

SEÇÃO IV - FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

EFICIÊNCIA DA FERTILIZAÇÃO NITROGENADA COM URÉIA (^{15}N) EM *Brachiaria brizantha* cv. MARANDU ASSOCIADA AO PARCELAMENTO DE SUPERFOSFATO SIMPLES E CLORETO DE POTÁSSIO⁽¹⁾

P. P. A. OLIVEIRA⁽²⁾, P. C. O. TRIVELIN⁽³⁾ & W. S. OLIVEIRA⁽⁴⁾

RESUMO

Em pastagens, a avaliação da eficiência do processo de fertilização com N-uréia é importante em virtude das altas doses utilizadas. Vários trabalhos relatam que a aplicação de uréia associada com cloreto de potássio (KCl) e superfosfato simples (SFS) pode melhorar a sua eficiência. Na recuperação de pastagens degradadas ou em sistemas de exploração intensiva, as quantidades de KCl e SFS empregadas como fertilização corretiva são altas e aplicadas em novembro, no início da estação das águas. O parcelamento do KCl e SFS associado às coberturas nitrogenadas com uréia seria de fácil adoção sem custos adicionais. Com o objetivo de avaliar este manejo, foi desenvolvido um experimento em que se realizou o balanço anual da aplicação de ^{15}N da uréia quando o SFS e, ou, o KCl foram parcelados, associados à aplicação da uréia em cinco coberturas, ou quando ambos foram aplicados de uma só vez, no mês de novembro. A maior produção de forragem ocorreu quando o SFS foi parcelado, seguido pelo parcelamento do KCl, da aplicação única de ambos e, finalmente, do parcelamento dos dois. A recuperação do N-uréia na parte aérea e no sistema solo-pastagem não diferiu com os tratamentos. Entretanto, a recuperação na coroa da planta e no sistema radicular diferiu entre os tratamentos e mostrou-se positivamente correlacionada com a produção de forragem. A recuperação de fertilizante na liteira foi favorecida pelo parcelamento do KCl. Apesar de não ter sido verificado aumento na recuperação total do sistema entre os tratamentos, o parcelamento do KCl e do SFS tem sido indicado por melhorar a recuperação do N-uréia em várias estruturas da planta, refletindo em maior produção da forrageira.

Termos de indexação: fósforo, potássio, balanço ^{15}N , pastagens, perdas nitrogenadas.

⁽¹⁾ Trabalho financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. Recebido para publicação em agosto de 2001 e aprovado em maio de 2003.

⁽²⁾ Engenheira-Agrônoma, Pesquisadora da Embrapa CNPGL. Lotada FZEA/USP. Caixa Postal 23, CEP 13635-000 Pirassunung (SP). E-mail: ppaolive@cnppl.embrapa.br

⁽³⁾ Engenheiro-Agrônomo, Prof. Associado, Laboratório de Isótopos Estáveis, CENA/USP. Bolsista CNPq, E-mail: pcotrive@cena.usp.br

⁽⁴⁾ Engenheiro-Agrônomo, Laboratório de Biologia Celular e Molecular, CENA/USP. Bolsista da FAPESP. E-mail: wsolivei@carpa.ciagri.usp.br

SUMMARY: *NITROGEN FERTILIZATION EFFICIENCY WITH UREA (¹⁵N) IN Brachiaria brizantha cv. MARANDU ASSOCIATED WITH SPLIT APPLICATION OF ORDINARY SUPERPHOSPHATE AND POTASSIUM CHLORIDE*

In pastures, the evaluation of fertilization efficiency of urea-N is important since it is applied on a massive scale. Several studies report an enhancement of the fertilizer's efficiency by associated applications of urea with potassium chloride (KCl) and ordinary superphosphate (OSP). In the recovery of degraded pastures or in intensive exploration systems, high quantities of KCl and OSP used as corrective fertilization are applied at the november, beginning of the rain season. Split applications of KCl and OSP could easily be associated with urea-N surface application without additional costs. An evaluation of this management was the objective of this experiment. The annual balance of ¹⁵N application with urea was obtained in treatments where OSP and/or KCl were split, top-dressed in five applications associated with urea, or when both were applied together in November. Highest forage production was obtained when OSP was split, followed by split KCl, the unique application of both together, and finally both split. The recovery of urea-N in the aerial part and the soil-pasture system remained unaltered by the treatments. However, the recovery of plant crown and root system differed among the treatments and was positively correlated with forage production. Fertilizer-N recovery in the litter was favored by splitting KCl. Even though the total recovery of the system was not improved by the treatments, splitting of KCl and OSP are indicated for an increased recovery of urea-N in numerous plant structures, resulting in a higher forage production.

