PERDAS DE NITROGÊNIO POR LIXIVIAÇÃO: EFEITOS DA URÉIA COBERTA COM ENXOFRE

JOSÉ CARLOS CHITOLINA
ENGENHEIRO-AGRÔNOMO

Orientador: Prof. Dr. Nadir Almeida da Glória

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura «Luiz de Queiroz», da Universidade
de São Paulo, para obtenção do título de
Mestre em Solos e Nutrição de Plantas.

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

Setembro, 1978

A meus pais

A Emília, minha esposa, Cláudia
e Solange, minhas filhas, pelas
horas de carinho perdidas,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Nadir Almeida da Glória pela orientação segura, dedicação e paciência dispensadas na execução do trabalho e pela amizade demonstrada.

- Ao Prof. Eurípedes Malavolta pela colaboração no plano de pesquisa que resultou no presente trabalho, bem como pela doação de parte de uréia coberta com enxofre.

- Ao Prof. José Carlos Alcarde pelo apoio e incentivo.

- Ao Tennessee Valley Authority (EUA) pela doação de uréia coberta com enxofre.

- A Profa. Martha Maria Mischon pela análise estatística, auxílio na interpretação dos resultados e amizade.

- Ao Prof. Henrique Bergamin Filho e aos Engenheiros Agrônomos Elias Aires Guidetti Zagatto e Francisco José Krug por ter-nos permitido trabalhar no Laboratório de Radioquímica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, bem como pela orientação na parte analítica.

- A Engenheira Química Maria Fernanda Giné, ao Engenheiro Agrônomo Boaventura Freire dos Reis e aos Laboratoristas Iolanda Aparecida Rufini, Maria Ângela Foltran e Renato de Oliveira Diniz pela valiosa colaboração nas análises e despreendimento demonstrado.

- Aos Colegas Lázaro Moscardini D'Assunção e Antonia Tavares do Amaral pelo incentivo constante assumindo maior parte das atividades docentes.

- Ao Prof. Antonio Enedi Boaretto pelas suges
tões apresentadas e leitura do texto.

- Ao Prof. Norberto da Silva pelo auxílio na in
terpretação dos resultados estatísticos.

- Ao Prof. Roque Tamburini Junior pela versão pa
ra o inglês do resumo.

- Aos Colegas Celso Augusto Fessel Graner, Assis
Vicente Benedetti e Massao Ionashiro pelo apoio constante e
amizade.

- Aos Colegas do Departamento de Bioquímica do
Instituto Básico de Biologia Médica e Agrícola da UNESP pelo
apoio e incentivo durante o Curso de Pós-Graduação.

- Ao Prof. José Luiz Guimarães de Souza pela lo
calização dos solos.

- A Escola Superior de Agricultura "Luiz de Quei
roz" e Instituto Básico de Biologia Médica e Agrícola do Cam
pus de Botucatu pela oportunidade oferecida.

- Aos Srs. Waldomiro Florentino da Silva, Sergio
Jarbas Morelli e Braulio Bis, funcionários do Departamento de
Bioquímica do I.B.B.M.A., pela inestimável colaboração.

- A Sra. Deise Joana Scolastico Cecilio pelo ser
viço de datilografia e ao Sr. Adalberto Francisco dos Santos
pela confecção dos desenhos.

- E a todos que, de algum modo, contribuíram po
sitivamente com este trabalho.

ÍNDICE

	<u>página</u>
1. RESUMO	1
2. INTRODUÇÃO	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	6
3.1. Formas de nitrogênio no solo	6
3.2. Imobilização e mineralização do nitrogênio no solo	7
3.3. Influência do pH na nitrificação	7
3.4. Processos de perdas de nitrogênio no solo	9
3.4.1. Perdas de nitrogênio por lixiviação	9
3.5. Técnicas usadas para reduzir as perdas de nitro gênio	16
3.6. Fertilizantes cobertos	17
3.6.1. Uréia coberta com enxofre (SCU)	19
4. MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1. Materiais	27
4.1.1. Solos	27
4.1.2. Fertilizantes	27
4.1.3. Tubos percoladores	31
4.2. Métodos	31
4.2.1. Tratamentos	31
4.2.2. pH dos solos	31
4.2.3. Preparo dos solos e colocação nos tubos percoladores	32
4.2.4. Determinação da capacidade de campo	34
4.2.5. Delineamento estatístico	35
4.2.6. Amostragem e armazenamento do lixiviado.	35

4.2.7. Análise do lixiviado	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1. Influência dos tipos e doses de uréia sobre a lixiviação do N, em diferentes solos	38
5.2. Influência do pH sobre a lixiviação do N prove niente de dois tipos de uréia aplicados em duas doses em diferentes tipos de solos	47
6. CONCLUSÕES	76
7. SUMMARY	78
8. LITERATURA CITADA	80

1. RESUMO

O presente trabalho teve por objetivos comparar as perdas por lixiviação do nitrogênio ($\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$) proveniente de uréia coberta com enxofre (SCU) e uréia não coberta e verificar o efeito do pH nessas perdas, em solos Latossol Roxo (LR), Latossol Vermelho Escuro, fase arenosa (LVE) e Latossol Vermelho Amarelo, fase arenosa (LVA), que ocorrem sob vegetação de cerrado no Estado de São Paulo.

Para tal os solos foram colocados em colunas de tubos plásticos, protegidos na parte inferior por uma tela de náilon, até atingir a altura de 40 cm, sendo a uréia adicionada nos 10 cm do topo da coluna. Cada solo recebeu duas doses de uréia (60 e 120 kg N/ha), superfosfato triplo e cloreto de potássio, sendo mantidos em dois valores de pH, ou sejam, pH original do solo, tal como foi colhido no campo, e pH corrigido para o valor 6,5 através da adição de CaCO_3 .

Empregou-se o delineamento em blocos, esquema fa
torial.

A amostragem foi feita mensalmente, durante seis meses, através da colocação de água suficiente para que os so
los atingissem a capacidade de campo e fossem coletadas as a
mostras de lixiviado, nas quais determinou-se o $N(NH_4^+ + N-NO_3^-)$.

As seguintes conclusões puderam ser obtidas:

a) A uréia coberta com enxofre (SCU) reduziu as perdas de nitrogênio, através do processo de lixiviação, em comparação à uréia não coberta, para os três tipos de solos es
tudados.

b) A uréia coberta com enxofre (SCU) apresentou tendência de lenta liberação de nitrogênio, para os três tipos de solos estudados.

c) A influência do pH foi variável, dependendo do tipo de solo.

d) O pH não influenciou nas perdas de nitrogênio quando se utilizou a uréia coberta com enxofre (SCU) isolada
mente, razão pela qual se conclui que não houve influência do mesmo na liberação do nitrogênio retido no grânulo de SCU, pa
ra os três tipos de solos estudados.

e) Há necessidade de que nos estudos com uréia coberta com enxofre sejam devidamente considerados as épocas de maior necessidade do nitrogênio no ciclo da cultura e o efeito residual deste nos ciclos ou culturas posteriores.

2. INTRODUÇÃO

O nitrogênio é um dos elementos essenciais para as plantas, sendo componente de aminoácidos, proteínas, amidas, imidas, nucleosídeos, nucleotídeos, ácidos nucleicos, fosfolipídeos e outros (MALAVOLTA, 1976).

Nos solos encontra-se, geralmente, cerca de 98% do elemento em forma orgânica e 2% em forma mineral. Dessas, a planta absorve, predominantemente, o nitrogênio mineral, que se encontra nas formas nítrica e amoniacal, sendo absorvido, em proporção mais elevada, o nitrogênio nítrico.

Os solos, de modo geral, contêm quantidades de nitrogênio que seriam suficientes para as plantas cultivadas. Entretanto, ocorre que o elemento se encontra, em sua quase totalidade, normalmente em formas não assimiláveis para as plantas.

Assim, a adubação nitrogenada torna-se importanta

te numa cultura, para se obterem boas produções. Todavia, o nitrogênio no solo está sujeito a vários processos de perdas, o que pode comprometer a economicidade da adubação nitrogenada, principalmente considerando-se o custo do adubo, que está cada vez mais elevado devido à crise provocada pelo petróleo.

Os mecanismos de perda do nitrogênio no solo estao bem estabelecidos e, do ponto de vista agronômico, consideram-se três processos de perdas como sendo de significância prática: perdas por lixiviação, desnitrificação e volatilização.

A lixiviação de nutrientes constitui-se num dos mais comuns problemas de fertilidade em agricultura tropical. Dos macronutrientes, o nitrogênio na forma nítrica é o mais susceptível às perdas por lixiviação. Numa revisão de literatura de regiões temperadas, **ALLISON** (1966) concluiu que a lixiviação constitui comumente o principal mecanismo de perda de nitrogênio, como nitrato, em solos.

O reconhecimento desses problemas tem estimulado o interesse da indústria de fertilizantes na modificação química ou física dos fertilizantes nitrogenados convencionais com os objetivos de minimizar as perdas as quais o nitrogênio é submetido, bem como a liberação de uma quantidade adequada de nitrogênio disponível, numa proporção ligeiramente em excesso à demanda do crescimento da planta. Esses objetivos podem ser conseguidos pelo uso de compostos químicos que são lentamente solúveis na solução do solo ou pela aplicação de membranas semipermeáveis que cobrem as partículas de fertilizantes solúveis em água.

Estudos realizados pelo Tennessee Valley Authority, nos Estados Unidos, indicaram o enxofre como sendo um excelente material de cobertura para os fertilizantes solúveis em água, particularmente uréia, o que resultou no desenvolvimento de um processo econômico e tecnicamente praticável. A cobertura dos grânulos de uréia com enxofre pode proporcionar um efetivo controle na liberação do nitrogênio dos fertilizantes a custo relativamente baixo (RINDT, 1968).

Considerando os solos sob vegetação de cerrado, que ocupam uma extensa área do Brasil, sabe-se que são pobres em matéria orgânica e, portanto, presumivelmente carentes de nitrogênio. Como esses solos são ácidos, necessitam de calagem, o que acarreta aumento do pH, favorecendo a nitrificação e acelerando as perdas de N por lixiviação.

Dessa forma, torna-se importante evitar, tanto quanto possível, as perdas de nitrogênio do solo que ocorrem através da água percolada. Como a uréia coberta com enxofre é apontada como uma possibilidade de reduzir consideravelmente as perdas a que o nitrogênio é submetido é que levou a proposição deste trabalho, cujos principais objetivos são:

a) Comparar a lixiviação do nitrogênio proveniente da uréia coberta ou não com enxofre, em diferentes tipos de solos.

b) Verificar o efeito do pH nas perdas por lixiviação do nitrogênio proveniente da uréia coberta ou não com enxofre.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Formas de nitrogênio no solo

Na maioria dos solos minerais, aproximadamente 90 a 98% do nitrogênio é de natureza orgânica (SARAVIA, 1970).

O nitrogênio orgânico do solo ocorre principalmente na forma de aminoácidos, amino-açúcares e bases nitrogenadas (MELO, 1974; MALAVOLTA, 1976).

Do nitrogênio total do solo presente nas camadas superficiais, cerca de 20 a 40% é composto por aminoácidos, 5 a 10% por amino-açúcares e, aproximadamente, 1% por bases nitrogenadas, ocorrendo ainda compostos nitrogenados orgânicos como trimetilamina, colina, histamina e asparagina (BREMNER, 1967; STEVENSON, 1969).

Com relação ao nitrogênio mineral considera - se

que, nos horizontes superficiais de solos minerais, raramente alcança 8 a 10% do nitrogênio total do solo, sendo constituída por amônio solúvel, trocável e fixado, nitrito e nitrato.

Com exceção do amônio fixado, o nitrogênio mineral do solo é solúvel em água e pode sofrer translocação por difusão ou ser arrastado pelo movimento da água para as camadas mais profundas do solo (HARMSEN e KOLENBRANDER, 1965).

3.2. Imobilização e mineralização do nitrogênio no solo

As formas orgânica e mineral do nitrogênio do solo podem ser transformadas uma na outra pelos processos de imobilização e mineralização.

Na imobilização os vegetais e microrganismos transformam o NH_4^+ e NO_3^- em compostos orgânicos. Na mineralização a decomposição microbiana da matéria orgânica leva de novo o nitrogênio orgânico à forma mineral, liberando o nitrogênio amoniacal dos esqueletos carbônicos. Em seguida, a amônia é oxidada a nitrato, pela ação de bactérias, sendo esse processo chamado nitrificação (MALAVOLTA, 1967).

3.3. Influência do pH na nitrificação

A experiência mostra existir correlação significativa entre pH e nitrificação (MORRIL e DAWSON, 1967; DANCER et alii, 1973; MALAVOLTA, 1976 e WELCH e ADAMS, 1976). Nos solos ácidos diminui o número de organismos nitrificadores e, por isso, a nitrificação se dá mais lentamente. A velocidade

da nitrificação diminui para pH abaixo de 6,0 e se torna desprezível em pH menor do que 4,0 ou 5,0. Por causa disso a calagem, em geral, aumenta a nitrificação nos solos ácidos (Camargo, Echegary e Baldovinos, citados por MALAVOLTA, 1976).

Estudando a mineralização do N para numerosos solos da Inglaterra, CORNFIELD (1952, 1959) encontrou que o acúmulo de NO_3^- ocorre mais rapidamente em solos com pH maior ou igual a 6,5. Muitos solos ácidos acumularam mais NH_4^+ que NO_3^- sugerindo que esses solos continham poucas bactérias nitrificadoras em comparação com solos neutros ou alcalinos. A adição de CaCO_3 aumentou a quantidade de N mineral liberado dos solos ácidos durante a incubação, mas tinham pouca ou nenhuma influência nos solos neutros ou alcalinos.

DANCER et alii (1973), em experimento de incubação, mostraram que o pH do solo afeta a nitrificação. Cem ppm de N-NH_4^+ , colocado no solo na forma de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, foi nitrificado em 15 dias para o pH 6,6, enquanto, para o mesmo período, 15, 65, 80 e 95% do N-NH_4^+ adicionado foi nitrificado em pH 4,7; 5,3; 6,0 e 6,3. Altas porcentagens de N-NH_4^+ indicavam um menor número de bactérias nitrificadoras em valores de pH baixos quando comparados aos valores altos.

KIEHL e COBRA NETTO (1976), estudando a nitrificação da amônia em alguns solos com textura variando de arenosa a argilosa, encontraram que valores de pH 4,3 e 4,6 pareciam muito baixos para o processo de nitrificação na maioria dos solos estudados, sendo que o solo argiloso apresentou a maior capacidade de nitrificação.

3.4. Processos de perdas de nitrogênio no solo

Os processos de perdas de nitrogênio estão bem estabelecidos e, do ponto de vista agrônomo, consideram-se três processos como sendo de significância prática: a) lixiviação em solos descobertos e em áreas de precipitação elevada ou irrigação intensiva (DE e DIGAR, 1954; RANEY, 1960; JOHNSTON et alii, 1965); b) volatilização, tal como amônia, que se perde pela aplicação de uréia em superfície e também de alguns fertilizantes contendo amônia (VOLK, 1959; ACQUAYE e CUNNINGHAM, 1965). Essas perdas também ocorrem em solos submersos e alguns pesquisadores encontraram-se valores mais altos em condições de solos submersos que em solos aerados (BLASCO e CORNFIELD, 1966); c) desnitrificação através de mecanismos químicos e biológicos, principalmente em solos submersos (BREMNER e SHAW, 1958; PATRICK e WYATT, 1964 e MACRAE et alii, 1968).

