elétrica em mmho/cm por 6,8.

Soma de cátions na solução do solo (me/l) = CE (mmho/cm) x 6,8.

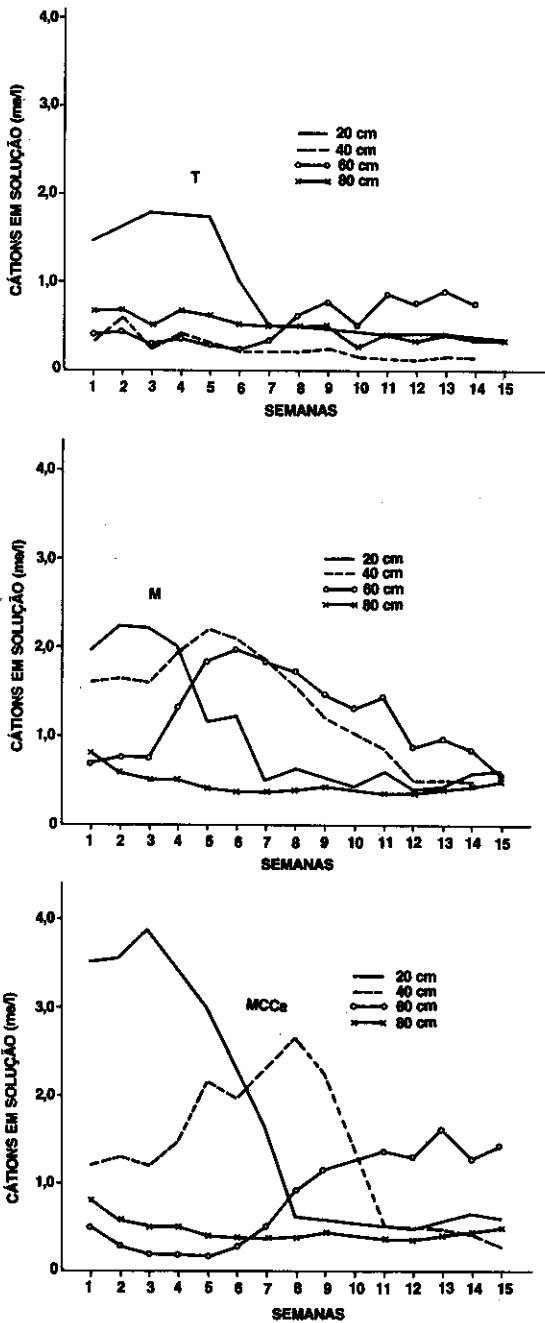


FIG. 7. Concentração de cátions (Ca+Mg+K) na solução do solo em quatro profundidades. T = testemunha; M = manutenção; MCCa = manutenção, correção com fosfato, calagem.