Index terms: phosphorus, potassium, ¹⁵N balance, pastures, swards, nitrogen loss.

INTRODUÇÃO

As perdas decorrentes da fertilização nitrogenada com uréia sempre foram bastante estudadas em razão de sua grandeza. Quando se aplica uréia na superfície do solo, esta sofre o processo de hidrólise (na presença de água e urease), formando amônia (NH₃), dióxido de carbono (CO₂) e água (Sengik & Kiehl, 1995).

Dependendo das condições do meio, a amônia pode ser perdida ou retida no sistema. Em condições em que a retenção da amônia no solo não é favorecida, poderão ocorrer perdas de grande significância por volatilização. Em pastagens, a baixa CTC de solos normalmente arenosos, as altas doses de N aplicadas e sua conseqüente saturação por amônia (Kiehl, 1989a) e a presença de uma camada de liteira rica em urease favorecem as perdas por volatilização, quando é feita a aplicação da uréia na superfície do solo.

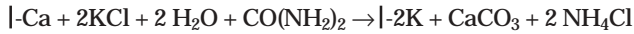
Em pastagens, além da existência de urease na liteira, outro fator que certamente contribui para as perdas por volatilização é o pH alto deste material. Estudos com cana-de-açúcar, sem queima, mostram que as perdas diárias de N por volatilização da amônia aumentaram com o aumento do pH da palhada presente na superfície dos solos (Kong et al., 1991). Em trabalhos com adubação verde, Miyazawa et al. (2000) também verificaram efeito alcalinizante dos resíduos vegetais de diferentes espécies.

Diante do exposto, alternativas para o controle das perdas de amônia por volatilização tornam-se importantes para melhorar a eficiência das fertilizações com uréia em pastagens. O uso de sais inorgânicos associados à aplicação de uréia pode representar uma boa alternativa, de acordo com trabalhos realizados nos EUA por Fenn et al. (1982a,b).

No Brasil, Sengik & Kiehl (1995) desenvolveram trabalhos em laboratório com o objetivo de avaliar os efeitos de sais inorgânicos na redução das perdas de N por volatilização, oriundo da uréia, em solos sob condições tropicais. Os autores verificaram que superfosfato simples (SFS) na relação 1:1 (massa de SFS: massa uréia) reduziu as perdas de N por volatilização em 14 %, na relação 2:1 em 17 % e na relação 3:1 em 19 %.

Os efeitos de redução das perdas de amônia por volatilização advindas da associação com o SFS provavelmente se devem à presença de ácido fosfórico, reduzindo o pH do meio, a atividade da urease e a adsorção específica do fosfato pela geração de cargas negativas no meio, levando à adsorção de íons amônio (Sengik, 1993; Tisdale et al., 1984).

Para o cloreto de potássio, acredita-se que a associação com a uréia seja efetiva porque existe uma troca, no complexo sortivo do solo, do Ca pelo K, havendo, em seguida, formação de carbonato de cálcio e cloreto de amônio (Fenn et al., 1982b; Sengik, 1993), conforme a equação:



Em estudo de laboratório com Areia Quartzosa, Rappaport & Axley (1984) encontraram que a adição de cloreto de potássio à uréia (relação 1:1, m/m) diminuiu as perdas de amônia de 42 para 4,6 %, sendo o melhor efeito encontrado quando a uréia estava em solução com o KCl. Em condições de campo, esses autores também encontraram efeitos benéficos da associação do KCl com a uréia para milho e capim Sudão.

Gameh et al. (1990) estudaram as perdas por volatilização de amônia, quando se associou uréia ao KCl em diferentes formas de fertilização (uréia e KCl em grânulos, solução de uréia + KCl, uréia recoberta com KCl), e verificaram que, para a mistura dos grânulos dos dois fertilizantes, as perdas foram reduzidas de 28 % no tratamento-controle para 17 %. No Brasil, esta seria a forma de mais fácil uso.

