

COMBINAÇÕES DE DOSES DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO PARA A PRODUÇÃO E NUTRIÇÃO DO CAPIM-MOMBAÇA¹

JOSÉ LAVRES JUNIOR², FRANCISCO ANTONIO MONTEIRO²

¹Parte da dissertação de mestrado apresentada pelo primeiro autor à ESALQ, USP.

Recebido para publicação em 29/11/01. Aceito para publicação em 03/05/02.

² Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ, USP, Caixa Postal 09, 13418-900, Piracicaba, SP.

E-mail: jjlavres@yahoo.com.br, famonte@esalq.usp.br, Bolsista do CNPq.

RESUMO: Foi realizado um experimento em casa-de-vegetação no período de novembro de 2000 a fevereiro de 2001, com *Panicum maximum* Jacq. cultivar Mombaça desenvolvido em solução nutritiva, e tendo sílica moída como substrato. Utilizou-se um esquema fatorial 5² incompleto, perfazendo um total de 13 combinações das doses de nitrogênio e de potássio (28N e 19,5K; 28N e 234K; 28N e 429K; 112N e 117K; 112N e 312K; 210N e 19,5K; 210N e 234K; 210N e 429K; 336N e 117K; 336N e 312K; 462N e 19,5K; 462N e 234K; 462N e 429K), as quais foram distribuídas segundo o delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições. Objetivou-se avaliar a interação das doses de nitrogênio e de potássio na produção de massa seca da parte aérea (primeiro e segundo cortes) e do sistema radicular e a concentração de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR). Os resultados evidenciaram interação significativa ($P < 0,01$) entre as doses de nitrogênio e potássio na produção de massa seca da parte aérea e do sistema radicular do capim-Mombaça; na concentração de nitrogênio e de enxofre nas LR e na concentração de cálcio nas LR no segundo corte das plantas. As concentrações de potássio e de magnésio nas LR tiveram efeito significativo das doses de potássio, em ambos os cortes das plantas.

Palavras-chave: interação entre nutrientes, *Panicum maximum*, solução nutritiva, superfície de resposta

NITROGEN AND POTASSIUM COMBINATIONS FOR MOMBAÇA GRASS YIELD AND MINERAL NUTRITION

ABSTRACT: An experiment was carried out in greenhouse conditions from November 2000 to February 2001 with *Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça grown in a nutrient solution with ground quartz as substrate. The experiment was set in an incomplete 5² factorial of nitrogen and potassium. Thirteen combinations between nitrogen and potassium rates (28N and 19.5K; 28N and 234K; 28N and 429K; 112N and 117K; 112N and 312K; 210N and 19.5K; 210N and 234K; 210N and 429K; 336N and 117K; 336N and 312K; 462N and 19.5K; 462N and 234K; 462N and 429K) were obtained according to design points of the modified central composite nonrotatable design that was set in a randomized complete block design, with four replications. The objectives were to evaluate the plant tops and roots dry matter yield and the mineral composition of the lamina of recently expanded leaves (RL) with respect to nitrogen, potassium, calcium, magnesium and sulphur. The results showed that the nitrogen X potassium interaction was significant ($P < 0.01$) for plant tops and roots dry matter yield of Mombaça grass; nitrogen and sulphur concentrations in RL and calcium concentration in RL at the second harvest. Potassium and magnesium concentrations in RL were affected by potassium rates, at both harvests.

Key words: nutrient interaction, nutrient solution, *Panicum maximum*, response surface.

INTRODUÇÃO

O suprimento de nutrientes constitui-se em um importante fator na produção de forragem, visto que as pastagens são a principal fonte de alimento nos sistemas de produção animal nas condições brasileiras. Assim, a disponibilidade de nutrientes exerce grande influência na produção dessas gramíneas e conseqüentemente na exploração animal onde as diversas modalidades de uso do solo obrigam a atividade pecuária ser mais eficiente e competitiva.

Várias espécies forrageiras são utilizadas na formação de pastagem no Brasil e dentre elas o *Panicum maximum* Jacq. vem sendo utilizado há décadas na engorda de bovinos, em virtude do seu alto potencial de produção de massa seca, que tem atingido em condições tropicais um nível de produção de massa seca em torno de 25 toneladas ha⁻¹ ano⁻¹, além da sua boa qualidade como alimento animal. Em razão da importância assumida pelas gramíneas forrageiras do gênero *Panicum* na pecuária brasileira, apreciáveis esforços têm sido realizados em programas de melhoramento genético e seleção de acessos destas plantas, o que tem resultado em lançamento de novos cultivares no comércio nas duas últimas décadas, como é caso do capim-Mombaça.

JANK *et al.* (1994) e JANK (1995), comparando as diferenças agrônomicas entre os cultivares Tanzânia-1 e Mombaça e as testemunhas Colômbio e Tobiata, em avaliação no Centro Nacional de Pesquisas de Gado de Corte, observaram que os cultivares Tanzânia-1 e Mombaça foram respectivamente 86 e 136% mais produtivos que o cultivar Colômbio, apresentaram respectivamente 29 e 32% maior porcentagem de folhas, sendo que a distribuição da produção durante o ano, dos capins Mombaça e Tanzânia-1, também foi melhor em relação ao Colômbio e o Tobiata.

O nitrogênio é o elemento essencial exigido pelas plantas em maior quantidade (TAIZ e ZEIGER, 1998), geralmente representa de 20 a 40 g kg⁻¹ da massa seca dos tecidos vegetais (MENDEL e KIRKBY, 1987), sendo componente integral de muitos compostos essenciais aos processos de crescimento vegetal como aminoácidos e proteínas, participa com quatro átomos na molécula de clorofila, é componente dos ácidos nucléicos que são indispensáveis não só como material de construção de tecidos vegetais, mas também nos núcleos celulares e protoplasma em que se acham calcados os contro-

les hereditários (BRADY, 1989; HOPKINS, 1995; MARSCHNER, 1995; NABINGER, 1997; TAIZ e ZEIGER, 1998).