3.4.1. Perdas de nitrogênio por lixiviação

A perda de nutrientes por lixiviação é um dos mais comuns problemas de fertilidade em agricultura tropical. A lixiviação ocorre mais rapidamente em solos de textura grossieira, arenosa ou com altos teores de óxidos hidratados de ferro e alumínio. Tais solos têm baixa capacidade de troca de cátions e baixa capacidade de reter bases. A lixiviação é aumentada também por um excesso de chuva sobre a evapotranspiração que ocorre, geralmente, na estação das chuvas. Os sistemas de irrigação manejados com deficiência também contribuem de maneira significativa para as perdas por lixiviação (ALLISON, -

1955). Porém, essas perdas de N são menores em solos cultivados devido à assimilação direta do nitrato pelas culturas e porque a evapotranspiração reduz a quantidade de água no solo (WETSELAAR, 1961).

Phillips, citado por WETSELAAR (1962), mostrou que 95% das raízes de sorgo granífero estão restritas à profundidade de 40 cm, para alguns solos da Austrália. Consequentemente, perdas substanciais de nitrato podem ocorrer por lixiviação próxima à zona das raízes, o que provavelmente pode ser confirmado pelo trabalho de ENDELMAN et alii (1974), que estudaram o movimento de NO_3^- em áreas de irrigação intensiva, verificando que o N-NO_3^- era rapidamente lixiviado para longe das raízes.

Os fatores mais importantes que afetam as perdas por lixiviação de N são: taxa de nitrificação, quantidade de chuva, textura do solo, capacidade de retenção de água e a cultura que cresce sobre o solo (THOMPSON, 1957).

A susceptibilidade à lixiviação está também relacionada ao movimento do nutriente. Dos macronutrientes, o nitrogênio na forma de nitrato é geralmente mais susceptível às perdas por lixiviação, com o potássio sendo intermediário e o fósforo o menos susceptível. Numa revisão de literatura de regiões temperadas, ALLISON (1966), concluiu que a lixiviação constitui comumente o principal processo de perda de nitrogênio, como nitrato, em solos.

Em condições tropicais, WETSELAAR (1962) encontrou uma alta correlação entre o movimento de nitrato e chuvas em solos da Austrália. Em função das chuvas pode haver mo

vimentação no sentido vertical das diferentes formas nitrogenadas. Observou um movimento para o N-NO_3^- de cerca de 2,7 cm/cm de precipitação em solo argiloso, com essa relação sendo maior em solo arenoso. Sob esse aspecto é muito importante o poder de embebição do solo, pois quanto maior for tal valor, menor será a perda por lixiviação para uma mesma precipitação (COOKE e CUNNINGHAM, 1957).

Soubiés, Gader e Maury, citados por MELO (1974), encontraram que, em solo arenoso, a movimentação do nitrogênio para baixo é cerca de 45 cm/100 mm de precipitação, sendo cerca de 20 cm para solo argiloso.

O N-NH_4^+ pode ser firmemente adsorvido pelos colóides do solo, mas uma pequena percolação pode ocorrer devido à troca com outros catiônios (SMITH, 1952). Porém, o fenômeno da adsorção do NH_4^+ impede o caminhar desse íon além de 5 a 7,5 cm do ponto de aplicação (Joffe, citado por MALAVOLTA, 1967). Entretanto, o amônio é rapidamente nitrificado na maioria dos solos, particularmente em solos tropicais (PARISH et alii, 1965).

Comumente, 50 a 75% do fertilizante nitrogenado aplicado é recuperado pelas plantas (JACOBSON et alii, 1948; ABNOLD, 1954; WAGNER e SMITH, 1958). Os 25 a 50% remanescentes são perdidos pelo solo através de lixiviação ou volatilização. O custo para suprir o N para compensar as perdas é substancial em áreas onde as culturas requerem altas doses de N e as perdas são acentuadas pelas condições climáticas (HEILMAN et alii, 1966).

Allison, citado por OERTLI e LUNT (1962), encon

trou, para solos arenosos, que em áreas de 100 a 125 cm de precipitação, a eficiência na recuperação pelas plantas do N aplicado não excedeu 20 a 30%.

Bizzel, citado por ALLISON (1955), em experimentos com lisímetros durante 15 anos, encontrou que somente um pouco mais que a metade do nitrogênio disponível do solo foi recuperado através das culturas. Cerca da metade do N remanescente foi encontrado no lixiviado. Usando-se $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ e NaNO_3 como fertilizantes e considerando-se o teor total de N que o solo possuía, ou seja, o N proveniente da chuva, do fertilizante e do próprio solo, as perdas de N por lixiviação foram de 23% para ambos os fertilizantes.

Já ALLISON (1955), também trabalhando com lisímetros durante 10 anos em solos muito arenosos onde foi cultivado tabaco, verificou que as perdas de N por lixiviação variaram de 14 a 83%, considerando-se como N total o proveniente da chuva, do fertilizante e do solo.

Em experimentos com lisímetros, usando uréia marcada e não marcada, TESKE e MATZEL (1976) constataram que o teor médio de N no percolado estava na faixa de 8,8 a 16,7 kg N/ha anualmente, com 11,5 a 15% do N lixiviado originando - se do fertilizante (1,5 a 2,1% do N aplicado).

WALLACE e SMITH (1954) observaram que quando nitrato foi adicionado na superfície de uma coluna de 2 pés de um solo franco na capacidade de campo, aproximadamente 25 cm de água eram necessários para lixiviar 50% do N adicionado na coluna e 40 cm para remover 98% do N.

Em colunas de solos franco-argilosos ácidos, com

calagem e sem calagem, MORAKUL e EL-HAMID (1975) compararam uréia, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ e $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, aplicados na dose 60 kg N/acre. Aplicou-se um total de água equivalente a 350 mm de chuva num período de 3 meses. As perdas de N por lixiviação foram principalmente na forma de N-NO_3^- para todos os tratamentos, com $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ mostrando a maior perda e uréia a menor. Houve maior perda de N por lixiviação nos solos que sofreram calagem.

MONTAGNE e ISOBE (1970) conduziram um experimento para determinar a taxa de movimento de N afetada pela quantidade de água aplicada. Colocaram KNO_3 e uréia separadamente sobre a superfície de colunas de solo de 30 cm, nas quantidades 22,6, 45,3 e 90,6 kg N/acre, sendo a água aplicada imediatamente após a colocação do fertilizante ou após 2 a 3 semanas. Verificaram que quase todo NO_3^- , proveniente do KNO_3 , moveu-se através da coluna de solo após aplicação de 22,5 a 37,5 cm de água. Com aplicação do N como uréia, 40% a 65% do N moveu-se através da coluna de solo, porém no último caso, a lixiviação necessitava de 112 cm de água. Isto sugere que em cana planta é mais efetivo o uso de uréia quando há bastante chuva do que KNO_3 .

As perdas de N por lixiviação também devem ser influenciadas pelas doses de fertilizantes. TERMAN e ALLEN (1970) observaram um aumento nestas perdas com o aumento das doses utilizadas, considerando-se a uréia coberta com enxofre, uréia comum e nitrato de amônio.

Com relação à uréia, CARPENA et alii (1966) encontraram que a taxa de hidrólise da uréia, resultando em NH_4^+ , foi diretamente proporcional à quantidade de uréia aplicada, para solos barrento, barro arenoso e arenoso.

Com relação aos trabalhos sobre a variação e a mobilidade do nitrogênio no solo desenvolvidos no Brasil, de vem ser citados os trabalhos de VERDADE (1951), KUPPER et alii (1953), EIRA et alii (1968) e LEAL e ALVAHYDO (1971).

O trabalho desenvolvido por VERDADE (1951) em Terra Roxa Misturada, durante o período de dois anos, mostrou que, de um modo geral, para as condições tropicais, os nitratos aumentam nas épocas quentes e chuvosas e diminuem nas épocas de frio, quando a precipitação pluviométrica também se reduz ou é nula. No início da época das chuvas, existem no solo temperatura e umidades satisfatórias à nitrificação; sendo adequada as demais condições, esse processo se desenvolve com intensidade, possibilitando o acúmulo de nitratos. Quando as precipitações atingem valores mais elevados, pode ocorrer declínio no teor de nitratos, não por inibição do processo de sua formação, mas pelo seu arrastamento em profundidades pelas águas de percolação.

A diminuição no teor de nitrato por lixiviação poderá ser mais ou menos acentuada, dependendo das características do solo, particularmente aquelas relacionadas a sua estrutura e textura, mostrado no trabalho de KUPPER et alii (1953). Estes autores estudaram o movimento dos íons nitrato e amônio em solos Massapé, Terra Roxa Misturada e Arenito Bauru, conduzido em lisímetros, mantendo-se a estrutura natural dos solos. Adicionaram sulfato de amônio e salitre do Chile a estes solos e, decorridos dois, quatro e seis meses, avaliaram estas formas de nitrogênio no perfil e na água de percolação. Aos dois meses no solo Arenito Bauru o íon nitrato aparecia 20% na profundidade de 30-45 cm e 80% no percolado; aos

quatro e seis meses o íon nitrato foi encontrado 100% no percolado. No solo Massapé, aos dois meses, o íon nitrato apresentava a seguinte distribuição: 50% na camada de 0-15 cm, 30% na camada de 15-30 cm, 15% na camada de 30-45 cm e 5% no percolado; aos quatro meses aparecia 50% na camada de 30-45 cm e 50% no percolado; aos seis meses 20% concentrava-se na camada de 30-45 cm e 80% no percolado. No solo Terra Roxa Misturada, aos dois meses o íon nitrato apresentava-se assim distribuído: 70% na camada de 0-15 cm, 20% na camada de 15-30 cm e 10% na camada de 30-45 cm; aos quatro meses aparecia 30% na camada de 30-45 cm e 70% no percolado; aos seis meses o íon nitrato foi encontrado 100% no percolado.

No mesmo trabalho, os autores observaram, com relação ao íon amônio, que no Arenito Bauru, aos dois meses quase todo o amônio já havia sido nitrificado, sendo que aos seis meses a nitrificação tinha sido completa. No solo Massapé o íon amônio quase mal se moveu, sendo que após os seis meses se concentrava na camada de 15-45 cm e a maior parte havia sido nitrificada. Na Terra Roxa Misturada o íon amônio, aos quatro meses já havia sido quase todo nitrificado e, aos seis meses, a nitrificação foi total.

LEAL e ALVAHYDO (1971), estudando o movimento do íon amônio e sua transformação em solos arenosos (série Itaguaí-Rio de Janeiro), sob condições de campo e usando parcelas adubadas com 700 kg de sulfato de amônio/ha e não adubadas, encontraram que a perda de nitrogênio ocorreu na forma de íon nitrato e que o N-NH_4^+ atingiu uma profundidade máxima de 14 cm, sendo essa forma totalmente nitrificada em dois meses e o efeito residual do sulfato de amônio usado foi de 4,5 meses.

O movimento e as perdas do íon nitrato também foram estudados por EIRA et alii (1968). Estes autores trabalhando com solos da série Itaguaí, adubado com nitrato de sódio e sem adubação, encontraram que, para os solos não adubados, os teores de N-NO_3^- variaram de 5 a 18 ppm, para uma profundidade de até 28 cm. No solo adubado, após 145 mm de chuva (cerca de 30 dias), havia o desaparecimento do N-NO_3^- adicionado, considerando-se a profundidade de 28 cm.

3.5. Técnicas usadas para reduzir as perdas de nitrogênio

As perdas de N aplicado podem ser reduzidas por uma colocação apropriada, época certa de aplicação e fertilização foliar. As práticas adotadas variam bastante com o solo, cultura, clima, irrigação, fonte e dose de nitrogênio.

Perdas tais como a volatilização da amônia resultante da aplicação em superfície de uréia ou fertilizantes contendo amônio, podem ser evitadas pela incorporação dos mesmos no solo, a uma profundidade e umidade apropriadas (PATRICK e PETERSON, 1967; ALEKSIC et alii, 1968 e BROADBENT e MIKKELSEN, 1968).

A aplicação de N em época adequada é também importante. Aliada a essa técnica encontra-se a prática do parcelamento de aplicação, com o objetivo de fornecer o nitrogênio em dosagens fracionadas, coincidindo com os estágios de maior crescimento das plantas. A aplicação fracionada é recomendada para a maioria das culturas, tanto de regiões temperadas como tropicais.

Uma alternativa à aplicação no solo é a ferti

lização foliar de uréia, reduzindo bastante as perdas de N, pois a uréia é absorvida rapidamente pelas plantas, sendo que uma grande parte penetra dentro de duas horas e o restante em dois dias (FREIBERG e PAYNE, 1957 e IMPEY e JONES, 1960).

As perdas por lixiviação e desnitrificação do nitrogênio ocorrem principalmente quando o fertilizante nitrogenado é aplicado ou após sua conversão à forma de nitrato. Iniibição ou retardamento da nitrificação do N aplicado como amônio podem reduzir as perdas e aumentar a eficiência da utilização do N (PRASAD et alii, 1971).

Uma tentativa dos agrônomos e tecnologistas de fertilizantes visa o desenvolvimento de fertilizantes de liberação lenta de nitrogênio. Nesse sentido objetiva-se desenvolver materiais fertilizantes que, em solução, liberam pequenas quantidades de N no decorrer do tempo e em proporção ligeiramente em excesso à demanda do crescimento das plantas. Isso pode ser conseguido pelo uso de compostos químicos que são lentamente solúveis na solução do solo ou pela aplicação de membranas semipermeáveis ou ainda materiais inertes que cobrem as partículas de fertilizantes solúveis. Ambos os caminhos têm produzido alguns materiais de utilidade promissora (PARR, 1967).

3.6. Fertilizantes cobertos

A cobertura de fertilizantes tem sido objeto de estudo de muitas organizações de pesquisa, particularmente nos Estados Unidos, principalmente através do Tennessee Valley Authority (TVA).

As coberturas, em geral, podem ser de três tipos,

cada qual com um mecanismo de liberação de nutriente:

a) uma membrana semipermeável que permite a entrada de água na partícula coberta, liberando o fertilizante na solução do solo, por quebra da cobertura, quando a pressão osmótica é suficiente; b) uma membrana sólida impermeável que deve dissolver-se por ação microbiana ou intemperismo, antes que o nutriente possa ser liberado para o meio ambiente das raízes e c) uma membrana impermeável com poros finos, de modo a permitir a difusão dos nutrientes para o solo, vagarosamente. Nos mecanismos a e b, às vezes a cobertura é quebrada e a liberação do fertilizante é completa. O terceiro mecanismo é interessante com respeito à lenta liberação do fertilizante. Nesse processo, como a água entra através de pequeníssimos poros, a solução nutriente passa para o solo. Com esse tipo de cobertura, a velocidade de liberação de nutrientes tende ser independente do pH, atividade microbiana e outros fatores ambientais (ARMY, 1963 e PRASAD et alii, 1971).