Em trabalhos desenvolvidos com cana-de-açúcar com preservação da palhada na superfície do solo, Kong et al. (1991) observaram que a recuperação do N oriundo da uréia foi praticamente o dobro (66 %) para uma mistura de KCl + uréia (relação 1:1, m/m) em relação ao tratamento com a uréia (34 %). Os autores atribuíram o efeito ao pH do KCl (6,0 em solução 1:10, massa KCl:volume de água), uma vez que, no tratamento em que foi empregado um fertilizante comercial Nitranking (uma composição de uréia com muriato de potássio) de pH 9,0, não houve eficácia na redução das perdas por volatilização da amônia. Segundo os autores, o aumento da eficiência do uso da uréia associada a outros compostos irá depender do potencial do composto em reduzir o pH do microsítio ao redor do grânulo da uréia.

Ouyang et al. (1998) avaliaram o parcelamento do SFS e do KCl junto com as aplicações de uréia em relação à aplicação em separado dos fertilizantes na cultura do milho em plantio direto e encontraram redução nas perdas de amônia por volatilização, aumento na recuperação do N adicionado e na produção de milho quando parcelaram todos os fertilizantes.

O estudo da eficiência de uso do N da uréia por meio da aplicação conjunta de fertilizantes é muito importante, uma vez que, no processo de recuperação e intensificação de pastagens, utilizam-se,

frequentemente, doses elevadas de sais inorgânicos como 500 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de SFS e KCl.

O objetivo deste trabalho foi verificar se o parcelamento destes fertilizantes junto às adubações nitrogenadas, após cada pastejo, seria um processo viável, por se tratar de uma técnica simples, de fácil adoção e que não acarretaria custo adicional ao pecuarista.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em uma área de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu degradada, em Neossolo Quartzarênico (Areia Quartzosa), na Fazenda Mercedes, município de Descalvado, estado de São Paulo, apresentando coordenadas geográficas de 47 ° 56 ' W e 22 ° 30 ' S, com altitude de 679 m. Os atributos químicos do solo encontram-se no quadro 1.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições e 5 tratamentos: T1 = SFS e KCl em aplicação única; T2 = SFS parcelado e KCl em aplicação única; T3 = SFS em aplicação única e KCl parcelado; T4 = SFS e KCl parcelados, T5 = sem correção e sem aplicação de fertilizantes. A uréia, nos quatro primeiros tratamentos, foi aplicada de forma parcelada em 5 vezes. O KCl e o SFS, quando foram parcelados, foram associados às cinco aplicações da uréia.

Em julho de 1998, foram separadas, em campo, as parcelas com 10 m². Na ocasião, a braquiária foi roçada a 0,20 m de altura, e o material excedente foi retirado das parcelas, sendo também efetuada a calagem em área total com 3 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT = 90 %). As microparcelas, constituídas de cilindros de aço inox com 0,40 m de diâmetro e 0,63 m de profundidade (Power & Legg, 1984), foram instaladas no interior das parcelas (uma por parcela) até à profundidade de 0,60 m, com o objetivo de repetir todas as fertilizações e procedimentos realizados na parcela, apenas alterando a uréia comum para uréia marcada (5,22 % em átomos de ¹⁵N), com vistas em obter o balanço de nitrogênio.

Os fertilizantes foram aplicados nas quantidades de 300 kg ha⁻¹ de N, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 198 kg ha⁻¹

Quadro 1. Atributos químicos do solo da Fazenda Mercedes em Descalvado (SP)

pH CaCl ₂	MO	P (res.)	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al + H	Al ³⁺	SB	CTC	V	m
	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmolc dm ⁻³						%		
3,9	24	3	0,5	4	2	42	8	7	49	13	55

de K_2O , respectivamente, das fontes uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio. As doses únicas de SFS e KCl foram aplicadas em 03/11/98, tendo o parcelamento ocorrido juntamente com as cinco aplicações de uréia em períodos de 35 dias logo após o corte da forrageira, a partir desta data, conforme requerimentos de cada tratamento. Foram aplicados 40 kg ha^{-1} de FTEBR12 em uma só vez, em todas as parcelas, em 03/11/98. As relações massa de fertilizante associado:massa da uréia, foram de 0,75:1, para o SFS, e de 0,50:1, para o KCl. Tais relações foram definidas atendendo às exigências nutricionais da planta forrageira, levando em consideração a fertilidade do solo.