O nitrogênio, apesar de abundante na atmosfera na forma de N₂ compoendo 78% do ar atmosférico, está presente em baixas concentrações na maioria dos solos. Este elemento não é componente da rocha matriz, a qual é a grande fonte da maioria dos nutrientes dos solos. É considerado um dos principais nutrientes que causam maior impacto no desenvolvimento e produção de plantas forrageiras e conseqüentemente aumento nos índices zootécnicos como produção de carne e leite, sendo portanto, uma das ferramentas essenciais ao manejo da pastagem em sistemas de produção de bovinos.

Segundo MONTEIRO (1995) e JARVIS (1998) em condições edáficas e climáticas normais e mediante a não ocorrência de outra limitação, o suprimento de água e as variáveis climáticas sendo controladas e não se tornando limitantes, as plantas forrageiras respondem acentuadamente ao suprimento de nitrogênio.

Próximo ao nitrogênio, o potássio é o nutriente mineral retirado em grande quantidade pelas plantas (MARSCHNER, 1995), ocupando o segundo lugar (EPSTEIN, 1975; TAIZ e ZEIGER, 1998). A concentração de potássio para o ótimo crescimento das plantas varia de 20 a 50 g kg⁻¹ de massa seca do vegetal (MARSCHNER, 1995). Está presente nas plantas na forma de K⁺ e é altamente móvel. Desempenha várias funções na vida do vegetal, como no processo de regulação do potencial osmótico das células, é ativador de muitas enzimas envolvidas na respiração e fotossíntese, participa na translocação de carboidratos, aumenta a resistência à salinidade, geada, seca, doenças e ao acamamento e confere qualidade aos produtos (EPSTEIN, 1975; MALAVOLTA, 1980; MENDEL e KIRKBY, 1987; MARSCHNER, 1995; TAIZ e ZEIGER, 1998).

A adubação nitrogenada tem, por muitas vezes, apresentado respostas produtivas abaixo das esperadas em virtude de inadequados níveis de potássio, o que sugere uma relação entre a absorção e o aproveitamento destes dois macronutrientes (MONTEIRO *et al.*, 1980). Diante deste fato, MONTEIRO *et al.* (1980) conduziram um experimento com capim-Colômbio já estabelecido, o qual tinha recebido doses de nitrogênio nos três anos anteriores e potássio no ano anterior. Realizaram novo suprimento de nitrogênio, em ausência de adubação potássica

ou com a adição de cloreto de potássio na dose de 167 kg ha⁻¹. Constataram que a adição do adubo potássico proporcionou aumentos significativos na produção de massa seca do capim e que a adubação potássica na ausência da fertilização com nitrogênio resultou em produção de massa seca relativamente maior do que a adição de nitrogênio de 75 ou 150 kg ha⁻¹ na ausência do suprimento de potássio.

CARVALHO *et al.* (1991), estudando a aplicação de nitrogênio (0; 100; 200 e 400 kg ha⁻¹ ano⁻¹) e potássio (0; 75 e 150 kg ha⁻¹ ano⁻¹) em capim-braquiária cultivada em um Latossolo Vermelho-Amarelo álico, verificaram que com o baixo fornecimento de potássio a resposta à adubação nitrogenada foi limitada. Porém, constataram efeito positivo da fertilização com nitrogênio na produção de massa seca e que esse efeito dependeu da aplicação de potássio, concluindo que, com o baixo suprimento de potássio, não havia resposta da planta à adubação nitrogenada, mas com o aumento da fertilização potássica ocorria marcante resposta à adubação com nitrogênio.

COUTINHO *et al.* (2001) estudaram os efeitos das doses de nitrogênio de 30; 60; 120; 180 e 240 kg ha⁻¹ e doses de potássio de 30; 60; 120 e 180 kg ha⁻¹ no capim-Coastcross, e constataram que as adubações nitrogenada e potássica aumentaram significativamente a produção de massa seca do capim em todos os cortes efetuados e as concentrações desses nutrientes na parte aérea do capim. Verificaram também sintomas típicos de deficiência desses nutrientes nas plantas que receberam as mais baixas doses de nitrogênio e potássio.

Com o objetivo de avaliar os efeitos da combinação de doses de nitrogênio (100; 200 e 400 kg ha⁻¹ ano⁻¹) e de potássio (50; 100 e 200 kg ha⁻¹ ano⁻¹) quanto a produção de massa seca e composição química da forragem produzida, FONSECA *et al.* (2001) conduziram um experimento com capim-Napier submetido a nove combinações de três doses de nitrogênio e três doses de potássio. Constataram que a produção de massa seca das lâminas foliares da gramínea forrageira aumentou expressivamente com as doses de nitrogênio e potássio com incrementos de aproximadamente 300% relativos às menores doses, e que a composição química das plantas foi influenciada pela combinação das doses dos nutrientes.

Neste contexto, partindo-se da hipótese de que

o nitrogênio e o potássio interagem no incremento da produção e na melhoria da nutrição do capim, objetivou-se avaliar os efeitos de combinações de doses de nitrogênio e de potássio em solução nutritiva na produção de massa seca e nas concentrações de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Mombaça.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa-de-vegetação localizada na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP, em Piracicaba, São Paulo. Cultivou-se a espécie forrageira *Panicum maximum* Jacq. cultivar Mombaça, no período de novembro de 2000 a fevereiro de 2001.

As sementes da gramínea forrageira foram semeadas em bandejas plásticas contendo areia lavada com água de torneira e água deionizada, e foram periodicamente regadas com água deionizada. Aos 12 dias após a semeadura, quando as plântulas tinham em torno de quatro centímetros de altura, procedeu-se o transplante de quinze mudas para cada vaso plástico com volume de 3,6 litros contendo sílica lavada como substrato. Um dia após o transplante das mudas foi fornecido um litro de solução diluída a 25% da dose correspondente a cada combinação de dose de nitrogênio e potássio. Essa solução nutritiva foi preparada a partir da solução de SARRUGE (1975) modificada para as doses dos dois nutrientes estudados.

Inicialmente as soluções permaneceram nos vasos durante o dia e à noite, sendo circuladas através da sílica quatro vezes ao dia num período de uma semana, sendo posteriormente drenadas à noite e fornecidas pela manhã. Foram realizados desbastes periódicos até permanecerem cinco plantas por vaso. Após quatro dias do transplante, as soluções com concentração definitiva foram adicionadas nos vasos e foram trocadas a cada 14 dias.