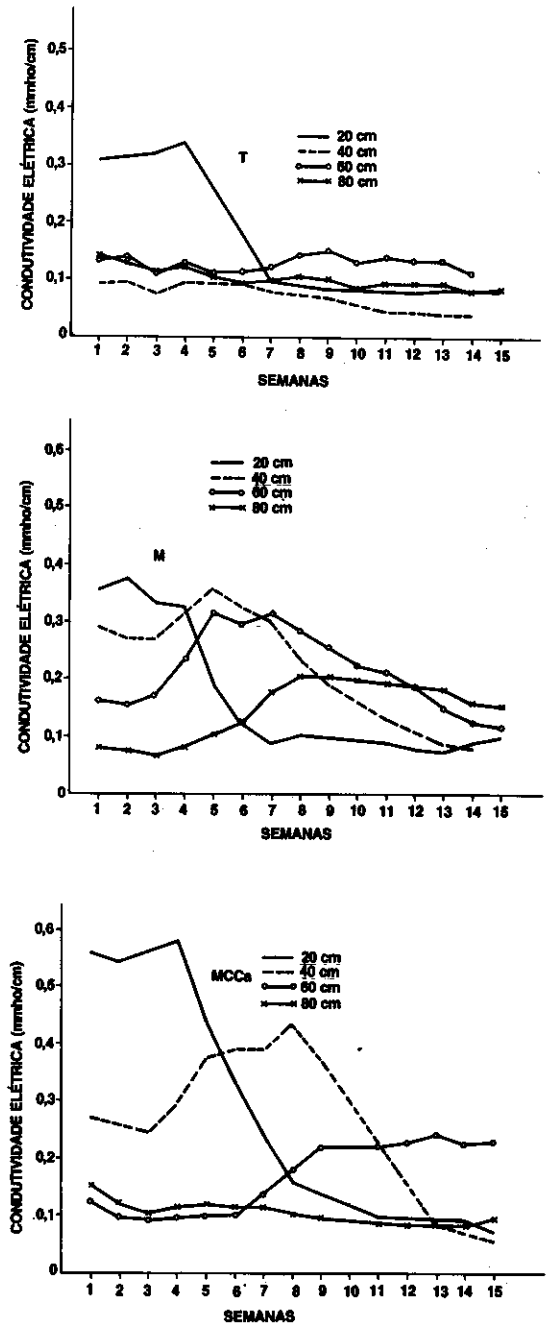


FIG. 8. Condutividade elétrica na solução do solo em quatro profundidades. T = testemunha; M = manutenção; MCCa = manutenção, correção com fosfato, calagem.



**TABELA 2.** Relações entre a soma de cátions (Ca + Mg + K) em me/l e a condutividade elétrica (mmho/cm) da solução do solo nos tratamentos T, M e MCCa.

Tratamento	Equação <sup>a</sup>	r <sup>2</sup>
T	Cátions = - 0,182 + 6,281 CE	0,882***
M	Cátions = - 0,071 + 6,326 CE	0,946***
MCCa	Cátions = - 0,314 + 7,008 CE	0,956***
Total <sup>b</sup>	Cátions = - 0,218 + 6,765 CE	0,947***

<sup>a</sup> Considerando-se as quatro profundidades.

<sup>b</sup> Considerando-se os três tratamentos e as quatro profundidades.

\*\*\* Teste de t significativo a P < 0,001.

### Nitrato

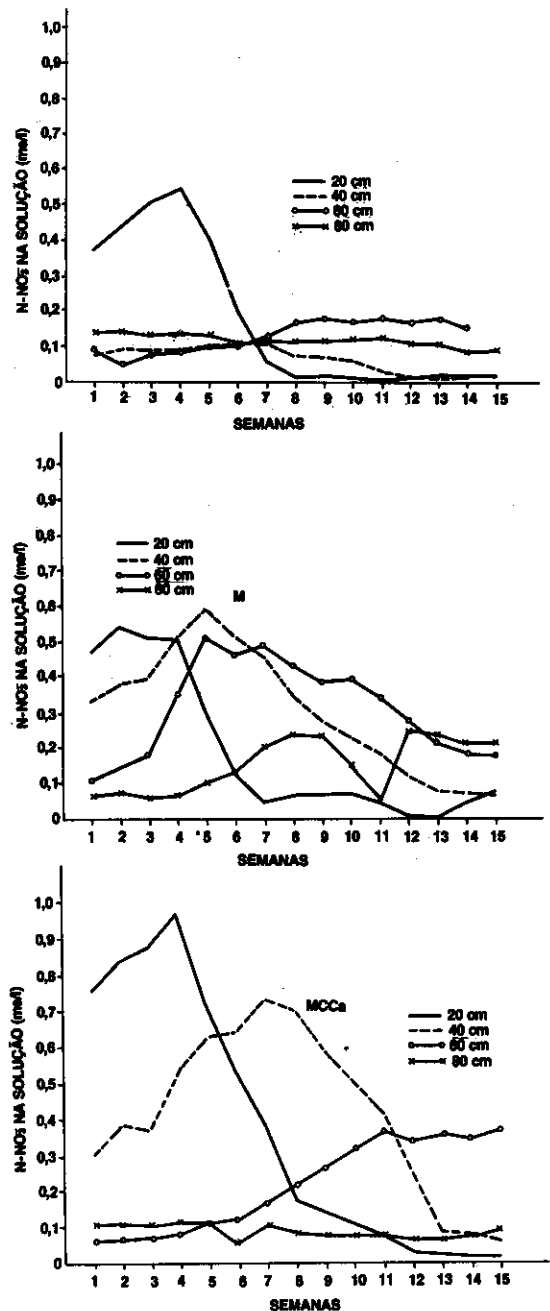
O nitrato foi, entre os ânions, o que mostrou maior movimentação no solo. As curvas do N - NO<sub>3</sub> na solução do solo dos tratamentos T, M e MCCa (Fig. 9) mostram muita semelhança com as curvas dos cátions em solução, principalmente as do cálcio (Fig. 4) e do magnésio (Fig. 5), e indicam que o nitrato teve participação importante na movimentação daqueles nutrientes no solo. As correlações entre a soma de cátions (Ca + Mg + K) e o N-NO<sub>3</sub> em solução, (Tabela 3) suportam esta hipótese.