Realizaram-se seis cortes da forragem, a cada 35 dias, na época das águas, iniciando-se em 08/12/98, e a cada 60 dias, na época da seca, ou conforme avaliação visual do crescimento e senescência das plantas. Em cada parcela e em cada corte, foram colhidas quatro subamostras da parte aérea das plantas, colhendo-se todo o material vegetal acima de 0,20 m da superfície do solo em áreas circulares aleatórias com 0,40 m de diâmetro (Thomas & Laidlaw, 1981). Ao final do período experimental, foram realizadas avaliações do resíduo vegetal (material vegetal abaixo de 0,20 m da superfície do solo), líter (matéria orgânica depositada na superfície do solo oriunda basicamente de hastes e folhas senescentes), coroa, sistema radicular e solo do interior das microparcelas. O solo e o sistema radicular foram estratificados nas profundidades de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m.

As variáveis avaliadas foram:

1. massa da matéria seca das estruturas da planta (parte aérea, resíduo, sistema radicular e coroa), líter e solo;
2. teor de N (g kg^{-1}) e abundância de ^{15}N (% em átomos) nas estruturas da planta, no líter e no solo das microparcelas, realizadas em espectrômetro de massa acoplado com analisador ANCA-SL (Europa Scientific Ltda.);
3. percentagem de N nas estruturas das plantas, no líter e no solo, proveniente do fertilizante (% NPPF), conforme a equação:

$$\%NPPF = [(a-c)/(b-c)] \cdot 100$$

em que a = abundância de ^{15}N em % de átomos em cada estrutura da planta, no líter ou no solo, b = 5,22 % e c = abundância de ^{15}N natural (mensurada na testemunha);

4. quantidade de nitrogênio nas estruturas das plantas, no líter e no solo proveniente do fertilizante (QNPPF), conforme a equação:

$$QNPPF (\text{g/microparcela}) = [\%NPPF/100] \cdot N_p$$

em que N_p = N acumulado nas estruturas das plantas, no líter e no solo da microparcela em g;

5. recuperação do N aplicado na forma de uréia nas estruturas das plantas (parte aérea, resíduo, coroa) e no sistema radicular nas diferentes profundidades;
6. quantidade de N retido no solo e no líter.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste Tukey a 5 %. Também foram realizadas correlações de interesse para melhor avaliação dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção anual de massa seca da parte aérea (MSPA) diferiu entre os vários tratamentos avaliados. O parcelamento do SFS simples favoreceu a produção ($10,5 \text{ t ha}^{-1}$) em relação ao parcelamento simultâneo ou aplicação única dos fertilizantes SFS e KCl, que produziram $8,3 \text{ t ha}^{-1}$. O parcelamento do KCl foi o tratamento intermediário, produzindo $9,9 \text{ t ha}^{-1}$. A produção de MSPA na época das águas refletiu mais pronunciadamente a diferença entre os tratamentos, sendo, neste caso, o parcelamento de ambos os fertilizantes, ou a aplicação única dos dois, os piores tratamentos (Quadro 2). Além disto, a MSPA da época das águas foi a variável que definiu as diferenças entre os tratamentos para produção anual, uma vez que a massa seca da parte aérea anual e a massa seca da época das águas foram positivamente correlacionadas (Quadro 3). As condições climáticas durante o período experimental podem explicar este efeito. Na época da seca (maio a outubro), ocorreram temperaturas mínimas menores que $10 \text{ }^\circ\text{C}$ e forte déficit hídrico (precipitação acumulada de 45 mm), condições que restringem o acúmulo de forragens tropicais.