Foram utilizadas cinco doses de nitrogênio de 28; 112; 210; 336 e 462 mg L⁻¹ e cinco doses de potássio de 19,5; 117; 234; 312 e 429 mg L⁻¹ na solução nutritiva, mantendo-se constante a relação nitrato : amônio de 1,8 (64,4% NO₃⁻ e 35,6% NH₄⁺).

Foi empregado um esquema fatorial 5² incompleto fundamentado em LITTELL E MOTT (1975) com

as doses de nitrogênio e de potássio, perfazendo um total de 13 combinações (28N e 19,5K; 28N e 234K; 28N e 429K; 112N e 117K; 112N e 312K; 210N e 19,5K; 210N e 234K; 210N e 429K; 336N e 117K; 336N e 312K; 462N e 19,5K; 462N e 234K; 462N e 429K), as quais foram distribuídas segundo o delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições.

Aos 36 dias após o transplante procedeu-se o primeiro corte, a uma altura em torno de dois centímetros do colo das plantas, e o material da parte aérea foi separado em folhas emergentes (FE = folhas do ápice da planta, ainda enroladas e sem lígula visível); lâminas das duas folhas recém-expandidas (LR = lâminas das duas folhas mais novas totalmente expandidas, com lígula visível); lâminas das folhas maduras (LM = lâminas das demais folhas totalmente expandidas) e em colmos mais bainhas (CB = colmos e as bainhas que foram mantidas presas a eles).

Aos 29 dias após o primeiro corte realizou-se o segundo corte, no colo das plantas procedendo-se a separação da parte aérea da planta com mesmo critério do primeiro corte, sendo que as raízes também foram separadas da sílica e lavadas com água corrente e água deionizada, utilizando-se um conjunto de peneiras com diâmetro de malha de 0,25 e 1,00 mm. O material vegetal separado e colhido foi colocado para secar em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 70°C, até atingir massa constante. Todo o material vegetal foi pesado em balança de precisão e em seguida moído em moinho do tipo Wiley e acondicionado em sacos plásticos. As determinações de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e enxofre no tecido vegetal foram efetuadas conforme metodologia proposta por SARRUGE e HAAG (1974). Os resultados foram submetidos à análise de variância utilizando-se o programa estatístico SAS - System for Windows 6,11 (SAS Inst. Inc., 1996). Em função do nível de significância no teste F para as doses de nitrogênio e potássio, procedeu-se ao estudo de regressão polinomial (superfície de resposta) através do comando RSREG.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de massa seca tanto da parte aérea, no primeiro e segundo crescimentos das plantas, como das raízes, foi significativamente ($P < 0,01$) in-

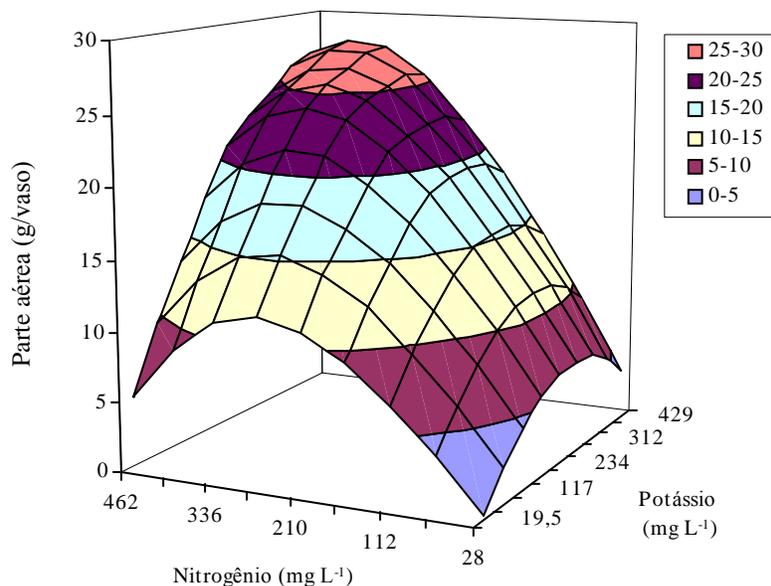
fluenciada pela interação entre as doses de nitrogênio e de potássio fornecidas na solução nutritiva.

A produção de massa seca da parte aérea do capim-Mombaça no primeiro corte respondeu ao suprimento de nitrogênio e potássio (Figura 1), ajustando-se ao modelo polinomial. De acordo com a equação obtida o valor máximo de produção de massa seca ocorreu com a dose de nitrogênio de 386 mg L⁻¹ e de potássio de 434 mg L⁻¹, numa proporção de 1,00 : 1,12. Pode-se notar, na Figura 1, que nas mais baixas doses de nitrogênio e de potássio e comparadas com as doses de nitrogênio de 462 mg L⁻¹ e potássio de 19,5 mg L⁻¹, não houve efeito marcante do suprimento de nitrogênio na produção da parte aérea. Isto confirma a observação feita por MONTEIRO *et al.* (1980) que na utilização do adubo nitrogenado é necessário o suprimento de potássio, para que não haja limitação do efeito do nitrogênio.

Das mais baixas doses de nitrogênio e de potássio (28 mg L⁻¹ e 19,5 mg L⁻¹) para as mais altas doses de nitrogênio e de potássio (462 mg L⁻¹ e 429 mg L⁻¹) a produção de massa seca sofreu um incremento de 128 vezes, como também constatada por FERRAGINE (1998), que estudando o efeito do suprimento de nitrogênio e potássio no capim-braquiária, verificou que foi significativa ($P < 0,01$) a interação no primeiro crescimento, e que a maior produção de massa seca da parte aérea ocorreu mediante o fornecimento de nitrogênio na solução de 434 mg L⁻¹ em presença da dose de potássio de 234 mg L⁻¹, numa relação entre as concentrações de nitrogênio e potássio na solução nutritiva de 1,85 : 1,00.

MANARIN (2000) constatou que a produção de massa seca da parte aérea no primeiro crescimento do capim-Mombaça foi significativamente ($P < 0,01$) influenciada pelo suprimento de nitrogênio na solução, ajustando-se a um modelo quadrático, com ponto de máxima produção ocorrendo na dose de 447 mg L⁻¹.