Alguns materiais de cobertura como polímeros naturais ou sintéticos, graxas, resinas e óleos foram e estão sendo testados, porém os custos desses materiais têm limitado a produção comercial e, dessa forma, os fertilizantes cobertos não são de uso geral. Atualmente, a maioria dos estudos são sobre o uso de enxofre para cobrir os fertilizantes solúveis em água (RINDT et alii, 1968; ALLEN et alii, 1971; McCLELLAN e SCHEIB, 1973 e McCLELLAN e SCHEIB, 1975).

O enxofre é considerado um promissor agente de cobertura por várias razões: é barato quando comparado com polímeros tais como polietileno, poliuretano ou resinas naturais; é facilmente manuseado no estado fundido e ainda pode ter um

efeito residual nos solos (RINDT et alii, 1968).

* Com relação aos fertilizantes nitrogenados para cobertura, o TVA selecionou a uréia como sendo o mais atrativo composto nitrogenado devido ao custo, disponibilidade comercial e alto teor de nutriente (McCLELLAN e SCHEIB, 1975).

Nos Estados Unidos os fertilizantes cobertos são correntemente recomendados e comercializados para algumas culturas. Entretanto, com a pesquisa contínua e melhoramento na tecnologia do fertilizante, tende haver uma diversificação na sua utilização (PARR, 1967).

3.6.1. Uréia coberta com enxofre (SCU)

A pesquisa do TVA sobre a cobertura dos grânulos de uréia com enxofre começou em 1957 (HUFFMAN et alii, 1975) e, em virtude das vantagens que esse tipo de cobertura apresentou, desenvolveu e tem desenvolvido um processo de cobertura dos grânulos de uréia através de uma planta piloto que atinge uma produção de 135 kg/h. Presentemente, o processo está sendo desenvolvido em escala mais ampla, através de uma planta piloto com capacidade de 1 t/h (McCLELLAN e SCHEIB, 1975).

O processo básico de cobertura envolve a aplicação de três coberturas para os grânulos de uréia: enxofre, que é o material básico, correspondendo a 15 a 19% do peso total do produto, dependendo da eficiência de cobertura desejada, selante para corrigir as imperfeições da cobertura com enxofre e formar uma barreira à umidade, na base de 2% do peso total e condicionador, que absorve o excesso do selante e proporciona boas características de manejo do produto, contribuindo com 2,5 a 3% do peso total (HUFFMAN et alii, 1975). A quan

tidade de nitrogênio pode variar de 22 a 37% do peso total.

A eficiência da cobertura é determinada através de uma avaliação feita em laboratório, na qual os grânulos cobertos são colocados em água a $38,2^{\circ}\text{C}$, determinando-se a dissolução do grânulo nos primeiro e sétimo dias. O teste de dissolução para o primeiro dia serve para indicar a proporção de partículas com coberturas imperfeitas. A médias das taxas de dissolução (por dia) é chamada taxa diferencial de dissolução, indicando a permeabilidade de cobertura à unidade para as partículas bem cobertas. Os resultados até agora obtidos mostram que a taxa diferencial de dissolução permanece bastante constante por 2 a 3 meses para os grânulos bem cobertos. A dissolução é normalmente determinada pela secagem dos grânulos. Uma taxa de dissolução de 15 a 20% no primeiro dia pode ser aceita porque uma liberação inicial rápida é desejável para a maior parte das plantas em crescimento. Acredita-se que uma taxa diferencial de 1% ao dia, durante 14 a 16 semanas, seja satisfatório para o crescimento de muitas culturas (RINDT et alii, 1968).

Os benefícios prováveis que esse tipo de fertilizante podem trazer às culturas são: maior eficiência de utilização do N, evitando principalmente o consumo de luxo, redução nas perdas por lixiviação, desnitrificação e volatilização, diminuição da toxidez comparado com fontes solúveis, particularmente para "seedlings", e menor número de aplicações (ALLEN e MAYS, 1971; DIAMOND e MYERS, 1972).

Visando quantificar estes prováveis benefícios, pesquisas têm sido feitas em diversos países, para as mais variadas culturas, bem como solos, com relação a produção, absor

ção de N, parcelamento da aplicação, doses e manutenção do N no solo, através da comparação de uréia coberta com enxofre e fontes solúveis de fertilizantes nitrogenados.

A influência da cobertura com enxofre para os grânulos de uréia, com relação às perdas por lixiviação, pode ser vista no trabalho de Terman e Allen (1970), em um solo arenoso. Fez-se comparação entre uréia coberta com enxofre e nitrato de amônio, verificando que todo o nitrogênio originado do nitrato de amônio foi lixiviado em quatro semanas, após colocação fracionada de 64 polegadas de água, enquanto o N da uréia coberta levava cerca de 20 semanas para ser totalmente lixiviado. Esses resultados foram semelhantes aos obtidos por Heilman et alii (1966) que compararam nitrato de amônio coberto com resina e não coberto em solos irrigados com drenagem livre, com os resultados indicando que a membrana de resina, para controlar a dissolução do fertilizante, reduziu as perdas de N por lixiviação.

Mays e Terman (1969), trabalhando com forrageira (Festuca arundinacea Schreb), encontraram produções menores para as primeiras colheitas e maiores para as últimas, com a produção total igualando-se, para o SCU comparado ao nitrato de amônio. Verificaram também que, com uma única aplicação no plantio, o nitrato de amônio forneceu mais N do que o necessário para as plantas, resultando em alto teor de N total, o que não ocorreu com o SCU devido a sua lenta liberação. Houve evidências de que uma grande quantidade de N residual permanecia no solo devido à fertilização com SCU, comparado à fonte solúvel, no segundo ano de experimento.

Para capim bermuda (Cynodon dactylon L.) Allen e

MAYS (1971) encontraram que para níveis limitantes (80 ppm N) o único benefício da SCU era um crescimento mais uniforme da cultura em relação a uréia. Em níveis mais altos (160 ppm N) as maiores produções foram para SCU. Verificaram consumo de luxo para N nesse nível com relação à uréia. Tanto as curvas de produção como de absorção apresentaram-se bastante uniformes.

MISLEVY e DANTZMAN (1974) encontraram que forragem (Lolium multiflorum Lam) respondeu melhor a altas doses de SCU aplicadas uma só vez, enquanto que em baixas doses as maiores produções foram para NH_4NO_3 .

Em um solo barro arenoso, DUNAVIN (1975) verificou os efeitos de SCU e NH_4NO_3 nas doses 100, 200 e 400 kg N/ha para forrageiras (Secale cereale L. e Lolium multiflorum Lam) , mostrando que a maior produção foi para NH_4NO_3 , na dose 400 kg N/ha, aplicada parceladamente, seguida pelo SCU, na mesma dose, porém com apenas uma aplicação.

Trabalhos conduzidos por ISOBE e YAMASAKI (1969 e 1970) com a cultura de cana-de-açúcar, comparando SCU com uréia comum e uma mistura de partes iguais de SCU e uréia comum, nas doses 200 e 400 lb N/acre, indicaram que mais cana foi produzida pelo material coberto, incluindo a mistura, que pela uréia comum. As aplicações de 200 lb N/acre de SCU e da mistura produziram uma quantidade igual de açúcar e pouco menor que a produzida pela uréia comum na dose 400 lb N/acre. A quantidade total de N das duas doses foram divididas em duas, três e cinco aplicações para o SCU, a mistura e a uréia comum, respectivamente.

ISOBE et alii (1973) estudaram a liberação do N

retido no grânulo do SCU para dois solos do Havai (Laupahoehoe e Lihue) onde havia cultura de cana, encontrando uma liberação de 60% e 80% aos quatro e oito meses, respectivamente, em am bos os solos.

Para a mesma cultura, DALAL e PRASAD (1975), com parando a eficiência de SCU, uréia e sulfato de amônio, aplica dos na superfície de um solo calcário, verificaram que SCU e sulfato de amônio davam, significativamente maiores produções de cana e sucrose que a uréia, atribuindo essa diferença às perdas por volatilização da uréia. Constataram também que SCU era tão eficiente quanto ao sulfato de amônio.

GASCHO e SNYDER (1976) verificaram que SCU resul tou em melhores produções de cana-de-açúcar que sulfato de amô nio, para aplicação em uma única dose no plantio, em solos are nosos. Entretanto, quatro aplicações de sulfato de amônio re sultavam em produções mais elevadas do que uma única aplicação no plantio. Consideraram que grande parte do N do SCU foi pos sivelmente liberado no outono e inverno, antes de serem utili zados pela cultura, sendo sujeito à lixiviação pelas chuvas de primavera e verão. Os mesmos autores (SNYDER e GASCHO, 1976) conduziram um experimento, nos mesmos solos, no qual estudaram a liberação do N da uréia coberta para ajudar na explicação dos resultados de respostas das plantas, verificando que a di minuição da espessura da cobertura de enxofre, altas temperatu ras e umidade favoreciam a liberação do nutriente, sendo a mesma em torno de 70 a 80%, para os seis meses iniciais, tor nando-se lenta após esse período.

Com relação à umidade, PRASAD (1976) encontrou que a liberação do N da SCU era afetada pela umidade do solo.

Quanto maior o nível de umidade, maior era a liberação do N.

Para arroz, experimentos conduzidos na Índia indicaram que SCU dava, com uma única cobertura, melhores resultados que a uréia, quando aplicada de uma só vez ou parceladamente (PRASAD et alii, 1971; SHARMA, 1973). Sem fazer incorporação, SCU resultava numa produção de grãos quase duas vezes mais alta que para uréia comum. Com incorporação pouco profunda, SCU aumentava a produção em cerca de 50%, comparada a uréia. Nesses experimentos, incluiu-se um tratamento com uréia mais enxofre, não havendo aumento na produção, mostrando que as respostas obtidas com SCU eram devidas, provavelmente, a lenta liberação do nitrogênio e não ao enxofre (All - India Coordinated Rice Improvement Project, citado por PRASAD et alii, 1971).

WELLS e SHOCKLEY (1975) compararam os fertilizantes SCU, isobutilenodiuréia e uréia como fontes de N para arroz cultivado em solos franco-siltoso e argiloso. Verificaram que a SCU foi capaz de regular a liberação de N, regulando o crescimento de matéria seca, absorção de N e produção de grãos. Sobre o solo barro limoso, em condições de inundação contínua, as produções foram similares tanto para a SCU como para uréia. Em solos argilosos, com inundação intermitente, a produção de grãos apresentou tendência de ser mais elevada para SCU que para uréia.

Em cultura de batata, LIEGEL e WALSH (1976), constataram que as maiores produções e absorção de N foram obtidas com SCU, numa única aplicação, comparada à uréia, para anos em que ocorriam elevadas precipitações o que, provavelmente, provocava alta lixiviação, com o contrário ocorrendo em anos

secos. Após três anos de experimento plantaram aveia, com as produções indicando que o N residual da SCU era muito maior que o N proveniente da uréia, devido a incompleta liberação do N da SCU.

Para a mesma cultura, TALLEYRAND e HUGO - LÓPEZ (1976) não observaram nenhuma vantagem evidente no uso de SCU, comparada à uréia comum, na dose de 40 kg N/ha.

Sobre solos barro arenoso e barrento, onde a prática da irrigação foi cuidadosamente manejada para evitar perdas de N por lixiviação, Lunt, citado por PRASAD et alii (1971), obteve, para o milho, tão boas produção e absorção de N para a SCU, numa única aplicação, quanto a uréia, fracionada em três aplicações. Sobre condições de alta lixiviação, as produções e a absorção de N foram maiores que as da uréia não coberta.

DALAL (1974) verificou para milho, que a absorção de N e produção de grãos, em função dos diferentes fertilizantes, estava na seguinte ordem: SCU uréia fosfato de amônio e uréia = sulfato de amônio. Esse aumento era, geralmente, oposto a taxa de nitrificação para as diversas fontes de N.

LIEGEL e WALSH (1976) encontraram para o milho que, nos anos de elevada precipitação, as produções e a quantidade de N nos grãos foram semelhantes para os dois fertilizantes estudados, ou sejam, SCU e uréia comum, porém, em anos secos, as produções e quantidade de N nos grãos foram maiores para a uréia comum.

Na cultura de tomate, SHELTON (1976), trabalha

do com a cultivar Manapal, encontrou as maiores produções para SCU, aplicada numa só vez em pré-plantio nas doses 390 ou 560 kg N/ha, comparadas às produções obtidos com nitrato de amônio, aplicado numa só vez em pré-plantio ou parceladamente nas mesmas doses.

No Brasil são poucos os trabalhos existentes com relação à uréia coberta com enxofre e, os que se encontram na literatura, referem-se às culturas do arroz e trigo, sendo to dos desenvolvidos no Rio Grande do Sul.

Assim, MACHADO e MAGALHÃES (1973), comparando SCU, com duas taxas de liberação de uréia, e uréia comum, na cultura do arroz, não observaram nítidas vantagens da uréia coberta com enxofre. Entretanto, obtiveram eficiência equivalente a da adubação parcelada com uréia comum, usando um tipo de SCU aplicado em dose única na semeadura.

- Para a cultura do trigo, ABRÃO (1976) e MAGALHÃES (1976) não observaram vantagens para a uréia coberta em comparação à uréia comum e sulfato de amônio, com as produções de grãos sendo semelhantes, estatisticamente, para os fertilizantes estudados. Entretanto, com aplicação da SCU, na dose de 90 kg N/ha, no plantio obteve-se o maior rendimento, superando o sulfato de amônio, aplicado em duas parcelas, na dose 60 kg N/ha (ABRÃO, 1976), semelhante ao obtido por MAGALHÃES (1976), comparando SCU e uréia comum, em que o mais alto rendimento foi obtido com a aplicação de SCU, na dose 120 kg N/ha. Pode-se verificar ainda que, nos dois trabalhos as curvas relacionando produção de grãos e doses apresentaram-se mais uniformes quando comparadas aos outros fertilizantes.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Materiais

4.1.1. Solos

Foram escolhidos três solos que ocorrem sob vegetação de cerrado no Município de Botucatu e classificados como: Latossol Roxo, Latossol Vermelho-Escuro fase arenosa e Latossol Vermelho-Amarelo fase arenosa (AVELAR, 1971; CARVALHO et alii, 1973).

As principais características físicas e químicas destes solos são apresentadas nas Tabelas 1, 2 e 3.

4.1.2. Fertilizantes

Foram utilizados os fertilizantes uréia, com 45% de N, uréia coberta com enxofre, superfosfato triplo com 46% de P_2O_5 e cloreto de potássio com 60% de K_2O .

Tabela 1. Características físicas e químicas do Latossol Roxo, segundo CARVALHO et alii (1973).