Esperava-se que o parcelamento dos dois fertilizantes associados às coberturas nitrogenadas com uréia resultasse em um efeito sinérgico, aumentando a produção de MSPA, considerando a presença simultânea dos íons cloreto e ácido fosfórico e o abaixamento do pH ao redor do local de aplicação da uréia, fatos que aumentariam a captura de amônio no sistema, diminuindo as perdas de amônia, o que não ocorreu. Uma possível explicação está na baixa fertilidade do solo, deficiente em K e P, com teores de $0,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e 3 mg dm^{-3} , respectivamente (Quadro 1), fazendo com que a planta reagisse negativamente à falta simultânea desses nutrientes no início de seu ciclo de crescimento.

Não houve diferença estatística entre as médias dos tratamentos para as variáveis massa seca de resíduo, líter, coroa e sistema radicular. Apesar disto, a produção da coroa e do sistema radicular mostrou-se positivamente correlacionada com a produção anual de forragem, ou seja, com o aumento

da produção de coroa e do sistema radicular, obteve-se maior produção de MSPA (Quadro 3), promovendo a recuperação da pastagem. A soma da massa da coroa e do sistema radicular foi de 23,27 t ha⁻¹, para o tratamento-testemunha, enquanto, para o tratamento SFS parcelado, a produção foi de 42,57 t ha⁻¹ (Quadro 2), representando, em média, entre 60 e 70 % da massa da planta para os diferentes tratamentos (Figura 1). Estes resultados demonstram a importância da coroa e do sistema radicular no processo de recuperação de pastagens.

A aplicação única dos dois fertilizantes promoveu teores de N na *Brachiaria brizantha* superiores ao do parcelamento deles, enquanto o parcelamento de uma única fonte (SFS ou KCl) apresentou valores intermediários (Quadro 4). O valor superior encontrado para aplicação única dos dois fertilizantes pode estar relacionado com um efeito de concentração de N na parte aérea, visto que este foi o tratamento menos produtivo.

A quantidade de N proveniente da uréia e, conseqüentemente, a recuperação de N da uréia na planta toda (soma da parte aérea, resíduo, coroa e líter) não diferiram entre os tratamentos (Quadro 6).

Entretanto, as estruturas que compõem esta variável apresentaram diferenças (Quadro 5), mostrando o mesmo comportamento ocorrido para a produção de matéria seca de forragem. A recuperação de N oriundo da uréia na coroa foi maior para o tratamento em que o SFS foi parcelado, seguido pelo parcelamento do KCl, depois da aplicação única dos fertilizantes e, finalmente, da aplicação parcelada de ambos. Tanto a recuperação do N-uréia na coroa como sua produção de matéria seca influenciaram positivamente o comportamento da produção anual de forragem na parte aérea, conforme as correlações apresentadas no quadro 3.

Esses resultados evidenciam os efeitos benéficos da associação dos fertilizantes KCl e SFS às coberturas nitrogenadas com uréia, concordando com os resultados de outros autores (Ouyang, et al., 1998; Kong et al., 1991; Sengik & Kiehl, 1995; Rappaport & Axley, 1984; Gameh, 1990), apesar de as relações massa fertilizante: massa de uréia terem sido bem inferiores (0,75:1, para o SFS e 0,50:1 para o KCl) àquelas testadas em trabalhos da literatura (Rappaport & Axley, 1984; Gameh, 1990; Sengik & Kiehl, 1995).

Quadro 2. Massa de material seco da parte aérea, resíduo, líter, coroas e raízes para *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. (Período de novembro de 1998 a dezembro de 1999)

Tratamento (parcelamento)		Massa de material seco						
Superfosfato Simples	Cloreto de potássio	Parte aérea época das águas	Parte aérea época da seca	Parte aérea anual	Resíduo	Líter	Coroa	Raízes ⁽¹⁾
t ha ⁻¹								
Sim	Não	8,5 a	2,0 a	10,5 a	3,0	4,36	18,34	24,23
Não	Sim	7,8ab	2,1 a	9,9 ab	4,0	7,77	16,78	21,78
Sim	Sim	5,8 c	2,5 a	8,3 b	4,4	7,35	9,95	23,53
Não	Não	6,1 bc	2,2 a	8,3 b	2,9	5,43	13,12	13,72
Testemunha		4,0	1,3	5,3	2,5	3,32	7,80	15,47
C.V. (%)		23,3	36,9	20,2	42,9	43,6	54,6	37,8
Prob teste F		**	ns	**	ns	ns	ns	ns

Médias seguidas por letras distintas, na mesma coluna, diferem entre si pelo teste Tukey a 5 %.