Também estudando o capim-Mombaça, porém avaliando os efeitos do suprimento de potássio na solução nutritiva, PEREIRA (2001) observou que no primeiro corte a produção da parte aérea respondeu ($P < 0,01$) às doses de potássio segundo um modelo quadrático e que a produção máxima ocorreu com o nutriente em solução em torno de 467 mg L⁻¹.



$$Y = - 3,58087 + 0,10247N + 0,05416K - 0,000191N^2 + 0,000104NK - 0,000109K^2 (R^2 = 0,90)$$

Figura 1. Produção de massa seca da parte aérea do capim-Mombaça, no primeiro corte, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva

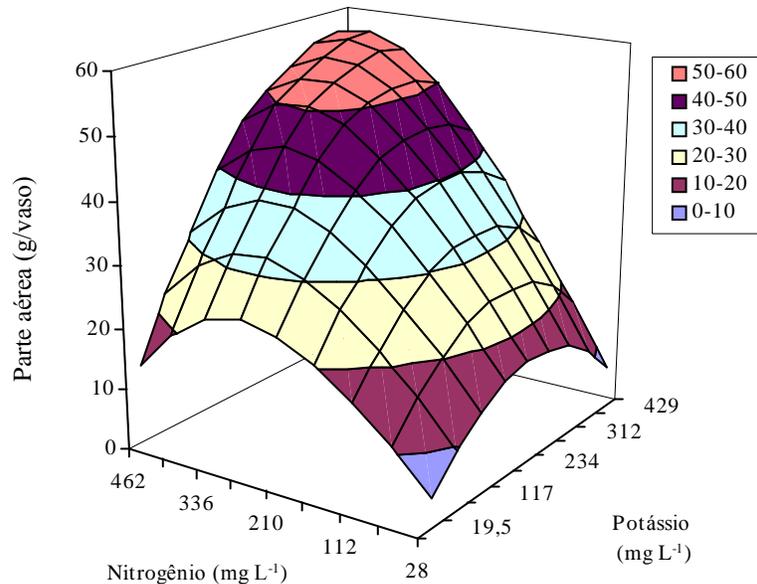
Para a produção de massa seca da parte aérea do capim-Mombaça no segundo corte, houve significância ($P < 0,01$) para a interação entre nitrogênio e potássio, com ajuste ao modelo polinomial (Figura 2). A máxima produção da parte aérea no segundo crescimento da gramínea ocorreu quando o nitrogênio e o potássio foram fornecidos, respectivamente, nas doses de 412 e 410 mg L^{-1} , de tal forma que a proporção entre a concentração de nitrogênio e potássio na solução para esta máxima produção de massa seca foi de 1,00 : 1,00.

Observa-se que das doses mais baixas de nitrogênio e potássio na solução para as mais altas doses, a produção de massa seca aumentou aproximadamente 12 vezes. Também nota-se que os valores de produção da parte aérea no segundo crescimento foram superiores ao primeiro, podendo-se atribuir essa diferença ao fato de no primeiro crescimento a planta destinar mais energia para a formação e estabelecimento do seu sistema radicular, enquanto que na ocasião do segundo crescimento a

planta já estabelecida utilizou de suas reservas para a formação e manutenção da parte aérea.

ANDRADE (1997), trabalhando com o capim-Napier, também verificou que para a produção da parte aérea no segundo crescimento houve efeito significativo ($P < 0,01$) das doses de nitrogênio e potássio. Constatou que nas mais baixas doses de nitrogênio e potássio, respectivamente de 20 e 16 kg ha^{-1} , a produção de massa seca foi 76,3% menor em relação à produção nas mais altas doses de nitrogênio e de potássio, de 300 e 304 kg ha^{-1} , respectivamente.

As doses para máxima produção das plantas foram mais baixas no presente experimento que a observada para o capim-Mombaça por MANARIN (2000), que verificou a máxima produção de massa seca na parte aérea com fornecimento de nitrogênio de 433 mg L^{-1} e por PEREIRA (2001) com potássio em 460 mg L^{-1} na solução nutritiva.



$$Y = - 2,01819 + 0,17495N + 0,11254K - 0,000329N^2 + 0,000235NK - 0,000255K^2 \quad (R^2 = 0,93)$$

Figura 2. Produção de massa seca da parte aérea do capim-Mombaça, no segundo corte, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva

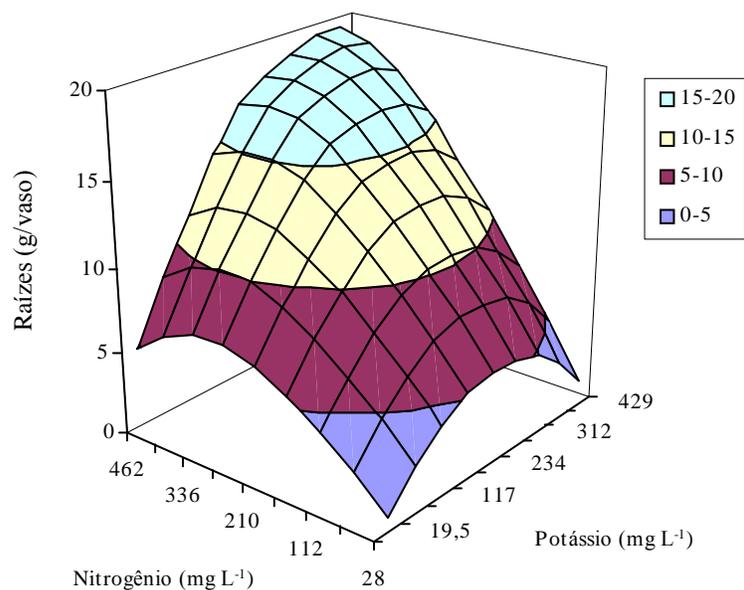
A interação entre as doses de nitrogênio e potássio foi significativa ($P < 0,01$) para a produção de massa seca das raízes (Figura 3). A máxima produção seria obtida com o suprimento de nitrogênio de 467 mg L^{-1} e para o potássio na dose de 396 mg L^{-1} . Essas doses estão próximas às doses encontradas por MANARIN (2000) com nitrogênio de 484 mg L^{-1} e por PEREIRA (2001) com potássio de 357 mg L^{-1} de solução. Verificou-se que nas doses de nitrogênio de 28 a 210 mg L^{-1} combinadas com a dose de potássio de 19,5 mg L^{-1} , a produção de massa seca variou em sete vezes atingindo um patamar até a dose de 336 mg L^{-1} e caindo então a partir daí até a dose mais elevada de nitrogênio empregada no estudo. Constatou-se também que na mais baixa combinação das doses dos nutrientes a produção de massa seca de raízes foi 4,56% da produção máxima obtida com a mais elevada combinação.