Horizonte	Profundidade (cm)	Resultados em porcentagem										Tensão da umidade			Densidade
		Amz 2-1 mm	Ag 1-0,5 mm	Am 0,5-0,25 mm	Af 0,25-0,10 mm	Amf 0,10-0,05 mm	Areia total	Limo 0,05-0,002 mm	Argila 0,002 mm	Classe Arg. nat. val	Classe text. val	1/3 atmosfera %	15 atmosfera %	Dr	
Ap	0-20	0,3	3,4	9,5	12,3	3,2	28,7	22,3	49,0	9,4	r	24,85	19,90	2,87	1,05
B ₂₁	20-60	0,5	0,7	5,1	10,6	3,1	20,0	21,3	58,7	8,2	r	27,85	22,17	2,99	1,00
B ₂₂	60-100	0,3	0,9	5,4	10,5	3,5	20,6	21,1	58,3	11,59	r	28,90	24,08	2,88	1,00
B ₂₃	100-149	0,2	0,5	5,6	10,5	4,1	20,9	23,4	55,7	8,4	r	29,76	24,27	2,89	1,00
B ₃	149-200	0,3	0,5	5,2	11,5	4,3	21,8	23,5	54,7	6,7	r	29,01	23,77	2,94	1,05

Horizonte	Profundidade (cm)	Íons trocáveis e mg/100 g de terra seca										Saturação em base %		pH		Matéria orgânica %
		Ca	Mg	K	H	Al	Acidez	PO ₄	base %	base %	base %	Água 1:2,5	Água 1:2,5	KCl N 1:2,5	KCl N 1:2,5	
Ap	0-20	15,0	0,16	0,075	8,24	2,16	10,40	0,013	6,0	4,4	4,0	4,4	4,0	4,0	4,0	2,89
B ₂₁	20-60	13,0	0,08	0,060	7,84	2,16	10,00	0,023	5,0	4,3	4,0	4,3	4,0	4,0	4,0	2,17
B ₂₂	60-100	14,6	0,24	0,030	7,76	2,08	9,84	0,030	3,0	4,2	4,0	4,2	4,0	4,0	4,0	1,86
B ₂₃	100-149	14,0	0,08	0,040	7,28	1,68	8,96	0,018	1,0	4,2	4,1	4,2	4,1	4,1	4,1	1,70
B ₃	149-200	13,0	0,32	0,045	5,84	0,96	6,80	0,016	3,0	4,3	4,2	4,3	4,2	4,2	4,2	1,29

Tabela 2. Características físicas e químicas do Latossol Vermelho Escuro fase arenosa, segundo CARVALHO et alii (1973).

Horizonte	Profundidade (cm)	Resultados em porcentagem										Tensão da unidade		Densidade $\frac{g}{cm^3}$	
		Amg 2-1 mm	Ag 1-0,5 mm	Am 0,5-0,25 mm	Af 0,25-0,10 mm	Amf 0,10-0,05 mm	Areia total	Limo 0,05-0,002 mm	Argila 0,002 mm	Arg. nat. 0,002 mm	Classe textural	atmosfe ra %	atmosfe ra %		15
Ap	0-15	1,7	6,4	28,1	30,2	5,3	71,7	8,6	19,7	4,3	ba	13,25	7,84	2,62	1,35
B ₁	15-43	1,9	4,6	21,6	32,2	7,4	67,7	8,8	23,5	6,0	bra	14,21	9,07	2,65	1,28
B ₂₁	43-81	1,7	5,7	24,4	28,2	5,5	65,5	5,1	29,0	7,9	bra	14,24	10,16	2,63	1,28
B ₂₂	81-180	2,0	4,4	23,0	29,5	6,1	65,0	5,7	29,3	9,1	bra	13,28	9,83	2,67	1,28

Horizonte	Profundidade (cm)	Íons trocáveis e.mg/100 g de terra seca										pH		Matéria orgânica %
		CTC	Ca	Mg	K	H	Al	Acidez	PO ₄	Saturação em base %	Água 1:2,5	KCl N 1:2,5		
Ap	0-15	10,4	0,08	0,08	0,065	5,36	1,28	6,64	0,020	2,00	4,3	3,9	1,86	
B ₁	15-43	10,4	0,00	0,16	0,050	5,60	1,44	7,04	0,009	2,00	4,4	4,0	1,81	
B ₂₁	43-81	9,0	0,00	0,08	0,035	5,28	1,44	6,72	0,004	1,00	4,5	4,1	1,29	
B ₂₂	81-180	8,2	0,00	0,08	0,030	4,24	1,12	5,36	0,004	1,00	4,5	4,1	0,98	

Tabela 3. Características físicas e químicas do Latossol Vermelho Amarelo fase arenosa, segundo AVELAR (1971)*.

Resultados em porcentagem													
Horizonte	Profundidade (cm)	Arg 2-1 mm	Am 1-0,5 mm	Amf 0,5-0,25 mm	Af 0,25-0,10 mm	Amf 0,10-0,05 mm	Areia total	Limo 0,05-0,002 mm	Argila 0,002 mm	Arg. nat.	Classe textural		
Ap	0 - 4	1,6	6,3	33,7	35,0	9,2	84,2	4,0	11,8	2,2	ab		
A ₃	4 - 28	0,8	5,3	24,1	41,4	12,7	84,3	3,7	12,0	4,5	ab		
B ₁	28 - 56	0,8	4,7	24,2	39,0	12,8	81,5	5,7	12,8	4,0	ab		
B ₂₁	56 - 84	0,8	4,9	22,9	39,2	14,1	81,9	5,3	12,8	4,8	ab		

Horizonte	Profundidade (cm)	Íônios trocáveis e.mg/100 g de terra seca										Saturação em base %	pH	C %
		Ca	Mg	K	H	Al	Acidez	PO ₄	Argila 1:2,5	KCl N 1:2,5				
Ap	0 - 4	7,65	0,35	0,10	5,23	1,76	6,69	0,07	5,0	4,6	2,19			
A ₃	4 - 28	2,53	0,14	0,03	1,22	1,02	2,24	0,01	5,5	4,3	0,18			
B ₁	28 - 56	2,22	0,14	0,03	0,92	1,00	1,92	0,01	5,4	4,3	0,10			
B ₂₁	56 - 84	2,16	0,16	0,02	1,02	0,88	1,90	0,01	5,5	4,4	0,30			

* O valor da densidade aparente não foi apresentado, porém a mesma foi determinada utilizando-se o método da parafina (MARCOS[1970]), para uma camada de 0-25 cm de profundidade do solo, obtendo-se o valor 1,56 (g/cm³).

O valor do pH foi determinado logo após a coleta do solo, utilizando-se a metodologia descrita por CATANI e JACINTHO (1974), obtendo-se o valor 4,3.

As características principais da uréia coberta com enxofre, cujo símbolo é SCU, são: 15,8% de S, 2,5% de condicionador (terra diatomácea) e 36,6% de N, com uma dissolução em água de 14,8%, em 7 dias a 38,2^oC.

4.1.3. Tubos percoladores

Foram usados tubos percoladores de plástico com 10 cm de diâmetro e 50 cm de altura, sendo que em uma de suas extremidades foi colocada uma tela de náilon de malha suficientemente fina para manter a terra nos tubos.

4.2. Métodos

4.2.1. Tratamentos

Para avaliar as diferenças entre os tipos de fertilizantes nitrogenados utilizados, foram empregados três tratamentos de N: 0, 60 e 120 kg/ha de N, com três repetições e dois valores de pH, para os dois adubos nitrogenados.

4.2.2. pH dos solos

O experimento foi conduzido com os solos em dois valores de pH, ou sejam, em pH original do solo colhido no campo e em pH corrigido para um valor mais próximo possível de 6,5, através da adição de calcário, pois esse valor de pH favorece a nitrificação. A avaliação da exigência de calcário foi feita pelo método de determinação alcalimétrica de prótons extraídos com solução de acetato de cálcio 1 N, com pH = 7,0, segundo CATANI e JACINTHO (1974).

4.2.3. Preparo dos solos e colocação nos tubos percoladores

Os solos, após serem colhidos no campo, foram postos a secar ao ar sendo, a seguir, passados em peneira de arroz.

Determinou-se a quantidade de terra para cada solo utilizado, colocando-se as mesmas nos tubos percoladores até atingir a altura de 40 cm. Como a densidade é diferente de um solo para outro, os pesos de terra nos tubos também variaram.

Sabendo-se as quantidades de terra que serão colocadas nos tubos percoladores, calcularam-se as quantidades de fertilizantes e calcários necessários. Os resultados encontram-se nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Quantidade de terra adicionada nos tubos percoladores, de acordo com o tipo de solo.

Solo	kg de terra/tubo percolador
Latossol Roxo	3,0
Latossol Vermelho Escuro	3,6
Latossol Vermelho Amarelo	3,9

Tabela 5. Quantidades de fertilizantes e calcário que foram utilizados nos tratamentos e colocados nos tubos percoladores.

Fertilizante	Dosagem	Solos		
		LR	LVE	LVA
SCU*	60 kg/ha N	0,180	0,176	0,165
SCU	120 kg/ha N	0,360	0,352	0,330
Uréia	60 kg/ha N	0,147	0,145	0,133
Uréia	120 kg/ha N	0,294	0,290	0,266
Superfosfato triplo	80 kg/ha P_2O_5	0,193	0,185	0,174
Cloreto de potássio	80 kg/ha K_2O	0,148	0,142	0,133
Carbonato de cálcio		9,840	3,000	5,690

* Uréia coberta com enxofre.

A colocação da terra, dos fertilizantes e do calcário nos tubos percoladores foi feita da seguinte forma: colocou-se terra peneirada até atingir a altura de 30 cm misturada com a proporção adequada de calcário e após os fertilizantes e o calcário restante, foram misturados com uma quantidade de terra suficiente para atingir a altura de 40 cm nos tubos, de modo que somente os 10 cm superficiais contivessem os fertilizantes. Dessa forma, através de percolações sucessivas, determinou-se a quantidade de nitrogênio que se perde ou vai além dos 30-40 cm de profundidade.

O fertilizante nitrogenado foi colocado junto com o calcário para aumentar a nitrificação que, possivelmente, deve se refletir nas perdas de N.

4.2.4. Determinação da capacidade de campo

Para se conhecer a capacidade de campo das terras colocadas nos tubos percoladores, foram colocadas nos tubos quantidades de terra de cada solo utilizado, até atingir a altura de 40 cm, pesando-se cada um deles. Em seguida, os tubos com as terras foram suspensos e neles colocados 500 ml de água destilada esperando-se 1 hora e 30 minutos; após foram adicionados mais 500 ml e novamente esperou-se 1 hora e 30 minutos; a seguir colocaram-se mais 500 ml de água destilada.

Logo depois dessa última adição de água, iniciou-se a lixiviação, sendo o líquido lixiviado recolhido em copos de vidro. Após 3 horas, verificou-se que o processo de lixiviação havia parado, sendo então feita novamente a pesagem dos tubos, com a quantidade de água retida pela terra sendo obtida por diferença de peso. Os resultados encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6. Quantidade de água retida nos tubos percoladores e correspondente à capacidade de campo de cada solo.

Solo	kg de água retido/kg de terra
Latossol Roxo	0,38
Latossol Vermelho Escuro	0,32
Latossol Vermelho Amarelo	0,27

4.2.5. Delineamento estatístico

Empregou-se o delineamento em blocos, esquema fa
torial.

4.2.6. Amostragem e armazenamento do lixiviado

Logo após a montagem do experimento, colocou-se água em todos os tubos percoladores, porém em quantidade um pouco abaixo da capacidade de campo determinada (1 litro), pa
ra se processarem as reações nas terras.

A coleta de lixiviado foi feita mensalmente, du
rante seis meses, da seguinte forma: determinava-se por pesa
gem a quantidade de água retida nos tubos percoladores e adi
cionava-se água destilada, em várias frações, até que as ter
ras atingissem a capacidade de campo. Após era colocada uma
quantidade igual e adicional de água em cada tubo, independen
te do tipo de solo. Dessa forma obtinha-se uma porção de lí
quido lixiviado que era recolhido em copos de vidro. Quando
o processo de lixiviação parava, media-se, através de proveta,

• volume de lixiviado obtido e colocava-se em frascos de vidro, previamente identificados, armazenando-os em geladeira até o momento das análises que, normalmente, eram feitas no dia posterior à coleta.

4.2.7. Análise do lixiviado

Determinação do nitrogênio amoniacal

Foi feita por espectrofotometria através do desenvolvimento da cor azul do indofenol, formado pela reação de amônia, hipoclorito e fenol em meio alcalino, em autoanalisador (TECHNICON AUTOANALYSER II).

Determinação do nitrogênio nítrico

Foi feita utilizando-se um sistema de eletrodos seletivos de íons em fluxo contínuo (RUZICKA et alii, 1977). Este método utiliza de 0,3 a 0,4 ml da amostra que é injetada em um fluxo contínuo, constituído de uma solução $5 \cdot 10^{-3} \text{M}$ de K_2HPO_4 e $5 \cdot 10^{-3} \text{M}$ de KH_2PO_4 . A função desta solução é tamponi^zar o meio a aproximadamente $\text{pH} = 7$, fixar a força e manter melhores condições de temperatura. A amostra é então transporta^da aos eletrodos de nitrato (desenvolvidos por NIELSEN e HANSEN, 1976), e de referência (Ag/AgCl). A resposta dos eletro^{do}s é registrada graficamente obtendo-se os resultados em forma de pico cujas culturas são comparadas com as alturas padrões de concentração conhecida de NO_3^- .

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados acumulados, expressos em mg, para as perdas de N, provenientes da soma das perdas do N-NH_4^+ e N-NO_3^- , em função do pH, tipos e doses de uréia, para os seis meses de condução do experimento, são apresentados na Tabela 7, para os três tipos de solos estudados.

As quantidades de água que foram colocadas nos tubos percoladores, nas diferentes épocas de amostragem, para a coleta de uma quantidade adequada de lixiviado encontram-se na Tabela 8.

Os resultados obtidos para análise de variância, bem como o desdobramento das interações, são apresentados nas Tabelas 9 a 13.

As médias das perdas acumuladas de $\text{N(N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-)$, para seis meses de amostragem mensal de lixiviado,

bem como as médias das interações, encontram-se nas Tabelas 14 a 25.

Nas Tabelas 26 e 27 encontram-se as porcentagens acumulativas de N perdido por lixiviação até o 6º mês, comparados com as quantidades de N inicialmente colocadas como fertilizante, para as interações tipos e doses de uréia e vice-versa que ocorreram para o Latossol Vermelho Escuro e Latossol Vermelho Amarelo.

As Figuras 1 a 3 dão uma idéia da variação das perdas acumuladas de $N(N-NH_4^+ + N-NO_3^-)$ para os dois tipos de uréia, através da análise conjunta dos dados, e as Figuras 4 e 5 mostram, em termos gerais, a influência dos tipos de uréia e doses aplicadas sobre essas perdas.

5.1. Influência dos tipos e doses de uréia sobre a lixiviação do N, em diferentes solos.

Observando-se os dados apresentados nas Tabelas 9 a 11 verifica-se que houve diferenças significativas, com relação ao N perdido por lixiviação, entre SCU e a uréia não coberta nos 2º, 3º, 4º e 5º meses para o Latossol Roxo e nos 1º ao 6º meses para o Latossol Vermelho Escuro e Latossol Vermelho Amarelo. A verificação das médias, através das Tabelas 14 a 16, mostra que as maiores perdas ocorreram com a uréia não coberta, para os três tipos de solos considerados.