⁽¹⁾ Quantidade de raízes na profundidade de 0-60 cm. ** Probabilidade do teste F ≤ 1 %; ns = não-significativo no teste F.

Quadro 3. Correlações entre produção e recuperação de N de diferentes estruturas da forrageira e a produção de material seco da parte aérea anual para *Brachiaria brizantha* cv. Marandu

Variável	Massa seca da parte aérea anual	
	Correlação	Prob. Teste t
Massa seca da parte aérea da época das águas	0,945	**
Massa seca da coroa	0,600	*
Massa seca do sistema radicular	0,557	*
Recuperação de N na coroa	0,500	*
Recuperação de N no sistema radicular	0,668	**

* e ** Significativos a 5 e 1 % de probabilidade no Teste t.

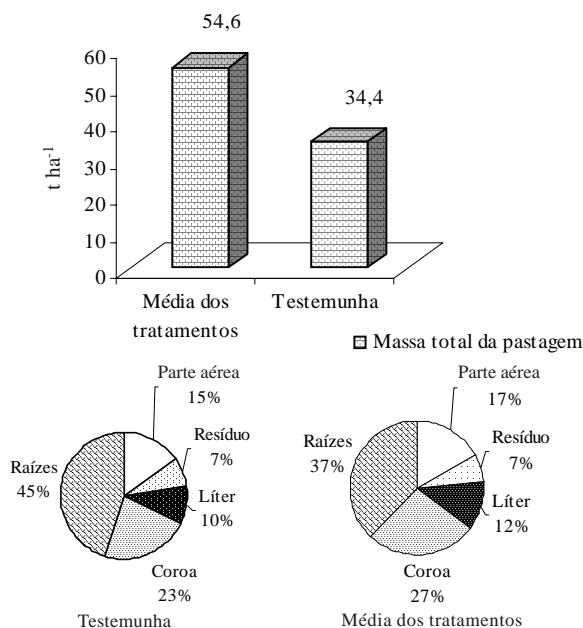


Figura descritiva resumida do quadro 2, que contém todas as análises estatísticas.

Figura 1. Produção de matéria seca de forragem e composição percentual das estruturas da planta de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu.

Quadro 4. Teores de nitrogênio na parte aérea de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (Média de seis cortes no período de dezembro de 1998 a dezembro de 1999)

Tratamento	Teor de nitrogênio
	g kg ⁻¹
SFS parcelado e KCl único	15,58 ab
SFS único e KCl parcelado	15,32 ab
SFS e KCl parcelados	14,67 b
SFS e KCl aplicação única	17,06 a
Testemunha	12,41
C.V. (%)	6,61

Médias, na mesma linha, seguidas por letras distintas diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5 %.

Quadro 5. Recuperação do nitrogênio da uréia em diferentes estruturas de uma pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. (Período de novembro de 1998 a dezembro de 1999)

Tratamento (parcelamento)		Componente do sistema			
SFS	KCl	Parte aérea	Resíduo	Coroa	Lítér
%					
Sim	Não	15,6	4,5	14,1 a	3,5 b
Não	Sim	16,4	4,6	12,6 ab	7,5 a
Sim	Sim	18,0	5,2	5,99 b	6,7 ab
Não	Não	18,9	4,4	10,0 ab	5,5 ab
C.V. (%)		14	37	54	45
Prob do teste F (%)		ns	ns	*	*

Médias seguidas de letras distintas, na mesma coluna, diferem entre si, pelo teste Tukey a 5 %.

* Probabilidade do teste F ≤ 5 %; ns = não-significativo no teste F.

Os efeitos benéficos encontrados neste trabalho das associações de fertilizantes a uréia possivelmente ocorreram pela redução das perdas de amônia, decorrente da presença de ácido fosfórico, redução da atividade da urease, da adsorção do fosfato e do aparecimento de cargas negativas no meio para o SFS (Sengik, 1993; Tisdale, 1994), e pela formação de carbonato de cálcio e cloreto de amônio para o KCl (Fenn et al., 1982 b; Sengik, 1993).