FERRAGINE (1998) não encontrou significância ($P > 0,05$) para a interação entre nitrogênio e potássio na produção de massa seca do sistema radicular do capim-braquiária, porém verificou que houve significância para as doses de nitrogênio ($P < 0,01$) e para as doses de potássio ($P < 0,05$). Para as doses de nitrogênio, a produção máxima seria obtida com o fornecimento do nutriente de 605 mg L^{-1} ; enquanto para o potássio constatou que à medida em que se elevou a dose de potássio diminuiu a produção de

massa seca das raízes do capim (relação linear).

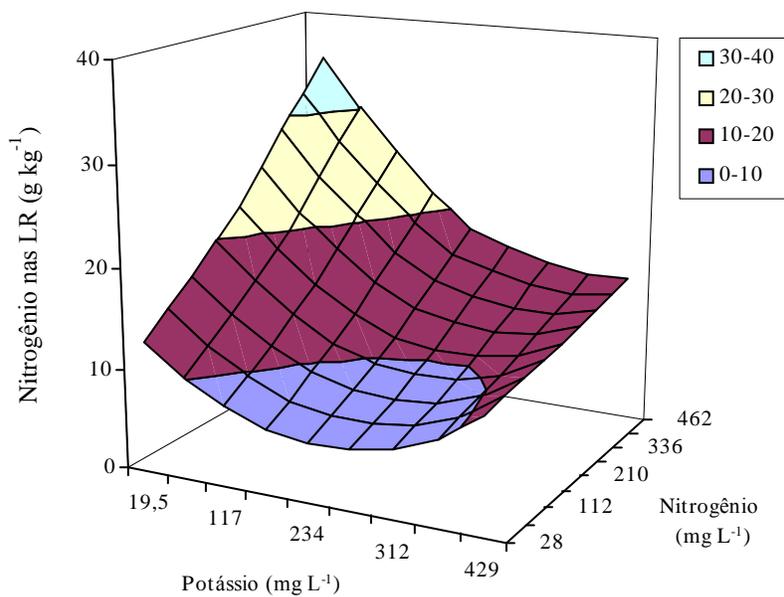
SANTOS (1997) observou a máxima produção de massa seca das raízes do capim-braquiária com a dose de nitrogênio de 453 mg L^{-1} na solução, concluindo que o nitrogênio assume destaque no aumento do volume do sistema radicular.

Para a concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas, por ocasião do primeiro corte (Figura 4) e do segundo corte da gramínea (Figura 5), houve significância ($P < 0,01$) para a interação entre as doses de nitrogênio e de potássio. De acordo com a Figura 4, para a dose de nitrogênio de 28 mg L^{-1} e de potássio de 19,5 mg L^{-1} , a concentração de nitrogênio nessas lâminas foliares foi muito próxima daquela verificada na combinação das mais altas doses de nitrogênio e potássio (13,09 e 15,03 g kg^{-1} , respectivamente). Essa diferença entre as concentrações no tecido com a combinação das mais baixas e mais altas doses de nitrogênio e potássio não foi marcante, pois nas mais baixas concentrações dos dois nutrientes na solução as plantas pouco se desenvolveram, caracterizando o efeito de concentração de nitrogênio no tecido. Entretanto, na combinação das mais altas doses houve o efeito de diluição do nitrogênio nas LR, devido a mais elevada produção de massa seca vegetal.



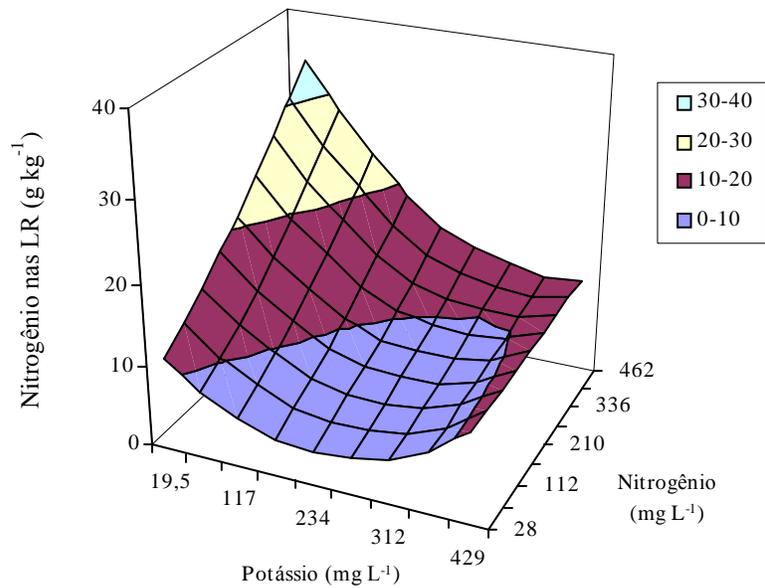
$$Y = -1,34511 + 0,04982N + 0,04593K - 0,00008663N^2 + 0,00007852NK - 0,000104K^2 \quad (R^2 = 0,87)$$

Figura 3. Produção de massa seca das raízes do capim-Mombaça, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva



$$Y = 12,7848 + 0,04894N + 0,06313K - 0,000104NK + 0,000139K^2 \quad (R^2 = 0,89)$$

Figura 4. Concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas, no primeiro corte do capim-Mombaça, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva



$$Y = 11,3681 + 0,05413N - 0,07318K - 0,000124NK + 0,000170K^2 \quad (R^2 = 0,83)$$

Figura 5. Concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas, no segundo corte do capim-Mombaça, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva

A mais elevada concentração de nitrogênio nas LR foi obtida com as doses de nitrogênio e potássio na solução de 462 e 19,5 mg L⁻¹, respectivamente. Já a mais baixa concentração de nitrogênio nas LR foi verificada nas doses de nitrogênio de 28 mg L⁻¹ e de potássio de 234 mg L⁻¹.