As equações da Tabela 3 indicam que o N-NO<sub>3</sub> participou como ion acompanhante da movimentação de 26,0 a 28,1% dos cátions (Ca + Mg + K).

### Cloreto

A concentração de cloretos na solução do solo de todos os tratamentos foi muito baixa (da ordem de 0,03 a 0,06 me/l) e não mostrou variação durante o período de amostragem que indicasse a sua importância como ânion acompanhante na movimentação dos cátions (Fig. 10).

Além da pequena quantidade de cloretos na solução do solo, deve-se considerar a sua rápida movimentação nos solos e a possibilidade



**FIG. 9.** Concentração de N-NO<sub>3</sub> na solução do solo coletado em quatro profundidades. T = testemunha; M = manutenção; MCCa = manutenção, correção com fosfato, calagem.

**TABELA 3. Correlação entre a soma de cátions (Ca + Mg + K) e o N-NO<sub>3</sub> em solução dos tratamentos T, M e MCCa.**

Tratamento	Equação <sup>a</sup>	r <sup>2</sup>
T	Cátions = 0,095 + 3,607 N-NO <sub>3</sub>	0,870***
M	Cátions = 0,248 + 3,483 N-NO <sub>3</sub>	0,946***
MCCa	Cátions = 0,057 + 3,850 N-NO <sub>3</sub>	0,930***
Total <sup>b</sup>	Cátions = 0,115 + 3,756 N-NO <sub>3</sub>	0,920***

<sup>a</sup> Considerando-se as quatro profundidades.

<sup>b</sup> Considerando-se os três tratamentos nas quatro profundidades.

\*\*\* Teste de t significativo a P < 0,001.

de ter-se lixiviado além da profundidade de amostragem.

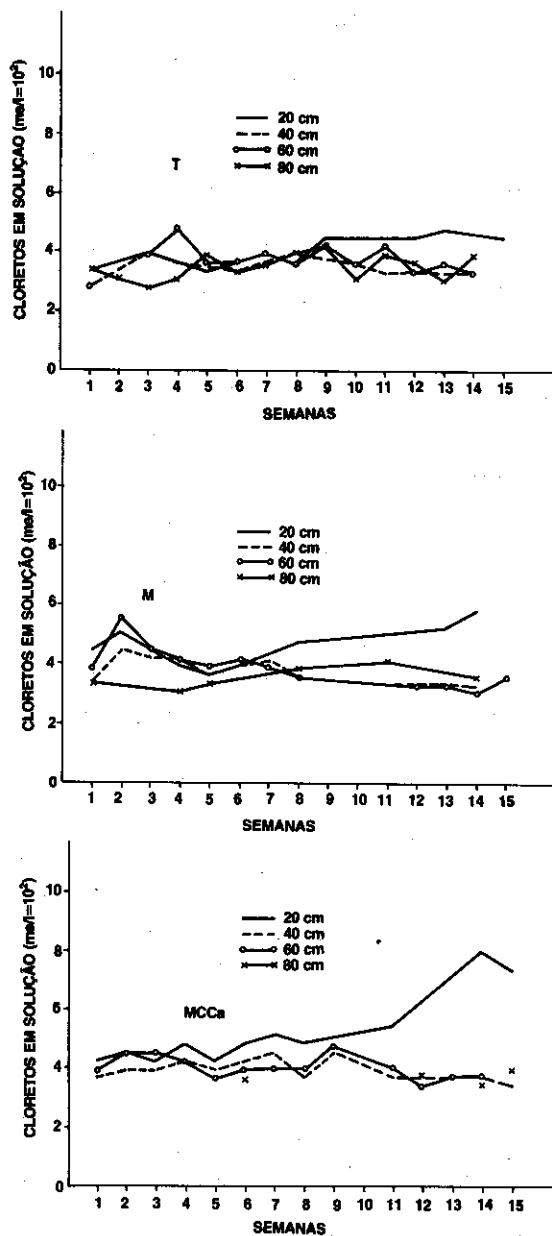
O aumento da concentração na camada superficial a partir da 8ª semana é atribuído à solubilização do adubo aplicado em cobertura (45 kg de K<sub>2</sub>O/ha na forma de KCl), juntamente com o nitrogênio.