Já a recuperação no lítér não acompanhou tal comportamento, sendo os melhores resultados encontrados nos tratamentos em que o KCl foi parcelado (Quadro 5). Este fato pode estar ligado ao efeito de redução do pH do KCl (Kong et al., 1991) sobre resíduos vegetais que provocam uma reação alcalinizante (Kong et al., 1991; Miyazawa et al., 2000), concorrendo para diminuir as perdas de amônia por volatilização, além de aumentar a retenção desta como amônio no solo.

A recuperação percentual do N da uréia no sistema radicular foi maior em todos os tratamentos com parcelamento de fertilizantes associados às coberturas nitrogenadas, sendo o parcelamento do SFS estatisticamente superior à aplicação única dos dois fertilizantes SFS e KCl, e semelhante ao parcelamento de um dos dois (Quadro 6). A produção de matéria seca das raízes e a recuperação de N da uréia no sistema radicular estão correlacionadas positivamente com a produção de matéria seca da parte aérea (Quadro 3).

A retenção de N no solo na profundidade de 0-0,60 m, que variou de 16,1 a 19,2 %, não foi diferente entre os tratamentos, bem como a recuperação total no sistema solo-pastagem, que variou de 59,6 a 65,3 % (Quadro 6).

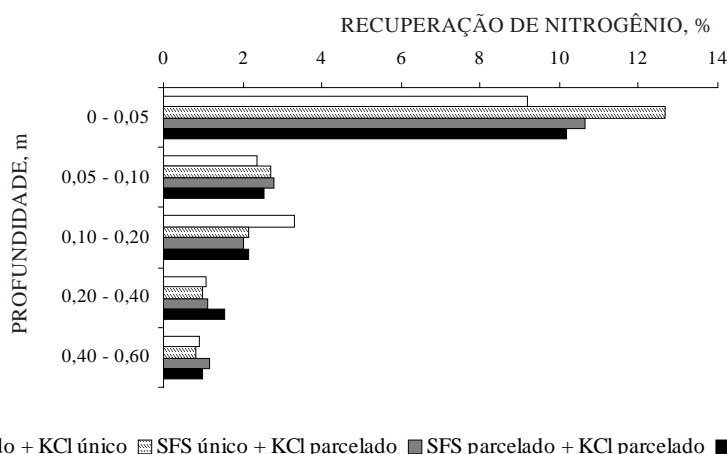
Os déficits na recuperação do N da uréia no sistema solo-pastagem (déficit = 100-recuperação total do sistema, Quadro 6), que variaram de 34,6 a 40,4 %, provavelmente são decorrentes de perdas gasosas, uma vez que a retenção de N do fertilizante no solo, representada pela sua recuperação, foi muito pequena já a partir de 0,05 m de profundidade,

Quadro 6. Recuperação de nitrogênio proveniente da uréia em diferentes componentes do sistema solo-planta de uma pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu

Tratamento (parcelamento)		Total da planta e Lítér	Raiz (0-60 cm)	Solo (0-60 cm)	Total do sistema
SFS	KCl				
Sim	Não	37,72	7,53 a	16,84	62,09
Não	Sim	41,13	5,06 ab	19,16	65,35
Sim	Sim	38,79	5,96 ab	17,73	59,61
Não	Não	35,92	3,55 b	17,41	59,76
Média		39,39	5,53	17,79	61,70
C.V.(%)		19,10	35,54	14,86	14,49
Prob do teste F(%)		ns	**	ns	ns

Médias seguidas de letras distintas, na mesma coluna, diferem entre si, pelo teste Tukey a 5 %.

** Probabilidade do teste F ≤ 1 %; ns = não-significativo no teste F.



□ SFS parcelado + KCl único ▨ SFS único + KCl parcelado ■ SFS parcelado + KCl parcelado ■ SFS único + KCl único

Figura 2. Nitrogênio oriundo da uréia retido pelo solo de uma pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em diversas profundidades no perfil.

evidenciando pequeno caminhamento do N no perfil do solo (Figura 2).

Com base nestes resultados, pode-se inferir que as perdas por lixiviação foram muito pequenas, fato que está em concordância com outros trabalhos (Libardi & Reichardt, 1987; Oliveira et al., 1999; Basso & Ceretta, 2000).