Tal comportamento parece refletir a influência da cobertura com enxofre, com a SCU mostrando-se mais eficiente em reduzir as perdas por lixiviação do N, que foi semelhante ao verificado por HEILMAN et alii (1966), comparando nitrato

to de amônio coberto com resina e não coberto, e TERMAN e ALLEN (1970), comparando SCU, uréia e nitrato de amônio.

Para o Latossol Roxo, nos 1º e 6º meses a perda de N não apresentou diferença significativa entre os tipos de uréia estudados.

Este fato pode ser explicado, para o 1º mês, devido que, logo após a incubação, colocou-se água nos tubos até atingir a capacidade de campo, esperando-se 30 dias para proceder a primeira coleta de lixiviado, supondo-se que pouco ou nenhum N proveniente do fertilizante colocado nos 10 cm do topo da coluna tenha se movimentado por toda a extensão da mesma, o que pode provavelmente ser evidenciado através da Tabela 9, pois não foi observada diferença significativa entre a testemunha e os tratamentos que receberam fertilizantes o que pode estar relacionado com a textura do solo e com a quantidade de água adicionada. Porém, com nova adição de água, para se proceder a primeira amostragem, o N proveniente do fertilizante, passível de ser lixiviado, talvez tenha se concentrado numa altura da coluna de tal forma que só na segunda amostragem foi lixiviado, o que parece ser evidenciado pelo fato de se obter diferença significativa entre a testemunha e os tratamentos com fertilizantes, a partir do 2º mês, hipótese que parece concordar com KUPPER et alii (1953) que, estudando o movimento do íon nitrato em Terra Roxa Misturada, encontrou, para o 2º mês, que 70% do N colocado como NO_3^- estava na camada de 0-15 cm. Com relação à quantidade de água necessária para promover a lixiviação de N-NO_3^- , WETSELAAR (1962) observou um movimento de 2,7 cm/cm de precipitação, em solo argiloso, enquanto para Soubiés, Gader e Maury, citados por MELO (1974), es

sa relação era de 2 cm/cm. Estes fatos parecem mostrar que as quantidades de água colocadas para incubação e na primeira a mostragem, aproximadamente 24 cm (Tabela 8), não foram sufi cientes para arrastar o N-NO_3^- que pudesse se originar do fertilizante.

Outra hipótese refere-se a nitrificação. Como a maior parte do nitrogênio que se perde por lixiviação encontra-se na forma nítrica (WETSELAAR, 1962; ALLISON, 1966; ENDELMAN et alii, 1974) e como o nitrogênio colocado foi na forma amídica, supõe-se que o mesmo para ser arrastado pela água de percolação necessita sofrer nitrificação, a qual pode levar quase um mês ou mais para se completar (KUPPER et alii, 1953; MALAVOLTA, 1967; LEAL e ALVAHYDO, 1971).

No caso do Latossol Vermelho Escuro e Latossol Vermelho Amarelo verifica-se, já no 1º mês, diferenças significativas para as perdas de N, em função dos tipos de uréia, diferentemente do que ocorreu com o Latossol Roxo, o que evidencia que a textura do solo é um fator que afeta as perdas, de acordo com KUPPER et alii (1953) e THOMPSON (1957), pois o Latossol Roxo apresenta textura muito argilosa, enquanto os outros dois solos apresentam textura mais arenosa (Tabelas 1, 2 e 3) onde o movimento do N-NO_3^- é maior (WETSELAAR, 1962; Soubiés, Gader e Maury, citados por MELO, 1974).

A não obtenção de diferença significativa no 6º mês para o Latossol Roxo, parece indicar que a lixiviação de N ($\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$) proveniente da SCU é maior, pois pode ser perdido o N originado da uréia que ficou retida no grânulo coberto, o que pode ser verificado pela subtração das médias, para uma mesma época, apresentadas na Tabela 14 e cujos re

flexos se fazem sentir pela tendência de aproximação das curvas mostradas na Figura 1.

Idêntica tendência é observada para o Latossol Vermelho Escuro e Latossol Vermelho Amarelo, apesar de nesses solos ter-se constatado diferenças significativas entre os tipos de uréia, para as perdas de N por lixiviação, no 6º mês, o que pode levar a mesma interpretação apresentada para o Latossol Roxo, ou seja, as subtrações das médias, para uma mesma época, apresentadas nas Tabelas 15 e 16, indicam provavelmente uma perda do N que nos primeiros meses ficou retido nos grânulos de SCU e que, com o passar do tempo, foi lentamente passando para o solo, podendo sofrer lixiviação. As Figuras 2 e 3 auxiliam a observação deste comportamento, pois apresentam também uma tendência de aproximação.

Em geral, para os três solos estudados, as curvas relacionando perdas de $N(N-NH_4^+ + N-NO_3^-)$ e tipos de uréia parecem mostrar tendência de convergir para um ponto correspondente ao máximo de perda que o solo pode apresentar, porém com a SCU levando mais tempo para atingí-lo.

Com relação às doses utilizadas no experimento, pode-se observar, através das Tabelas 9 a 11, que, para os três solos considerados, houve diferenças significativas do 1º ao 6º mês para a quantidade de N perdida por lixiviação, com exceção do 1º mês para o Latossol Roxo, fato que já foi explicado anteriormente. A verificação das médias apresentadas nas Tabelas 17 a 19 indica que as maiores perdas ocorreram com a dose 120 kg N/ha.

Tais resultados mostram que as doses crescentes dos fertilizantes aplicados refletem-se nas perdas por lixivia

ção do nitrogênio, concordando com TERMAN e ALLEN (1970) e que pode ser resultante da maior taxa de hidrólise da uréia, que é diretamente proporcional a quantidade de uréia aplicada, conforme verificado por CARPENA et alii (1966).

Nos 2º, 3º e 4º meses ocorreram interações significativas entre tipos e doses de uréia, bem como entre doses e tipos, para o Latossol Vermelho Escuro, como pode ser visto através da Tabela 10, sendo o desdobramento das interações apresentados nas Tabelas 12 e 13.

Com relação aos tipos de uréia na dose 120 kg N/ha, as médias apresentadas na Tabela 23 mostram que houve maior perda de N para a uréia não coberta nos 2º, 3º e 4º meses, o mesmo ocorrendo com a dose 60 kg N/ha, porém para os 2º e 3º meses.

Estes resultados podem ser explicados considerando-se que a uréia não coberta está totalmente em contato com o solo sujeita, dessa forma, a nitrificação em sua quase totalidade e, como consequência, sofrendo uma lixiviação maior o que, provavelmente, não ocorreu com a SCU, pois o N retido no grânulo coberto com enxofre não fica em contato direto com o solo e, portanto, não sofre nitrificação. Tal hipótese é apoiada pelos resultados apresentados na Tabela 26, na qual podem ser vistas as porcentagens acumulativas do N perdido por lixiviação, verificando-se que, para ambas as doses, a SCU apresentou menor perda de N, do início ao final do experimento.

Observa-se também, através da comparação das médias apresentadas na Tabela 23, que para as duas doses aplicadas, as maiores perdas ocorreram para a uréia não coberta e numa fase intermediária do experimento, não se constatando inte

rações significativas na fase final, ou seja, 5º e 6º meses para a dose 120 kg N/ha e 4º, 5º e 6º meses para a dose 60 kg N/ha, o que pode ser explicado pelo fato de, nesses meses, a maior parte do N proveniente da uréia não coberta ter sido lixiviado para além dos 30-40 cm da coluns de solo, em comparação às quantidades inicialmente colocadas (Tabela 26) e que houve uma liberação contínua do N da SCU, o que provocou uma diminuição na diferença entre as perdas para os dois tipos de uréia, em ambas as doses, o que pode ser observado pelos resultados apresentados na Tabela 26 e pelas curvas mostradas na Figura 4, fazendo com que a interação fosse não significativa.

Nos 1º, 2º, 3º e 4º meses ocorreram interações significativas entre tipos e doses de uréia, bem como entre doses e tipos, para o Latossol Vermelho Amarelo, como pode ser visto através da Tabela 11, sendo o desdobramento das interações apresentados na Tabela 13.

Nesses meses pode-se observar, pela comparação das médias apresentadas na Tabela 24, que houve maior perda de N para a uréia não coberta, nas duas doses colocadas.

Estes resultados podem ser explicados de maneira análoga ao Latossol Vermelho Escuro e observando-se a Tabela 27, na qual podem ser vistas as porcentagens acumulativas do N perdido por lixiviação, verificando-se que, para ambas as doses, a SCU apresentou menor perda de N, do início ao final do experimento.

A interação doses e uréia não coberta foi significativa para os mesmos meses (Tabela 13) e a comparação das médias apresentadas na Tabela 24 mostra que as maiores perdas de N ocorreram com a dose 120 kg N/ha. Tais resultados pare

cem evidenciar que os efeitos das doses aplicadas, com relação às perdas de N por lixiviação, se fazem sentir até o 4º mês, para o solo considerado, sendo que após as diferenças foram não significativas, provavelmente devido à lixiviação da maior parte do N proveniente da uréia não coberta, para as duas doses utilizadas, conforme pode ser mostrado pelos resultados apresentados na Tabela 27 e pelas curvas da Figura 5.

A interação doses e uréia coberta foi significativa apenas para o 4º mês (Tabela 11), com a maior perda ocorrendo na dose 120 kg N/ha (Tabela 24), o que parece mostrar que a uréia retida no interior do grânulo demora mais tempo para passar ao solo, em quantidade tais que evidenciem a influência das doses para a uréia coberta, considerando-se o Latossol Vermelho Amarelo. Tal fato possivelmente pode ser explicado através dos trabalhos de PRASAD (1976) e SNYDER e GASCHO (1976) onde os autores verificaram que a umidade favorece a liberação de N do SCU. Como o solo considerado apresenta textura arenosa, permitindo uma drenagem mais rápida da água, o que foi observado durante a coleta das amostras, deve ter havido menor tempo de contato entre a água e o grânulo e, como consequência, menores quantidades de uréia passaram do grânulo para o solo.

Estas observações concordam com um dos objetivos a atingir através da cobertura dos grânulos de fertilizantes, ou seja, a lenta liberação do nutriente (ARMY, 1963; PARR, 1967; PRASAD et alii, 1971) indicando, possivelmente, que o N proveniente da uréia coberta, devido a sua incompleta liberação, permanece por um tempo maior no solo, concordando com MAYS e TERMAN (1969) e com os estudos sobre a liberação do N conduzidos por ISOBE et alii (1973) e SNYDER e GASCHO (1976).

Esse N residual pode ter efeito sobre culturas que posteriormente se instalem nesse solo, conforme verificado por LIEGEL e WALSH (1976).

Tais considerações parecem evidenciar que, quando se comparam fertilizantes nitrogenados solúveis e a SCU, o efeito da cobertura reside na quantidade de N que fica mais tempo no solo podendo ser utilizado pela cultura mais tardiamente, ou por outras culturas que venham a ser instaladas nesse solo o que não ocorreria com os outros tipos de fertilizantes nitrogenados, como a uréia comum que se perde rapidamente e em grande quantidade através da lixiviação (Tabelas 26 e 27). Este fato influiria nas produções, principalmente das colheitas posteriores, de acordo com o verificado por MAYS e TERMAN (1969) e evitaria o consumo de luxo, devido a lenta liberação do N, de acordo com o que observaram MAYS e TERMAN (1969) e ALLEN e MAYS (1971). Estes efeitos podem ser mais pronunciados quando se trabalha com culturas com ciclo de um a dois anos, como é o caso da cana-de-açúcar, como pode ser visto nos trabalhos de ISOBE e YAMASAKI (1969 e 1970), DALAL e PRASAD (1975) e GASCHO e SNYDER (1976) e é uma possibilidade para explicar os resultados obtidos por MACHADO e MAGALHÃES (1973), ABRÃO (1976) e MAGALHÃES (1976), onde estes autores não encontraram vantagens para o SCU comparado à uréia comum e o sulfato de amônio, para a cultura do trigo. Supõe-se que os efeitos da SCU seriam evidenciados caso fosse implantada nova cultura no mesmo solo, devido à quantidade de N que possivelmente não tenha saído do grânulo da SCU.

Com relação ao parcelamento da aplicação de nitrogênio, observa-se que quando o N é aplicado numa única vez, geralmente no plantio, a SCU dá melhores produções que outros

fertilizantes nitrogenados solúveis (PRASAD et alii, 1971; SHARMA, 1973; DALAL, 1974; GASCHO e SNYDER, 1976; LIEGEL e WALSH, 1976; SHELTON, 1976) o que é, provavelmente, reflexo da lenta liberação do fertilizante. Porém, quando se compara a aplicação única de SCU com aplicações fracionadas de outros fertilizantes verifica-se, em alguns casos, maior produção para o fertilizante solúvel (DUNAVIN, 1975; GASCHO e SNYDER, 1976), em outros maior produção para o SCU (ISOBE e YAMASAKI, 1969, 1970; Lunt, citado por PRASAD et alii, 1971; SHELTON, 1976) e em outros ainda as produções se equivalem (Lunt, citado por PRASAD et alii, 1971; MACHADO e MAGALHÃES, 1973; ABRÃO, 1976; MAGALHÃES, 1976), o que pode ser explicado pelo fato de que os fertilizantes nitrogenados solúveis são colocados parceladamente em épocas apropriadas para as culturas aumentando, dessa forma, a sua absorção e reduzindo as possibilidades de se perderem por lixiviação.

Essa consideração sugere que as comparações envolvendo SCU e fertilizantes nitrogenados solúveis devem levar em conta a exigência da cultura em nitrogênio, pois os resultados adversos encontrados na literatura podem ser atribuídos a utilização de uma SCU que não é própria para aquela cultura devido a sua maior ou menor cobertura com enxofre, o que acarretaria uma liberação de N com o tempo, que não é suficiente para satisfazer as exigências da planta.

Assim, sugere-se uma verificação nos trabalhos que utilizaram SCU nas suas várias taxas diferenciais de dissolução, no sentido de obter informações que permitam a utilização de uma SCU com liberação de N mais adequada às necessidades de cada cultura para, após, se estabelecer comparações com

outros fertilizantes nitrogenados, principalmente com relação à produção, e ainda, numa etapa posterior, verificar-se a sua viabilidade econômica.

5.2. Influência do pH sobre a lixiviação do N proveniente de dois tipos de uréia aplicados em duas doses, em diferentes tipos de solos.

Para o Latossol Roxo observa-se, através da Tabela 9, que houve diferenças significativas com relação à quantidade de N perdida por lixiviação para todos os meses de amostragem. A comparação das médias apresentadas na Tabela 20 mostra que as maiores perdas ocorreram nos solos onde o pH foi modificado para valores mais elevados, ou seja, 6,5, semelhante ao encontrado por MORAKUL e EL-HAMID (1975). Este fato deveu-se, provavelmente, à nitrificação intensa em virtude do pH estar próximo do valor 6,5, conforme citam CORNFIELD (1952 e 1959), MORRIL e DAWSON (1967), DANCER et alii (1973), KIEHL e COBRA NETTO (1976) e MALAVOLTA (1976).