Tanto no primeiro como no segundo crescimentos das plantas, verificou-se o mesmo comportamento para as concentrações de nitrogênio no tecido das LR em função das doses de nitrogênio e potássio fornecidas na solução (Figura 5). Constatou-se que não houve diferença na concentração de nitrogênio nas LR, da combinação das mais baixas doses para as mais altas doses de nitrogênio e de potássio, como no primeiro corte. A mais alta concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas foi obtida com o fornecimento das doses de nitrogênio de 462 mg L⁻¹ e de potássio em 19,5 mg L⁻¹ na solução nutritiva, enquanto que o menor valor foi verificado para a dose de nitrogênio de 28 mg L⁻¹ associada à dose de potássio de 234 mg L⁻¹.

CARVALHO *et al.* (1991) observaram que a concentração de nitrogênio no capim-braquiária foi incrementada linearmente com a aplicação das do-

ses de nitrogênio, atingindo valores de 17 e 21 g kg⁻¹. Porém, a concentração de nitrogênio nesse tecido vegetal diminuiu com o incremento do fornecimento das doses de potássio, em decorrência do aumento na produção de massa seca. Na ausência do fornecimento de nitrogênio, a concentração de nitrogênio no tecido vegetal variou de 8 a 14 g kg⁻¹. FERRAGINE (1998) encontrou efeito significativo (P<0,05) das doses de nitrogênio e potássio fornecidas na solução nutritiva para a concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas, no primeiro e no segundo cortes do capim-braquiária.

Para a concentração de potássio nas lâminas de folhas recém-expandidas, não foi significativa (P>0,05) a interação entre as doses de nitrogênio e potássio na solução nutritiva, em ambos os cortes das plantas. No primeiro e no segundo crescimentos da planta forrageira verificou-se efeito significativo (P<0,05 e P<0,01, respectivamente) das doses de potássio na concentração deste nutriente nas LR (Figura 6).

No primeiro crescimento da gramínea a concentração de potássio nas LR sofreu variação segundo

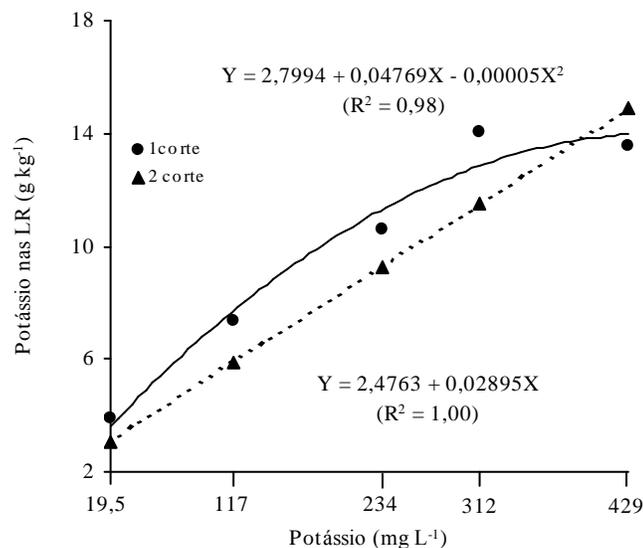


Figura 6. Concentração de potássio nas lâminas de folhas recém-expandidas, no primeiro e segundo cortes do capim-Mombaça, em função das doses de potássio na solução nutritiva

modelo quadrático de regressão com o aumento das doses de potássio na solução. Pode-se verificar que o ponto de máxima concentração ocorreria com a dose de potássio de 467 mg L⁻¹. Dentro da faixa das doses estudadas essa concentração de potássio variou de 3,89 a 13,58 g kg⁻¹, correspondendo às condições de baixo e alto suprimento em potássio.

Nas LR coletadas por ocasião do segundo corte do capim-Mombaça, foi observado que a concentração de potássio ajustou-se a modelo linear de regressão, destacando assim que seriam encontradas concentrações mais elevadas de potássio para doses desse nutriente além do limite estudado. Isto mais uma vez comprova o consumo de luxo desse nutriente pelas plantas.

PEREIRA (2001) constatou que a concentração de potássio na massa seca do capim-Mombaça variou de 2,32 a 20,85 g kg⁻¹ por ocasião do primeiro corte das plantas. Para o segundo corte, concluiu que a máxima concentração de potássio neste tecido estaria em 22,55 g kg⁻¹, com o fornecimento da dose de potássio em 715 mg L⁻¹ de solução.

Verificou-se que na ocasião do primeiro corte do capim-Mombaça as doses de nitrogênio e de potássio não resultaram em interação significativa ($P > 0,05$) para a concentração de cálcio nas lâminas de folhas recém-expandidas. Porém foi constatado

efeito significativo ($P < 0,01$) das doses de potássio na concentração de cálcio no tecido vegetal (Figura 7). Para o segundo período de crescimento das plantas houve significância ($P < 0,05$) para a interação entre as doses de nitrogênio e de potássio na concentração de cálcio nas LR (Figura 8).

As concentrações de cálcio nas lâminas de folhas recém-expandidas variaram de forma linear com o suprimento de potássio na solução nutritiva, variando de 10,11 a 3,59 g kg⁻¹, respectivamente para as condições de baixo a alto suprimento de potássio na solução nutritiva, evidenciando assim o efeito negativo das doses de potássio para a concentração de cálcio no tecido vegetal.