CONCLUSÕES

1. A maior produção anual de forragem ocorreu quando o SFS foi parcelado, seguido pelo parcelamento do KCl, da aplicação única de ambos e, finalmente, do parcelamento dos dois, existindo correlação positiva entre a produção de matéria seca de forragem na época das águas, massa da coroa e do sistema radicular da *Brachiaria brizantha* com a produção anual de matéria seca de forragem.

2. A recuperação de N proveniente das fertilizações com N-uréia na coroa da planta e no sistema

radicular mostrou-se correlacionada com MSPA, promovendo diferentes rendimentos de matéria seca de forragem na parte aérea.

3. A recuperação do N oriundo da uréia no lítér foi favorecida pelo parcelamento do KCl, fato esse associado ao pH mais ácido da mistura com a uréia.

4. Houve pequeno movimento do N oriundo da uréia no perfil do solo, indicando que as perdas ocorridas foram gasosas.

LITERATURA CITADA

- BASSO, C.J. & CERETTA, C.A. Manejo do Nitrogênio no milho em sucessão a plantas de cobertura de solo, sob plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 24:905-916, 2000.
- FENN, L.B.; MATOCHA, J.E. & WU, E. Soil cation exchange capacity effects on ammonia loss from surface applied urea in the presence of soluble calcium. Soil Sci. Soc. Am. J., 46:78-81, 1982a.

- FENN, L.B.; MATOCHA, J.E. & WU, E. Substitution of ammonium and potassium for added calcium in reduction of ammonia loss from surface-applied urea. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:771-776, 1982b.
- GAMEH, M.A.; ANGLE, J.S. & AXLEY, J.H. Effects of urea-potassium chloride and nitrogen transformations on ammonia volatilization from urea. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54:1768-1772, 1990.
- KIEHL, J.C. Distribuição e retenção de amônia no solo após a aplicação de uréia. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:75-80, 1989a.
- KONG, W.P.; WOOD, A.W.; PRAMMANEE, P.G.; SAFFIGNA, P.G.; SMITH, J.W.B. & FRENEY, J.R. Ammonia loss from urea/potassium chloride mixtures applied to sugarcane trash. *Proc. Austr. Soc. Sugar Cane Technol.*, 59-65, 1991.
- LIBARDI, D.L. & REICHARDT, K. Destino da uréia aplicada a um solo tropical. *R. Bras. Ci. Solo*, 2:40-44, 1978.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & FRANCHINI, J.C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. *Inf. Agron.*, 92:1-8, 2000.
- OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C. & VITTI, A.C. Lixiviação de nitrogênio em solos cultivados com cana-de-açúcar: Experimento em lisímetro. *STAB, Açúcar Álcool Subp.*, 18:28-31, 1999.
- OUYANG, D.S.; MACKENZIE, A.F. & FAN, M.X. Ammonia volatilization from urea amended with triple superphosphate and potassium chloride. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62:1443-1447, 1998.
- POWER, J.F. & LEGG, J.O. Nitrogen-15 recovery for five years after application of ammonium nitrate to crested wheatgrass. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:322-26, 1984.
- RAPPAPORT, B.D. & AXLEY, J.H. Potassium chloride for improved urea fertilizer efficiency. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:399-401, 1984.
- SENGIK, E. Efeito de resíduos orgânicos e de sais inorgânicos na volatilização de amônia em solo tratado com uréia. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1993. 134p. (Tese de Doutorado)
- SENGIK, E. & KIEHL, J.C. Controle da volatilização de amônia em terra tratada com uréia e turfa pelo emprego de sais inorgânicos. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:455-461, 1995.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. & BEATON, J.D. Soil and fertilizer nitrogen. In: TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. & BEATON, J.D., eds. *Soil fertility and fertilizers*. 4.ed. New York, Macmillan Publishing, 1984. p.112-183.
- THOMAS, H. & LAIDLAW, A.S. Planning, design and establishment of experiments. In: HODGSON, J.; BAKER, R.D.; DAVIES, A.; LAIDLAW, A.S. & LEAVER, J.D., eds. *Sward measurement handbook*. Maidenhead, Berkshire, British Grassland Society, 1981. p.15-37.