No caso do Latossol Vermelho Escuro pode-se observar, através dos resultados apresentados na Tabela 10, que apenas no 2º mês houve diferença significativa nas perdas de N, sendo a mesma maior para o pH modificado (Tabela 21).

Com relação ao Latossol Vermelho Amarelo, a observação dos dados apresentados na Tabela 11 mostra que houve diferenças significativas nas perdas influenciadas pelo pH do 1º ao 6º mês de amostragem. A verificação das médias apresentadas na Tabela 22 indica que as maiores perdas ocorreram no pH não modificado. Não foi possível encontrar uma justificati

va adequada para tal comportamento, embora pareça haver alguma influência da argila e da matéria orgânica.

Esses resultados evidenciam um comportamento diferente para cada solo, com relação às perdas de N, para os dois valores de pH estudados, ou sejam, pH do solo tal como foi coletado no campo e pH corrigido para o valor 6,5, através da adição de CaCO_3 .

Os resultados encontrados na literatura (CORNFIELD, 1952; ALLISON, 1955; CORNFIELD, 1959; ALLISON, 1966; MORRIL e DAWSON, 1967; DANCER et alii, 1973; ENDELMAN, 1974; MALAVOLTA, 1976 e WELCH e ADAMS, 1976) mostram que com o aumento do pH há um aumento no teor de N-NO_3^- dos solos, resultante de uma maior nitrificação, e que o solo N-NO_3^- perde-se rapidamente e em grande quantidade, através do processo de lixiviação.

Essas considerações levam a pensar que, quando se procede à calagem nos solos, ocorrerá uma perda maior de N por lixiviação em comparação aos solos que não receberam calagem.

No presente estudo verificou-se que tal hipótese parece concordar com os resultados obtidos para o Latossol Roxo, diferentemente do que ocorreu com o Latossol Vermelho Escuro, onde se observaram perdas iguais, com exceção do 2º mês, e com o Latossol Vermelho Amarelo, que mostrou um comportamento oposto ao do Latossol Roxo.

Verificou-se também que, para o Latossol Vermelho Amarelo houve interações significativas entre pH e doses nos 5º e 6º meses (Tabela 13). A comparação das médias apre

sentadas na Tabela 25 mostra que, para ambos os valores de pH, as maiores perdas ocorreram na dose 120 kg N/ha e, nessa dose, houve maiores perdas no pH não modificado.

Como não foram obtidas interações significativas entre pH e tipos de uréia, (Tabelas 9, 10 e 11) para os três tipos de solos estudados, supõe-se que o pH não influenciou na liberação do N retido no grânulo de uréia coberta com enxofre, fato que concorda com ARMY (1963) e PRASAD et alii (1971), fazendo com que não fossem observadas diferenças significativas nas perdas de N para a uréia coberta com enxofre, quando se consideram os dois valores de pH, para os três tipos de solos estudados.

Tabela 7. Perdas acumuladas de $N(N-NH_4^+ + N-NO_3^-)$ durante seis meses de amostragem mensal de lixiviado, para três tipos de solos (média de 3 repetições). Botucatu, 1977.

Tratamentos	mg acumulado de N perdido por lixiviação ($N-NH_4^+ + N-NO_3^-$)																	
	Latosol Roxo						Latosol Vermelho Escuro						Latosol Vermelho Amarelo					
	Meses						Meses						Meses					
Fertilizantes kg N/ha	1º	2º	3º	4º	5º	6º	1º	2º	3º	4º	5º	6º	1º	2º	3º	4º	5º	6º
T* 0	40,31	70,96	90,90	104,55	117,90	129,40	24,87	52,24	67,63	73,27	77,92	81,73	73,43	96,54	101,94	109,48	116,36	123,14
U* 60	40,96	88,18	119,77	139,32	156,75	172,72	45,30	101,79	120,32	127,59	133,71	136,84	109,50	140,41	147,02	156,85	162,31	165,78
U 120	55,00	109,67	156,16	180,97	202,03	222,58	83,83	159,78	183,65	190,38	196,56	199,19	162,34	214,38	221,08	231,04	235,19	240,00
SCU* 60	42,38	77,69	104,06	121,24	136,20	153,66	41,79	80,65	106,70	116,84	126,23	130,48	80,82	105,58	111,93	123,31	132,54	137,72
SCU 120	44,96	89,23	127,58	149,21	171,46	192,96	57,49	106,95	130,82	144,15	157,44	164,19	88,11	127,66	136,24	151,74	165,15	171,74
T 0	53,32	95,49	130,94	148,37	164,12	176,88	41,25	79,68	96,94	104,11	109,28	112,70	61,83	97,37	102,77	112,08	118,87	123,08
U 60	65,82	114,48	159,56	180,49	195,79	210,58	55,83	108,80	129,35	136,72	141,67	146,10	85,98	123,24	127,72	137,98	147,19	152,00
U 120	60,23	140,41	191,25	212,05	223,81	239,32	82,20	154,51	170,88	178,51	185,26	189,11	108,53	156,56	162,19	172,86	179,78	183,61
SCU 60	59,99	108,30	154,48	175,78	194,97	212,73	42,69	88,99	113,08	122,86	130,13	134,12	59,61	100,65	106,22	117,74	125,50	130,53
SCU 120	65,23	121,16	170,08	194,83	215,21	233,30	61,24	113,56	140,07	150,70	163,33	169,82	67,30	113,00	119,93	133,05	147,48	156,53

T = testemunha

U = uréia não coberta

SCU = uréia coberta com enxofre

Tabela 8. Quantidade de água destilada adicionada mensalmente nos tubos percoladores, durante seis meses de amostragem mensal de lixiviado, para três tipos de solos (média de 3 repetições). Botucatu, 1977.

Tratamentos		ml de água destilada adicionada nos tubos percoladores																		
		Latossol Roxo						Latossol Vermelho Escuro						Latossol Vermelho Amarelo						
pH	Fertilizantes	Doses kg N/ha	Meses						Meses											
			1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª						
original do solo	T*	0	883	618	667	668	645	685	851	750	669	718	694	690	958	710	783	774	802	768
	U*	60	867	497	650	655	677	682	853	784	685	695	705	700	949	767	778	757	795	781
	U	120	855	586	633	637	642	697	857	770	676	706	708	712	970	740	769	773	790	776
	SCU*	60	854	600	618	644	623	673	857	780	658	717	700	693	993	734	794	784	812	783
	SCU	120	876	620	650	645	651	676	846	775	685	695	692	696	980	750	747	762	783	774
modificado para o valor 6,5	T	0	820	543	589	597	603	692	842	786	678	704	798	695	968	728	761	783	797	790
	U	60	847	574	600	593	586	696	830	763	690	700	695	668	983	751	790	760	805	763
	U	120	872	618	666	672	654	683	814	768	696	698	707	704	955	747	748	785	789	791
	SCU	60	847	588	617	623	643	687	838	777	673	685	693	684	970	748	773	764	798	785
	SCU	120	866	620	670	653	648	678	820	803	682	694	689	694	976	759	782	773	791	779

T = testemunha

U = uréia não coberta

SCU = uréia coberta com enxofre

Tabela 9. Quadrados médios obtidos na análise de variância das perdas acumuladas de $N(N-NH_4^+ + K-MO_3^-)$ pela seis meses de amostragem mensal de lixiviado, na dependência do pH do solo, tipos e doses de fertilizantes, para um Latossol Roxo. Botucatu, 1977.

Causas de variação	G.L.	Meses					
		1º	2º	3º	4º	5º	6º
pH (pH)	1	1.968,30*	6.229,73*	12.959,24*	13.214,89*	13.174,20*	12.179,47*
Adubação (A)	1	270,33	2.520,83*	6.552,12*	8.461,99*	10.164,35*	12.776,78*
Fertilizante (F)	1	33,44	1.191,73*	1.866,14*	1.949,59*	1.374,87*	1.035,83
Dose (D)	1	99,27	1.934,29*	4.308,64*	5.450,82*	6.220,72*	7.189,54*
pH x A	1	19,00	34,63	4,40	6,35	34,70	96,53
pH x F	1	22,72	11,34	121,99	285,31	651,98	752,97
pH x D	1	107,99	12,50	59,82	130,71	390,67	595,51
F x D	1	0,15	198,72	314,87	147,76	118,77	131,74
pH x F x D	1	185,98	3,62	3,86	211,88	1,90	2,16
Tratamentos	9	300,80	1.348,60	2.910,12	3.296,51	3.570,24	3.862,28
Blocos	2	24,01	3,85	58,32	38,47	0,79	25,65
Resíduo	18	69,83	120,00	180,74	250,66	274,83	307,66
Total	29						
Coefficiente de variação (%)		15,82	10,79	9,57	9,89	9,32	9,02

Tabela 10. Quadrados médios obtidos na análise de variância das perdas acumuladas de $N(N-NH_4^+ + N-NO_3^-)$ pela ra seis meses de amostragem mensal de lixiviado, na dependência do pH do solo, tipos e doses de fertilizantes, para um Latossol Vermelho Escuro. Botucatu, 1977.

Causas de variação	G.L.	Meses					
		1º	2º	3º	4º	5º	6º
pH (pH)	1	QM 268,80	QM 584,24*	QM 509,15	QM 580,89	QM 429,18	QM 466,03
Adubação (A)	1	3.179,71	11.252,42*	14.296,25*	15.977,36*	17.679,48*	18.163,17*
Fertilizante (F)	1	1.533,60*	6.806,73*	4.833,40*	3.408,17*	2.403,80*	1.977,99*
Dose (D)	1	3.685,03*	8.959,85*	9.124,05*	9.917,53*	10.945,29*	11.454,65*
pH x A	1	202,67	649,42	832,19	911,02	1.062,25	999,71
pH x F	1	6,77	65,60	140,79	130,39	64,65	38,25
pH x D	1	32,46	73,71	134,28	110,17	111,84	112,92
F x D	1	352,44	1.046,49*	1.083,13*	796,49*	662,44	484,74
pH x F x D	1	84,41	41,77	228,23	231,88	169,44	170,67
Tratamentos	9	1.038,43	3.275,58	3.464,61	3.568,66	3.725,38	3.763,12
Blocos	2	25,95	46,89	10,57	8,71	23,31	19,92
Resíduo	18	86,81	122,35	138,69	167,70	185,84	185,16
Total	29						
Coefficiente de variação (%)		17,37	10,57	9,35	9,60	9,59	9,29

Tabela 11. Quadrados médios obtidos na análise de variância das perdas acumuladas de $N(N-NH_4^+ + N-NO_3^-)$ por seis meses de amostragem mensal de lixiviado, na dependência do pH do solo, tipos e doses de fertilizantes, para um Latossol Vermelho Amarelo. Botucatu, 1977.

Causas de variação		G.L.	Meses					
			1º	2º	3º	4º	5º	6º
		QM	QM	QM	QM	QM	QM	QM
pH (pH)	1	5.143,85 *	2.644,60 *	2.982,43 *	2.921,92 *	2.419,76 *	2.401,11 *	
Adubação (A)	1	3.668,05 *	7.008,78 *	7.432,43 *	8.585,21 *	9.255,18 *	10.002,65 *	
Fertilizante (F)	1	10.902,62 *	13.234,47 *	12.655,55 *	11.212,14 *	9.212,79 *	7.889,82 *	
Dose (D)	1	3.062,98 *	7.547,66 *	8.054,21 *	8.756,97 *	9.963,38 *	10.293,29 *	
pH x A	1	399,42	7,21	782,95	935,88	786,33	813,75	
pH x F	1	467,19	1.144,71	1.182,73	1.044,12	891,33	849,78	
pH x D	1	335,18	945,64	944,76	1.030,18	1.087,57 *	967,87 *	
F x D	1	1.368,21 *	1.982,16 *	1.864,55 *	1.601,65 *	862,08	780,56	
pH x F x D	1	353,36	361,85	315,23	257,02	267,73	453,18	
Tratamentos	9	2.855,65	3.954,59	4.023,87	4.038,34	3.860,68	3.828,00	
Blocos	2	794,76	359,45	299,69	289,97	277,56	107,02	
Resíduo	18	239,31	267,75	277,60	259,93	234,90	206,22	
Total	29							
Coeficiente de variação (%)		17,24	12,83	12,46	11,15	10,03	9,08	

Tabela 12. Desdobramento das interações entre diferentes tipos e doses de uréia, para perdas acumuladas de $N(N-NH_4^+ + N-NO_3^-)$, em seis meses de amostragem mensal de lixiviado, para um Latossol Vermelho Escuro. Botucatu, 1977.

Causas de variação	G.L.	Meses					
		1º	2º	3º	4º	5º	6º
		QM	QM	QM	QM	QM	QM
F dentro de D ₁	1	207,83	1.257,68*	670,21*	454,73	271,23	252,18
F dentro de D ₂	1	1.678,20	6.595,55*	5.246,32*	3.749,93*	2.795,02	2.210,55
D dentro de F ₁	1	3.158,36	8.065,27*	8.247,24*	8.202,21*	8.496,57	8.526,07
D dentro de F ₂	1	879,11	1.941,07*	1.959,94*	2.565,81*	3.111,16	3.613,31

F = uréia

F₁ = uréia não coberta

F₂ = uréia coberta

D = dose

D₁ = dose 60 kg N/ha

D₂ = dose 120 kg N/ha

Tabela 13. Desdobramento das interações entre diferentes pH de solo e doses de uréia e diferentes tipos e doses de uréia, para perdas acumuladas de $N(N-NH_4^+ + N-NO_3^-)$, em seis meses de amostragem mensal de lixiviado, para um Latossol Vermelho Amarelo. Botucatu, 1977.

Causas de variação	G.L.	Meses					
		1º	2º	3º	4º	5º	6º
pH dentro de D ₁	1	1.500,36	371,41	468,88	447,98	277,54	324,48
pH dentro de D ₂	1	4.176,48	3.938,93	4.240,90	4.429,83	4.006,61*	3.845,28*
D dentro de pH ₁	1	2.712,31	6.918,24	7.257,98	7.897,12	8.817,26*	8.786,92*
D dentro de pH ₂	1	685,84	1.575,06	1.740,98	1.890,03	2.233,69*	2.474,23*
F dentro de D ₁	1	2.273,15*	2.486,59*	2.402,39*	2.169,22*	2.219,25	1.853,56
F dentro de D ₂	1	9.997,68*	12.730,31*	12.117,71*	10.644,56*	7.855,62	6.816,81
D dentro de F ₁	1	4.262,74*	8.632,82*	8.634,61*	8.924,38*	8.343,47	8.371,44
D dentro de F ₂	1	168,45	897,01	1.084,14	1.434,23*	2.481,99	2.702,40
pH = pH		D ₂ = dose 120 kg N/ha					
pH ₁ = pH não modificado		F = uréia					
pH ₂ = pH modificado para 6,5		F ₁ = uréia não coberta					
D = dose		F ₂ = uréia coberta com enxofre					
D ₁ = dose 60 kg N/ha							

Tabela 14. Médias das perdas acumuladas de $N(N-NH_4^+ + N-NO_3^-)$, para seis meses de amostragem mensal de lixiviado, para dois tipos de uréia, compreendendo duas doses (60 e 120 kg N/ha) e dois valores de pH do solo (pH 4,4 e 6,5) para um Latossol Roxo. Botucatu, 1977.