Para a ocasião do segundo corte das plantas, constatou-se que as concentrações de cálcio ajustaram-se a modelo polinomial de regressão. Observou-se que houve redução na concentração de cálcio de 7,60 para 2,36 g kg⁻¹ com o incremento das doses de potássio de 19,5 para a dose de 429 mg L⁻¹ combinadas com a dose de nitrogênio de 28 mg L⁻¹. Essa redução foi mais acentuada quando as combinações de nitrogênio e de potássio variaram, respectivamente de 28 mg L⁻¹ e 19,5 mg L⁻¹ para 462 mg L⁻¹ e 429 mg L⁻¹, evidenciando desse modo um efeito negativo do potássio na concentração de cálcio no tecido vegetal. Verificou-se redução de 91% na concentração de cálcio no tecido vegetal quando as

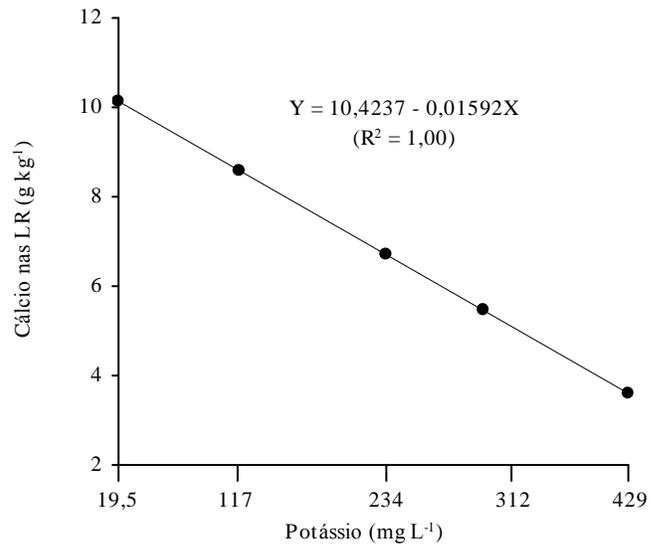
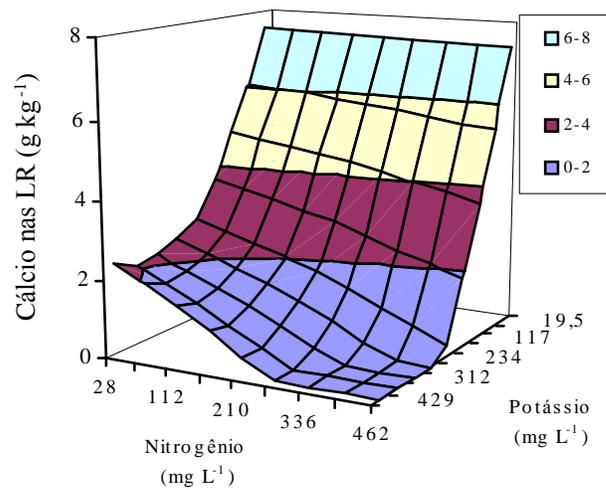


Figura 7. Concentração de cálcio nas lâminas de folhas recém-expandidas, no primeiro corte do capim-Mombaça, em função das doses de potássio na solução nutritiva



$$Y = 8,26794 - 0,03447K - 0,00002424NK + 0,00004984K^2 \quad (R^2 = 0,73)$$

Figura 8. Concentração de cálcio nas lâminas de folhas recém-expandidas, no segundo corte do capim-Mombaça, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva

combinações das doses de nitrogênio e de potássio variaram da mais baixa dose de nitrogênio associada a mais alta dose de potássio para nitrogênio em 462 mg L^{-1} com potássio em 429 mg L^{-1} .

FERRAGINE (1998) constatou, no capim-braquiária, que a interação entre as doses de nitrogênio e potássio não foi significativa ($P > 0,05$) para a concentração de cálcio nas lâminas de folhas recém-expandidas no primeiro período de crescimento das plantas, porém tal significância ($P < 0,05$) foi detectada por ocasião do segundo corte das plantas. Concluiu que nas doses de nitrogênio de 42, 120 e 238 mg L^{-1} e na mais alta dose de potássio (390 mg L^{-1})

foi obtida a mais baixa concentração de cálcio nas lâminas de folhas novas, a qual foi limitante para a nutrição da planta.

A análise de variância da concentração de magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Mombaça revelou não ter sido significativa ($P > 0,05$) a interação entre as doses de nitrogênio e potássio no primeiro e segundo corte das plantas. A concentração de magnésio em ambos os cortes sofreu efeitos significativos ($P < 0,01$) para o suprimento de potássio na solução nutritiva. (Figura 9).

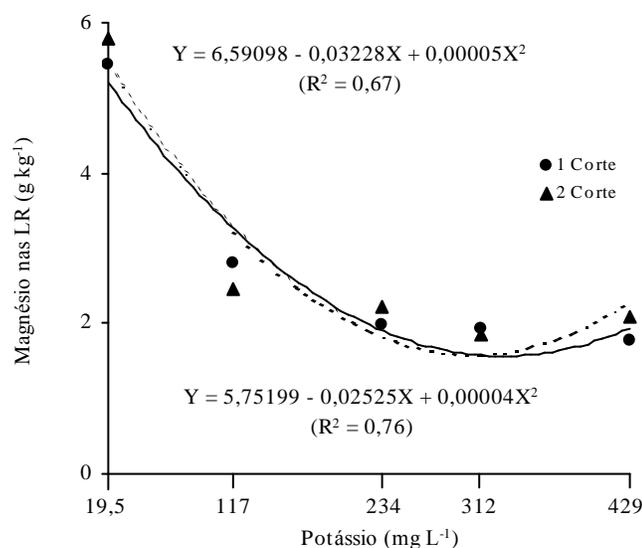


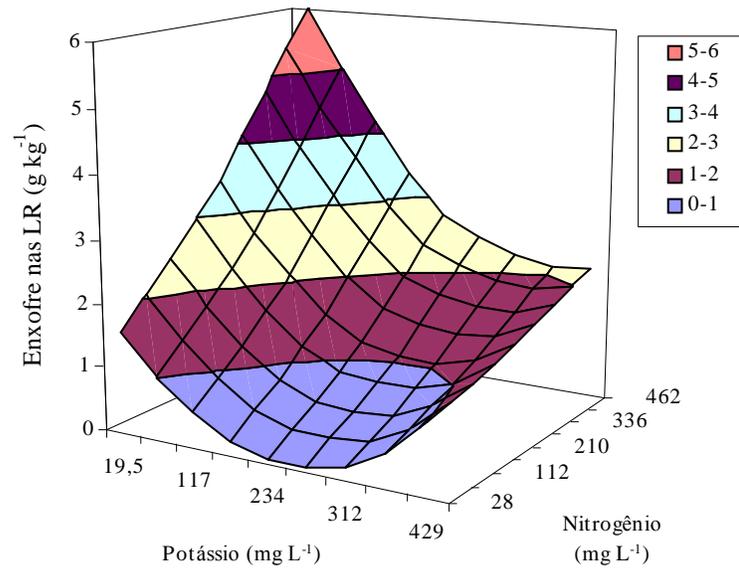
Figura 9. Concentração de magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas no primeiro e segundo cortes do capim-Mombaça, em função das doses de potássio na solução nutritiva