### Sulfatos

Na profundidade de 20 cm a concentração do sulfato em solução variou entre 0,20 e 0,40 me/l. Após uma pequena diminuição nas primeiras semanas a concentração do S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> aumentou até valores próximos a 1,0 me/l nos três tratamentos (Fig. 11). Como não se aplicou enxofre em nenhum dos tratamentos (T, M, MCCa), admite-se que o aumento do S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> na solução do solo da camada de 0-20 cm é resultante da decomposição da matéria orgânica do solo. Os dados estão de acordo com a informação de Vitti (1986) de que 88,0% do S nos solos tropicais está na forma orgânica.

Nas demais profundidades a concentração do S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> em solução que era de cerca de 0,2 me/l diminuiu nas primeiras três ou quatro semanas até valores menores que 0,1 me/l. Apenas no tratamento MCCa observou-se aumento na concentração de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> na profundidade de 40 cm, o que pode estar associado à maior quantidade de cátions solúveis (Ca<sup>2+</sup>,

Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup>) e também ao aumento das cargas negativas pela calagem e adubação fosfatada. Neste tratamento, o sulfato deve ter participa-



**FIG. 10. Concentração de cloretos na solução do solo coletado em quatro profundidades. T = testemunha; M = manutenção; MCCa = manutenção, correção com fosfato, calagem.**

do, portanto, da lixiviação dos cátions solúveis do solo, principalmente do  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ .

Nos tratamentos T e M, não se deve descartar a adsorção do  $\text{S-SO}_4^{2-}$  nas camadas sub-

superficiais, o que não permitiria que o enxofre solúvel aumentasse na camada de 20-40cm, como ocorreu no tratamento MCCa.

### Soma de Ânions

O total dos ânions determinados nas amostras de solução do solo era bem menor do que a soma de cátions. Os dados da Tabela 4 mostram que o fator de multiplicação da condutividade elétrica (CE), para determinar o total de ânions em solução, variou entre 2,346 no tratamento testemunha e 1,565 no tratamento MCCa, com a média de 2,045. Estes valores são bem menores que os determinados pelas equações de regressão entre a soma de cátions e a condutividade elétrica.

Os valores de  $r^2$ , mesmo com elevada significância, são bem menores do que os determinados nas relações entre os cátions e a condutividade elétrica, o que mostra maior dispersão dos dados.

A soma de ânions  $\text{NO}_3^- + \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$  (o  $\text{HCO}_3^-$  mostrou valores baixos e constantes em torno de 0,20 me/l) na solução do solo de todas as parcelas foi de cerca de 35-40% da soma de cátions ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$ ) o que indica que outros compostos não analisados tiveram participação importante na lixiviação dos nutrientes.

### Aproveitamento dos nutrientes

O movimento dos cátions e ânions para as camadas mais profundas do solo, fora do al-

TABELA 4. Relação entre os ânions (me/l) e a condutividade elétrica (mmho/cm) das soluções do solo, extraídas nos tratamentos T, M e MCCa.