Tipos de uréia	Médias mensais (mg N)					
	1º	2º	3º	4º	5º	6º
U	55,51	113,19 a	156,69 a	178,14 a	194,60 a	211,30
SCU	53,14	99,10 b	139,05 b	160,27 b	179,46 b	198,17

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 15. Médias das perdas acumuladas de $N(N-NH_4^+ + N-NO_3^-)$, para seis meses de amostragem mensal de lixiviado, para dois tipos de uréia, compreendendo duas doses (60 e 120 kg N/ha) e dois valores de pH do solo (pH 4,3 e 6,5) para um Latossol Vermelho Escuro. Botucatu, 1977.

Tipos de uréia	Médias mensais (mg N)					
	1º	2º	3º	4º	5º	6º
U	66,80 a	131,23 a	151,06 a	158,31 a	164,31 a	167,82 a
SCU	50,81 b	97,54 b	122,67 b	133,64 b	144,29 b	149,66 b

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 16. Médias das perdas acumuladas de $N(N-NH_4^+ + N-NO_3^-)$, para seis meses de amostragem mensal de lixiviado, para dois tipos de uréia, compreendendo duas doses (60 e 120 kg N/ha) e dois valores de pH (pH 4,3 e 6,5) para um Latossol Vermelho Amarelo. Botucatu, 1977.

Tipos de uréia	Médias mensais (mg N)					
	1º	2º	3º	4º	5º	6º
U	116,59a	158,65a	164,51a	174,69a	181,12a	185,35a
SCU	73,97b	111,73b	118,59b	131,47b	142,66b	149,13b

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 17. Médias das perdas acumuladas de $N(N-NH_4^+ + N-NO_3^-)$, para seis meses de amostragem mensal de lixiviado, para duas doses de uréia aplicadas (60 e 120 kg N/ha), compreendendo dois tipos de uréia (uréia coberta com enxofre e não coberta) e dois valores de pH (pH 4,4 e 6,5) para um Latossol Roxo. Botucatu, 1977.

Doses de uréia kg N/ha	Médias mensais (mg N)				
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª
60	52,29	97,17b	134,47b	154,21b	170,93b
					187,43b
120	56,36	115,12a	161,27a	184,27a	203,13a
					222,04a

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 18. Médias das perdas acumuladas de $N(N-NH_4^+ + N-NO_3^-)$, para seis meses de amostragem mensal de lixiviado, para duas doses de uréia aplicadas (60 e 120 kg N/ha), compreendendo dois tipos de uréia (uréia coberta com enxofre e não coberta) e dois valores de pH (pH 4,3 e 6,5) para um Latossol Vermelho Escuro. Botucatu, 1977.

Doses de uréia kg N/ha	Médias mensais (mg N)					
	1º	2º	3º	4º	5º	6º
60	46,31b	95,06b	117,37b	126,01b	143,84b	136,89b
120	71,20a	133,71a	156,36a	165,94a	175,65a	180,58a

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 19. Médias das perdas acumuladas de $N(N-NH_4^+ + N-NO_3^-)$, para seis meses de amostragem mensal de lixiviado, para duas doses de uréia aplicadas (60 e 120 kg N/ha), compreendendo dois tipos de uréia (uréia coberta com enxofre e não coberta) e dois valores de pH (pH 4,3 e 6,5) para um Latossol Vermelho Amarelo. Botucatu, 1977.

Doses de uréia kg N/ha	Médias mensais (mg N)					
	1º	2º	3º	4º	5º	6º
60	83,98b	117,48b	123,23b	133,98b	141,89b	146,51b
120	106,58a	152,90a	159,87a	172,18a	181,91a	187,98a

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 20. Médias das perdas acumuladas de $N(N-NH_4^+ + N-NO_3^-)$, em seis meses de amostragem mensal de lixiviado, para dois valores de pH, compreendendo dois tipos de uréia (uréia coberta com enxofre e não coberta) e duas doses (60 e 120 kg N/ha), para um Latossol Roxo. Botucatu, 1977.

Valores de pH	Médias mensais (mg N)					
	1º	2º	3º	4º	5º	6º
4,4	44,72b	87,15b	119,69b	139,06b	156,87b	174,27b
6,5	60,92a	115,97a	161,26a	181,04a	198,78a	214,56a

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 21. Médias das perdas acumuladas de $\text{N}(\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-)$, em seis meses de amostragem mensal de lixiviado, para dois valores de pH, compreendendo dois tipos de uréia (uréia coberta com enxofre e não coberta) e duas doses (60 e 120 kg N/ha), para um Latossol Vermelho Escuro. Botucatu, 1977.

Valores de pH	Médias mensais (mg N)					
	1º	2º	3º	4º	5º	6º
4,3	50,66	100,28b	121,82	130,45	138,37	142,49
6,5	56,64	109,11a	130,06	139,25	145,93	150,37

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 22. Médias das perdas acumuladas de $N(N-NH_4^+ + N-NO_3^-)$, em seis meses de amostragem mensal de lixiviado, para dois valores de pH, compreendendo dois tipos de uréia (uréia coberta com enxofre e não coberta) e duas doses (60 e 120 kg N/ha), para um Latossol Vermelho Amarelo. Botucatu, 1977.

Valores de pH	Médias mensais (mg N)				
	1º	2º	3º	4º	5º
4,3	102,84a	136,91a	143,64a	154,48a	161,72a
6,5	76,65b	118,13b	123,70b	134,75b	143,76b

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 23. Médias das perdas de $N(N-NH_4^+ + N-NO_3^-)$, para as interações tipos de fertilizantes e doses de uréia, em seis meses de amostragem mensal de lixiviado, compreendendo dois tipos de uréia (uréia coberta com enxofre e não coberta) para um Latossol Vermelho Escuro. Botucatu, 1977.

Doses		Médias mensais (mg N)											
		Dose 60 kg N/ha						Dose 120 kg N/ha					
Fertilizantes		1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª
U		50,57	105,29aB	124,83aB	132,16B	137,69	141,47	83,01	157,14aA	177,26aA	184,45aA	190,91	194,15
SCU		42,24	84,82bB	109,89bB	119,85B	128,18	132,30	59,36	110,26bA	135,45bA	149,09bA	160,38	167,00

Letras minúsculas comparam médias de fertilizantes nas colunas.

Letras maiúsculas comparam médias das doses dentro de cada época e de cada fertilizante nas linhas.

Médias seguidas da mesma letra não diferem ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 24. Médias das perdas de $N(N-NH_4^+ + N-NO_3^-)$, para as interações tipos de fertilizantes e doses de uréia, em seis meses de amostragem mensal de lixiviado, compreendendo dois tipos de uréia (uréia coberta com enxofre e não coberta) para um Latossol Vermelho Amarelo. Botucatu, 1977.

Fertilizantes	Médias mensais (mg N)										
	Dose 60 kg N/ha					Dose 120 kg N/ha					
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	1º	2º	3º	4º	5º
U	97,74aB	131,83aB	137,37aB	147,42aB	154,75	158,98	135,43aA	185,47aA	191,64aA	201,96aA	207,49
SCU	70,21b	103,04b	109,07b	120,53bB	127,55	134,12	77,71b	120,33b	128,08b	142,39bA	156,31

Letras minúsculas comparam médias de fertilizantes nas colunas.

Letras maiúsculas comparam médias das doses de cada época e de cada fertilizante nas linhas.

Médias seguidas da mesma letra não diferem ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 25. Médias das perdas de $N(N-NH_4^+ + N-NO_3^-)$ para as interações pH do solo e doses de uréia, em seis meses de amostragem mensal de lixiviado, compreendendo dois tipos de uréia (uréia coberta com enxofre e não coberta) para um Latossol Vermelho Amarelo. Botucatu, 1977.

Doses pH	Médias mensais (mg N)													
	Dose 60 kg N/ha						Dose 120 kg N/ha							
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª		
4,3	95,16	123,00	129,48	140,08	147,43	B	151,75	B	125,23	171,02	178,66	191,39	200,17a	205,87a
6,5	72,8	111,95	116,97	127,86	136,35	B	141,27	B	87,92	134,78	141,06	152,97	163,63b	170,07b

Letras minúsculas comparam médias em relação ao pH nas colunas.

Letras maiúsculas comparam médias das doses dentro de cada época e de cada pH nas linhas.

Médias seguidas das mesmas letras não diferem ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 26. Porcentagens acumulativas de N perdido por lixiviação em relação à quantidade inicialmente colocada, para seis meses de amostragem mensal de lixiviado, compreendendo dois valores de pH (pH 4,3 e 6,5), para um Latossol Vermelho Escuro. Botucatu, 1977.

Relações	% de perda de N em relação à quantidade inicial (meses)				
	1º	2º	3º	4º	5º
$F_1 \times D_1$	28	62	68	69	70
$F_1 \times D_2$	40	72	75	76	77
$F_2 \times D_1$	15	30	44	50	55
$F_2 \times D_2$	21	35	42	47	55
F_1 = uréia não coberta	D_1 = dose 60 kg N/ha				
F_2 = uréia coberta com enxofre	D_2 = dose 120 kg N/ha				

Tabela 27. Porcentagens acumulativas de N perdido por lixiviação em relação à quantidade inicialmente colocada, para seis meses de amostragem mensal de lixiviado, compreendendo dois valores de pH (pH 4,3 e 6,5) para um Latossol Vermelho Amarelo. Botucatu, 1977.

Relações	% de perda de N em relação à quantidade inicial (meses)				
	1º	2º	3º	4º	5º
F ₁ x D ₁	50	58	58	61	62
F ₁ x D ₂	57	74	75	76	75
F ₂ x D ₁	4	10	11	16	21
F ₂ x D ₂	8	19	21	26	35
F ₁ = uréia não coberta	D ₁ = dose 60 kg N/ha				
F ₂ = uréia coberta com enxofre	D ₂ = dose 120 kg N/ha

Figura 1. Variação das perdas por lixiviação de $N(NH_4^+ + NO_3^-)$ para dois tipos de uréia em um Latossol Roxo (perdas acumuladas).

Figura 2. Variação das perdas por lixiviação de $N(NH_4^+ + N-NO_3^-)$ para dois tipos de uréia em um Latossol Vermelho Escuro fase arenosa (perdas acumuladas).

Figura 3. Variação das perdas por lixiviação de $N(NH_4^+ + N-NO_3^-)$ para dois tipos de uréia em um Latossol Vermelho Amarelo fase arenosa (perdas acumuladas).

Figura 4. Variação das perdas por lixiviação de $N(N-NH_4^+ + N-NO_3^-)$ em função de dois tipos e duas doses de uréia em um Latossol Vermelho Escuro fase arenosa (perdas acumuladas).

Figura 5. Variação das perdas por lixiviação de $\text{N}(\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-)$ em função de dois tipos e duas doses de uréia em um latossol Vermelho Amarelo fase arenosa (perdas acumuladas).

6. CONCLUSÕES

As seguintes conclusões puderam ser obtidas através deste trabalho:

a) A uréia coberta com enxofre (SCU) reduziu as perdas de nitrogênio, através do processo de lixiviação, em comparação à uréia não coberta, para os três tipos de solos estudados.

b) A uréia coberta com enxofre (SCU) apresentou tendência de lenta liberação de nitrogênio, para os três tipos de solos estudados.

c) A influência do pH foi variável, dependendo do tipo de solo.

d) O pH não influenciou nas perdas de nitrogênio quando se utilizou a uréia coberta com enxofre (SCU) isoladamente, razão pela qual se conclui que não houve influência do

mesmo na liberação do nitrogênio retido no grânulo de SCU, pa
ra os três tipos de solos estudados.

e) Há necessidade de que nos estudos com uréia
coberta com enxofre sejam devidamente considerados as épocas
de maior necessidade do nitrogênio no ciclo da cultura e o e
feito residual deste nos ciclos ou culturas posteriores.

7. SUMMARY

This research aimed to compare the losses of nitrogen by lixiviation from sulphur coated urea (SCU) and uncoated urea and to verify the effect of pH on those losses. The experiment was conducted in the following types of "cerrado" soils of Brazil: Latosolic B Terra Roxa, Dark Red Latosol sandy phase e Red-Yellow Latosol sandy phase.

The soils were placed in plastic tubes closed at the bottom with a nylon screen up to the height of 40 cm. The urea was spread in the upper 10 cm of the soil column. Each soil had received two doses of urea (60 and 120 kg N/ha), triple superphosphate, and potassium chloride and two pH values were used: the original soil pH and at the value of obtained through the addition of CaCO_3 .

The experiment was set on randomized blocks

design with a factorial scheme.

The samples were obtained every 30 days during six months. Enough water was added in the soil to reach field capacity when the samples of the lixiviated were collected. Nitrogen ($\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$) was determined in the samples. The following conclusions were drawn:

a) For the three types of soils, the sulphur coated urea (SCU) decreased the losses of nitrogen through the lixiviation process in comparison with the uncoated urea.

b) For the three types of soils, the sulphur coated urea (SCU) presented evidence of slow release of nitrogen.

c) The influence of pH varied depending on the type of soil.

d) For the three types of soils, there was no influence of the pH on the losses of nitrogen, when sulphur coated urea (SCU) was used alone. This may lead to the conclusion that there is no influence of pH on the release of nitrogen retained in the granules of SCU.

e) In the studies with sulphur coated urea it should be considered the periods of greater demand of nitrogen by the plant and the residual effect of these on the cycle and subsequent cultures.

8. LITERATURA CITADA

- ABNOLD, P.W., 1954. Losses of nitrous oxide from soil. J. Soil Sci., 5: 116-126.
- ABRÃO, J.R., 1976. Avaliação da eficiência de fontes, doses e combinações de adubos nitrogenados sobre o rendimento do trigo. Trigo e Soja, Boletim Técnico da Fecotrigo, nº 14, p. 12-14.
- ACQUAYE, D.K. e CUNNINGHAM, R.K., 1965. Losses of nitrogen by ammonia volatilization from surface-fertilized tropical forest soils. Trop. Agr. (London), 42: 281-292.
- ALEKSIC, Z.; BROESHART, H. e MIDDELBOE, V., 1968. Shallow depth placement of $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ in submerged rice soils as related to gaseous losses of fertilizer nitrogen and fertilizer efficiency. Plant and Soil, 29: 338-342.
- ALLEN, S.E.; HUNT, C.M. e TERMAN, G.L., 1971. Nitrogen release from sulfur-coated urea, as affected by coating weight, placement and temperature. Agron. J., 63: 529-533.