Tratamento	Equação <sup>a</sup>	$r^2$
T	ânions = 0,206 + 2,346 CE	0,284***
M	ânions = 0,178 + 2,235 CE	0,627***
MCCa	ânions = 0,330 + 1,565 CE	0,206***
Total <sup>b</sup>	ânions = 0,233 + 2,045 CE	0,440***

<sup>a</sup> Considerando-se as quatro profundidades.

<sup>b</sup> Considerando-se os três tratamentos e quatro profundidades.

\*\*\* Teste de t significativo a  $P < 0,001$ .

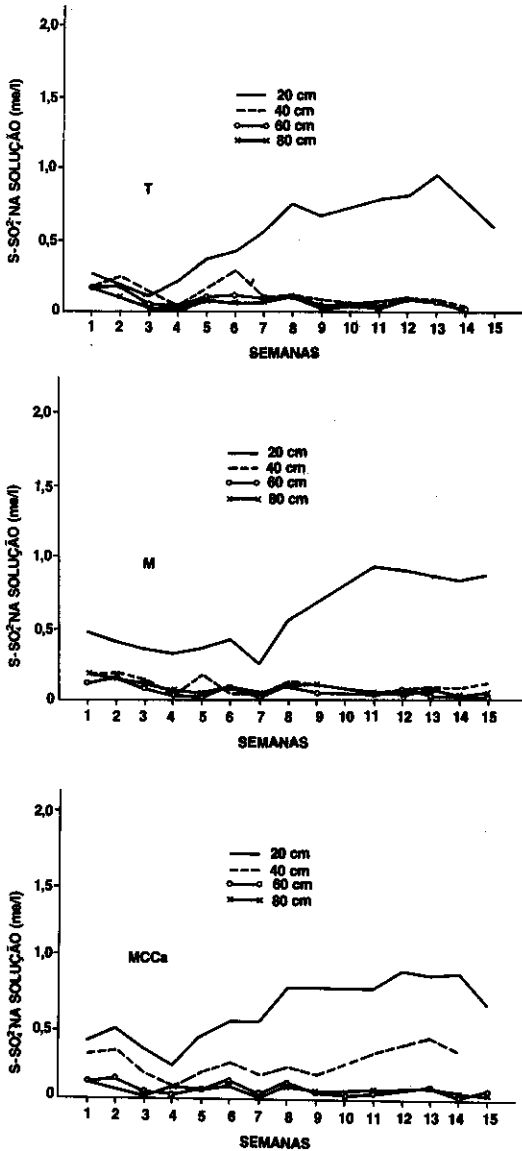


FIG. 11. Concentração de  $\text{S-SO}_4^{2-}$  na solução do solo coletado em quatro profundidades. T = testemunha; M = manutenção; MCCa = manutenção, correção com fosfato, calagem.

cance das raízes das plantas cultivadas, diminui o seu aproveitamento. Foram observadas deficiências de nitrogênio e potássio no arroz cultivado no período das chuvas e no trigo plantado na época seca com irrigação por aspersão; no feijoeiro, observou-se apenas a deficiência de nitrogênio. Na Fig. 12 são mostradas as concentrações de nitrato e potássio solúveis em água, em profundidade, em três períodos de crescimento do arroz. A concentração de nitrato na camada de 0-20 cm diminuiu de 11,0 ppm para cerca de 1,0 ppm de solo entre a 3ª e 11ª semana de coleta de solução. No mesmo período, a concentração de potássio solúvel diminuiu de 5,5 ppm para 1,6 ppm. Simultaneamente aumentaram as concentrações de nitrato e de potássio nas camadas de 20-40 e 40-60 cm.

A deficiência de potássio tem levado a aplicações complementares em cobertura, juntamente com o nitrogênio.

O aproveitamento dos nutrientes pode ser aumentado se as características químicas do solo são melhoradas, e eliminam-se quaisquer impedimentos físicos ao crescimento das raízes em profundidade. Além de aumentar o volume de solo explorado, o aprofundamento das raízes permite a absorção da água e dos nutrientes lixiviados, melhorando o estado nutricional das plantas e aumentando sua tolerância e períodos curtos de seca.