- ALLEN, S.E. e MAYS, D.A., 1971. Sulphur-coated fertilizers for controlled release: agronomic evaluation. J. Agr. Food Chem., 19: 809-812.
- ALLISON, F.E., 1955. The enigma of soil nitrogen balance sheets. Adv. in Agron., 7: 213-250.
- ALLISON, F.E., 1966. The fate of nitrogen applied to soils. Adv. in Agron., 18: 219-258.
- ARMY, T.J., 1963. Coated fertilizers for the controlled release of plant nutrients. Agric. Chem., 18 (8): 26.
- AVELAR, B.C., 1971. Gênese e classificação de solos de uma catena da região de São Manuel - S.P., Piracicaba, ESALQ/USP, 95 p. (Tese de Mestrado).
- BLASCO, M.L. e CORNFIELD, A.H., 1966. Volatilization of nitrogen as ammonia from acid soils. Nature (London), 212: 1279-1280.
- BREMNER, J.M., 1967. Nitrogenous compounds. In: McLAREN, A. D. e G.H. PETERSON, Eds. Soil Biochemistry. Nova York, Marcel Dekker Inc., p. 19-66.
- BREMNER, J.M. e SHAW, K., 1958. Denitrification in soil. I. Methods of investigation. J. Agr. Sci., 51: 22-52.
- BROADBENT, F.E. e MIKKELSEN, D.S., 1968. Influence of placement on uptake of tagged nitrogen by rice. Agron. J., 60: 674-677.
- CARPENA, O.; ORTUÑO, A. e COSTA, F., 1966. Hydrolysis and nitrification of urea in soil. Agrochimica, 10: 305-321.
- CARVALHO, W.A.; ESPINDOLA, C.R. e PACCOLA, A.A., 1973. Levantamento Pedológico da Fazenda Experimental Iageado. Botucatu Científica (no prelo).

- CATANI, R.A. e JACINTHO, A.O., 1974. Avaliação da Fertilidade do Solo. Métodos de Análise. Piracicaba, Editora Livroce
res Ltda., 61 p.
- COOKE, E.W. e CUNNINGHAM, R.K., 1957. Inorganic nitrogen in soils. Rothamsted Exp. Sta. Report, 1956: 53-54.
- CORNFIELD, A.H., 1952. The mineralisation of the nitrogen of soil during incubation: influence of pH, total nitrogen, and organic carbon contents. J. Sci. Food Agr., 3: 343-349.
- CORNFIELD, A.H., 1959. Mineralisation, during incubation, of the organic nitrogen compounds in soils as related to soil pH. J. Sci. Food Agr., 10: 27-28.
- DALAL, R.C., 1974. Comparative efficiency of soluble and controlled-release sulfur-coated urea nitrogen for corn in Tropics. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 38 (6): 970-974.
- DALAL, R.C. e PRASAD, M., 1975. Comparison of sulphur-coated urea and ammonium sulphate amended with N-serve as sources of nitrogen for sugarcane. J. Agr. Sci., Cambridge, 85 (3): 427-433.
- DANCER, W.S.; PETERSON, L.A. e CHESTERS, G., 1973. Ammonification and nitrification of N as influenced by soil pH and previous N treatments. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 37: 67-69.
- DE, P.K. e DIGAR, S., 1954. Loss of nitrogen gas from water
-logged soils. J. Agr. Sci., 44: 129-132.
- DIAMOND, R.B. e MYERS, F.J., 1972. Crop responses and related benefits from SCU. Sulphur Inst. J., 8 (4): 9-11.

- DUNAVIN, L.S., 1975. Production of rye and ryegrass forage with sulphur-coated urea and ammonium nitrate. Agr. J., 67 (3): 415-417.
- EIRA, P.A.; ALMEIDA, D.L. e ALVAHYDO, R., 1968. Movimento do íon nitrato, em solo da série Itaguaí, nas condições naturais de campo. Pesq. Agropec. Bras., 3: 267-273.
- ENDELMAN, F.J.; KEENEY, D.R.; GILMOUR, J.T. e SAFFIGNA, P.G., 1974. Nitrate and chlorid movement in the Plainfield loamy sand under intensive irrigation. Journal Environmental Quality, 3 (3): 295-298.
- FREIBERG, S.R. e PAYNE, P., 1957. Foliar absorption of urea and urease activity in banana plants. Proc. Am. Soc. Hort. Sci., 69: 226-234.
- GASCHO, G.J. e SNYDER, G.H., 1976. Sulfur-coated fertilizers for sugarcane: I. Plant Response to sulfur-coated urea. Soil. Sci. Soc. Am. J., 40 (1): 119-122.
- HARMSSEN, G.W. e KOLENBRANDER, G.J., 1965. Soil inorganic nitrogen. In: BARTHOLOMEW, W. e F. CLARK, Eds. Soil Nitrogen. Madison (Wisconsin), American Society of Agronomy, 615 p. (Agronomy 10).
- HEILMAN, M.D.; THOMAS, J.R. e NAMKEN, L.N., 1966. Reduction of nitrogen losses under irrigation by coating fertilizer granules. Agron. J., 58: 77-80.
- HUFFMAN, E.O.; SHIRLEY, Jr., A.R.; BLOUIN, G.M. e DANA, B.P., 1975. Experience of TVA with sulfur-coated urea and other controlled-release fertilizers. Seminar on Technical and Economic Aspects of the Fertilizer Industry. Helsinki (Finland), 8 p.

- IMPEY, R.L. e JONES, W.W., 1960. Rate of absorption of urea by intact leaves of Washington Navel orange. Proc. Am. Soc. Hort. Sci., 76: 181-185.
- ISOBE, M.; BUREN, L. e YAMASAKI, Y., 1973. Controlled release fertilizers. Hawaiian Sugar Planters' Association, Exp. Sta. Annu. Rep., 22-23.
- ISOBE, M. e YAMASAKI, Y., 1969. Controlled-release nitrogen experiments continue. Hawaiian Sugar Planters' Association, Exp. Sta. - Annu. Rep., 36.
- ISOBE, M. e YAMASAKI, Y., 1970. Controlled-release nitrogen experiment harvested. Hawaiian Sugar Planters' Association, Exp. Sta. - Annu. Rep., 48.
- JACOBSON, H.G.M.; SWANSON, C.L.W. e SMITH, E., 1948. Effect of various fertilizer cations and anions on soil reaction, leaching, nitrification of urea, and related characteristics in an uncropped soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 12: 299.
- JOHNSTON, W.R.; ITTIHADIEH, F.; DAUN, R.M. e PILLSBURY, A.F., 1965. Nitrogen and phosphorus in tile drainage effluent. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 29: 287-289.
- KIEHL, J.C. e COBRA NETTO, A., 1976. Nitrificação da amônia em alguns solos do município de Piracicaba. O Solo. Piracicaba, 58 (2): 32-39.
- KÜPPER, A.; GROHMAN, F. e GARGANTINI, H., 1953. Movimento de íons NO_3^- , NH_4^+ , K^+ e $\text{PO}_4^{=}$, em solos Massapé, Roxa Misturada e Arenito Bauru. Campinas. Instituto Agronômico (Boletim nº 34).

- LEAL, J.R. e ALVAHYDO, R., 1971. Transformação e deslocamento do íon amônio em solo da série Itaguaí. Pesq. Agropec. Bras., 6: 129-135.
- LIEGEL, E.A. e WALSH, L.M., 1976. Evaluation of sulfur-coated urea (SCU) applied to irrigated potatoes and corn. Agron. J., 68 (3): 457-463.
- MACHADO, C.P. e MAGALHÃES, A.F., 1973. Eficiência da uréia e da uréia recoberta com enxofre no rendimento do arroz irrigado. Agronomia Sul-Riograndense. Porto Alegre, 9 (2):195-203.
- MAC RAE, I.C., ANCAJAS, R.R. e SALANDANAN, S., 1968. The fate of nitrate nitrogen in some tropical soils following submergence. Soil Sci., 105: 327-334.
- MAGALHÃES, A.F., 1976. Eficiência da uréia recoberta com enxofre na cultura do trigo. Agronomia Sul-Riograndense. Porto Alegre, 12 (2): 133-140.
- MALAVOLTA, E., 1967. Manual de Química Agrícola - Adubos e Adubação. São Paulo, Biblioteca Agronômica "Ceres", 2ª ed., 606 p.
- MALAVOLTA, E., 1976. Manual de Química Agrícola. São Paulo, Editora Agronômica Ceres. 528 p.
- MARCOS, Z.Z., 1970. Práticas de Física de Solos. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", (mimeografado).
- MAYS, D.A. e TERMAN, G.L., 1969. Sulfur-coated urea and uncoated soluble nitrogen fertilizers for fescue forage. Agron. J., 61: 489-492.
- McCLELLAN, G.H. e SCHEIB, R.M., 1973. Characterization of sulphur coatings on urea. Sulphur Inst. J., 9 (3-4).

- McCLELLAN, G.H. e SCHEIB, R.M., 1975. Texture of sulfur coatings on urea. Adv. in Chem. Series, 140: 18-32.
- MELO, W.J., 1974. Variação do N-amoniaco e N-nítrico em um Latossol Roxo cultivado com milho (*Zea mays*, L.) e com lablab (*Dolichos lablab*, L.). Piracicaba, ESALQ/USP, 104 p. (Tese de Doutorado).
- MISLEVY, P. e DANTZMAN, C.L., 1974. Comparison of ammonium nitrate and SCU - (sulphur) on ryegrass production in South Central Florida. Soil Crop. Sci. Soc. Fla. Proc., 33: 199-201.
- MONTAGNE, H. e ISOBE, M., 1970. Movement of broadcast potassium nitrate and urea in soils. Hawaiian Sugar Planters' Association, Exp. Sta. - Annu. Rep., 45-46.
- MORAKUL, S. e EL-HAMID, W.A., 1975. Studies on quantitative leachability of nitrogen from soil treated with various nitrogen fertilizers. Acta Agriculturae Scandinavica, 25 (2): 150-160.
- MORRIL, L.G. e DAWSON, J.E., 1967. Patterns observed for the oxidation of ammonium to nitrate by soil organisms. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 31: 757-760.
- NIELSEN, H.J. e HANSEN, E.H., 1976. New nitrate ion-selective electrode based on quaternary ammonium compounds in nonporous polymer membranes. Anal. Chem. Act., 85: 1-20.
- OERTLI, J.J. e LUNT, O.R., 1962. Controlled release of fertilizer minerals by encapsulating membranes: I. Factors influencing the rate of release. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 26: 584-587.

PARISH, D.H.; ROSS, L.; FIGON, C.L. e CAVALOT, C., 1965.

1. Nitrogen studies. Mauritius Sugar Ind. Res. Inst., Annu. Rep., 11: 41-59.

PARR, J.F., 1967. Biochemical considerations for increasing the efficiency of nitrogen fertilizers. Soils and Fertilizers, 30 (3): 207-213.

PATRICK, Jr., W.H. e PETERSON, F.J., 1967. Higher rice yields by preventing nitrogen loss. Rice J., 70 (9): 10-11.

PATRICK, W.H., Jr. e WYATT, R., 1964. Soil nitrogen loss as a result of alternate submergence and drying. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 28: 647-653.

PRASAD, M., 1976. The release of nitrogen from sulfur-coated urea as affected by soil moisture, coating weight, and method of placement. Soil Sci. Soc. Am. J., 40 (1): 134-136.

PRASAD, R.; RAJALE, G.B. e LAKHDIVE, B.A., 1971. Nitrification retarders and slow-release nitrogen fertilizers. Adv. in Agron., 23: 337-383.

RANEY, W.A., 1960. The dominant role of nitrogen in leaching losses from soil in humid regions. Agron. J., 52: 563-566.

RINDT, D.W., BLOUIN, G.M. e GETSINGER, J.G., 1968. Sulfur coating on nitrogen fertilizer to reduce dissolution rate. J. Agr. Food Chem., 16 (50): 773-778.

RUZICKA, J.; HANSEN, E.H. e ZAGATTO, E.A., 1977. Flow injection analysis. Part VII. Use of ion-selective electrodes for rapid analysis of soil extracts and blood serum. Determination of potassium, sodium and nitrate. Anal. Chem. Act., 88: 1-16.

- SARAVIA, A.M., 1970. Processos de fixação, imobilização e mineralização do amônio no solo, avaliados no laboratório com o emprego de ^{15}N . Piracicaba, ESALQ/USP, 62p. (Tese de Mestrado).
- SHARMA, S.N., 1973. A note on relative efficiency of sulphur-coated urea (slow-release N-fertilizer) and urea in rice-soils. Indian J. of Agron. 18 (3): 399-400.
- SHELTON, J.E., 1976. An evaluation of sulfur-coated urea as a preplant total season nitrogen supply for trellised tomatoes. Soil Sci. Soc. Am. J., 40 (1): 126-129.
- SMITH, G.E., 1952. Soil Fertility and corn production. Minnesota Agr. Exp. Sta. Bull., 583, 67 p.
- SNYDER, G.H. e GASCHO, G.J., 1976. Sulfur-coated fertilizers for sugarcane: II. Release characteristics of sulfur-coated urea and KCl. Soil Sci. Soc. Am. J., 40 (1): 122-126.
- STEVENSON, I.L., 1969. Biochemistry of soil. In: BEAR, F., Ed. Chemistry of the Soil, 2ª ed. Nova York, Cincinatti, Toronto, Londres, Melbourne, Van Nostrand Reinhold Co..
- TALLEYRAND, H. e HUGO-LÓPEZ, M.A., 1976. Effect of five levels and three sources of N on sweetpotato yields on an Ultisol. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico, 60 (1): 9-14.
- TECHNICON AUTOANALYSER II, Industrial method 218-72A, Technicon Tarrytown, NY.
- TERMAN, G.L. e ALLEN, 1970. Leaching of soluble and slow-release N and K fertilizers from Labeland sand under grass and fallow. Soil Crop. Sci. Soc. Fla. Proc., 30: 130-140.

- TESKE, W. e MATZEL, W., 1976. Nitrogen leaching and utilization by plants in field lysimeters following the application of N^{15} labelled urea. Soils and Fertilizers, 1977, Vol. 40 (1) nº 174.
- THOMPSON, L.M., 1957. Nitrogen. In: Soils and Soil Fertility. Second edition. Editado por McGraw Hill Book Company, p. 215-241.
- VERDADE, F.C., 1951. Estudo da variabilidade dos nitratos num solo tipo Terra Roxa Misturada. Bragantia, 11 (10-12): 269-276.
- VOLK, G.M., 1959. Volatile loss of ammonia following surface application of urea to turf or bare soils. Agron. J., 51: 746-749.
- WAGNER, G.H. e SMITH, G.E., 1958. Nitrogen losses from soils fertilized with diferent nitrogen carriers. Soil Sci., 85: 125-129.
- WALLACE, A. e SMITH, R.L., 1954. Nitrogen interchange during decomposition of orange and avocado tree residues in soil. Soil Sci., 78: 231-242.
- WELCH, L.F. e ADAMS, F., 1976. Effect of lime on fertilizer efficiency. In: TVA Fertilizer Conference, Cincinnati (Ohio), p. 59-66.
- WELLS, B.R. e SHOCKLEY, P.A., 1975. Conventional and controlled-release nitrogen sources for rice. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 39 (3): 549-551.
- WETSELAAR, R., 1961. Nitrate distribution in tropical soils. I. Possible causes of nitrate accumulation near the surface after a long dry period. Plant and Soil, 15: 110-120.

WETSELAAR, R., 1962. Nitrate distribution in tropical soils.
III. Downward movement and accumulation of nitrate in the
subsoil. Plant and Soil, 16: 19-31.