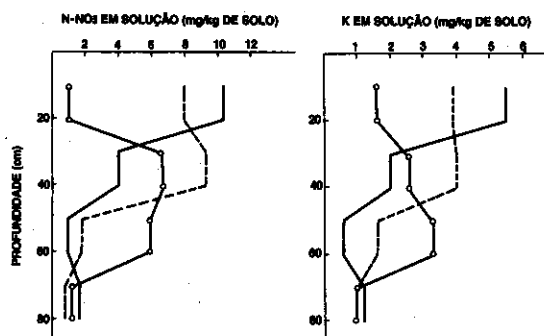


FIG. 12. Distribuição de  $N-NO_3$  e do K em solução coletada em quatro profundidades, na terceira (—), sétima (-----) e décima primeira (o—o) semanas, na parcela com adubação de manutenção.

## CONCLUSÕES

1. Os resultados das análises químicas e físico-químicas da solução do solo, extraído com cápsulas de porcelana porosa, mostram que no LEd estudado a lixiviação dos nutrientes é muito intensa e que sua reposição é muito lenta.

2. Com a calagem, devido ao aumento das cargas negativas do solo, a sorção dos cátions na superfície das argilas diminui a quantidade dos nutrientes catiônicos em solução, e em consequência, a lixiviação.

3. O cálcio, magnésio e potássio intercambiáveis permanecem disponíveis para as plantas.

4. Com os ânions a situação é inversa, pois, o aumento das cargas negativas aumenta sua lixiviação.

5. Entre os ânions o nitrato foi o que mostrou maior mobilidade no solo; os outros ( $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ), talvez pela baixa concentração em solução, não se mostraram importantes na movimentação dos cátions no solo ou participaram de reações de adsorção e precipitação, principalmente o sulfato, o que determinou o déficit de ânions em relação à quantidade de cátions em solução.

## AGRADECIMENTOS

Ao Dr. José Flávio Dynia pelas críticas e sugestões a este trabalho.

Ao Dr. Christian Pieri, Sub-Diretor de Recursos Naturais do CIRAD/IRAT, Montpellier - França, pelo fornecimento das cápsulas de porcelana porosa e da bomba de vácuo, usadas na coleta da solução do solo, e pelas sugestões sobre o trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, M. *Introduction to soil microbiology*. 2. ed. New York: J. Wiley, 1977. 472p.

- BELL, L.C.; GILLMAN, G.P. Surface charge characteristics and soil solution composition of highly weathered soils. In: ANDREW, C.S.; KAMPRATH, E.J. (ed.) **Mineral Nutrition of Legumes in Tropical and Subtropical Soils**. Australia: CSIRO, 1978. p.37-57.
- BLACK, C.A. **Soil - Plant relationships**. New York: John Wiley & Sons, 1968. 792p.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**, [S.l.: s.n.], 1979.
- GONZALEZ-ERICO, E. **Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn in oxisols of Central Brazil**. Raleigh: North Caroline State University, 1976. 126p. Tese Ph.D.
- PAVAN, M.A. Ação dos corretivos e fertilizantes na dinâmica de íons do solo. In: CURSO de Atualização em Fertilidade do Solo. Londrina: IAPAR, 1983. p.47-63.
- RAIJ, V.B. & PEECH, M. Electrochemical properties of some oxisols and alfisols of the tropics. **Soil Science Society of America Journal**, v.36, p.587-593, 1972.
- VITTI, G.C. O enxofre na agricultura: Situação, perspectivas e sugestões. In: SILVA, M. de C., (coord.). **Seminário fósforo, cálcio, magnésio, enxofre e micronutrientes**; Situação atual e perspectivas na agricultura. São Paulo: Manah, 1986. p.98-110.
- WATANABE, I.; PADRE JUNIOR, B.C. Inorganic nitrogen in tropical soils. II. The fate of ammonium fertilizer in well and poorly drained soils in the rainy season. **Soil Science and Plant Nutrition**. v.25, n.4, p.627-635, 1979.