Na ocasião do primeiro crescimento do capim-Mombaça, as concentrações de magnésio ajustaram-se à equação de segundo grau. A máxima concentração de magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas foi obtida com a dose de potássio de $19,5 \text{ mg L}^{-1}$ correspondendo a $5,27 \text{ g kg}^{-1}$, enquanto que a mais baixa concentração foi obtida com a dose de potássio de 315 mg L^{-1} .

No estudo dos efeitos das doses de potássio, observou-se que a concentração de magnésio nas LR do capim-Mombaça, no segundo corte das plantas foi representada por modelo quadrático. Pode-se constatar que as concentrações de magnésio decresceram à medida em que foi se elevando a concentração do potássio na solução nutritiva, como

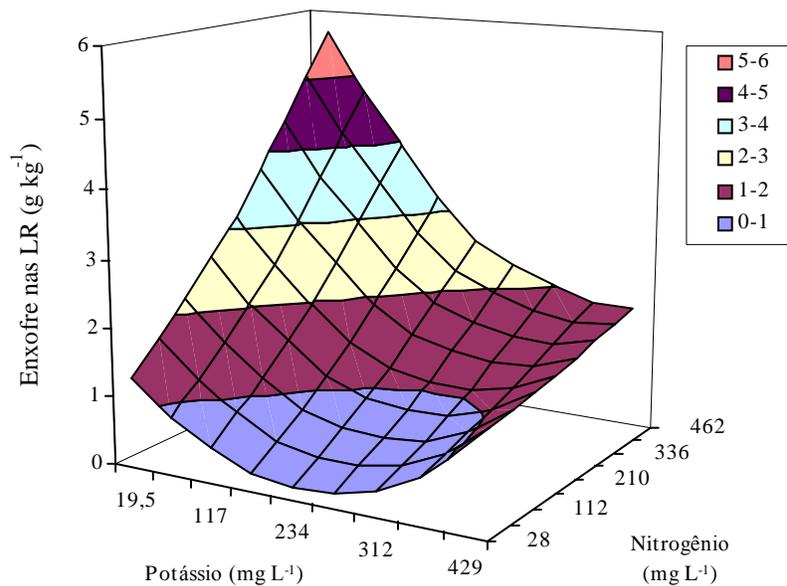
ocorrido no primeiro corte. A concentração do magnésio no tecido vegetal variou de $5,98$ para $1,95 \text{ g kg}^{-1}$ para as condições de baixo a alto suprimento de potássio na solução, respectivamente. A mais baixa concentração de magnésio foi verificada na dose de potássio de 323 mg L^{-1} . Resultados semelhantes também foram encontrados por ANDRADE (1997) com o capim-Napier e FERRAGINE (1998) com o capim-braquiária.

Para os valores das concentrações de enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR), por ocasião do primeiro e segundo crescimentos das plantas, ocorreu significância ($P < 0,01$) para a interação entre as doses de nitrogênio e potássio na solução nutritiva (Figuras 10 e 11).



$$Y = 1,60025 + 0,010618N - 0,014505K - 0,000019211NK + 0,000030788K^2 \quad (R^2 = 0,76)$$

Figura 10. Concentração de enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas, no primeiro corte do capim-Mombaça, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva



$$Y = 1,261426 + 0,010430N - 0,011439K - 0,000021075NK + 0,000026219K^2 \quad (R^2 = 0,83)$$

Figura 11. Concentração de enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas, no segundo corte do capim-Mombaça, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva

Para o primeiro corte das plantas (Figura 10), pode-se verificar que as concentrações de enxofre variaram de 1,62 a 2,14 g kg⁻¹, respectivamente na combinação das mais baixas para as mais altas doses de nitrogênio e de potássio. Nas doses de nitrogênio de 210 mg L⁻¹ e potássio de 234 mg L⁻¹ a concentração foi 27% mais baixa em relação à concentração obtida nas mais baixas doses de nitrogênio e de potássio. A mais baixa concentração de enxofre foi verificada na dose de nitrogênio de 28 mg L⁻¹ combinada com potássio em 234 mg L⁻¹, enquanto que a mais alta concentração de enxofre nas LR foi constatada na combinação da mais alta dose de nitrogênio com a dose mais baixa de potássio, evidenciando assim o efeito positivo do nitrogênio e o efeito negativo do potássio na concentração de enxofre nesse tecido vegetal.

Nas LR coletadas por ocasião do segundo corte da gramínea forrageira (Figura 11) constatou-se que a concentração de enxofre variou de 1,33 a 1,82 g kg⁻¹, respectivamente na combinação das mais baixas doses de nitrogênio e de potássio na solução com a combinação das mais elevadas doses. Constatou-se que a mais elevada concentração de enxofre foi obtida nas doses de nitrogênio e de potássio de 462 e 19,5 mg L⁻¹, sendo aproximadamente 77% mais alta que a concentração obtida com o fornecimento das mais baixas doses de nitrogênio e potássio.

COLOZZA (1998) constatou que a concentração de enxofre nas LR do capim-Mombaça nos dois cortes variou de forma quadrática com as doses de nitrogênio. Concluiu que a concentração máxima de enxofre nesse tecido, no primeiro corte, ocorreu com a dose de nitrogênio de 334 mg kg⁻¹ de solo. Para o segundo corte, também verificou que o ponto de máxima concentração nas LR ocorreria com a presença de doses de nitrogênio superiores às estudadas.

CONCLUSÕES

As doses de nitrogênio e potássio interagem para a produção de massa seca da parte aérea e das raízes do capim-Mombaça;

As concentrações de nitrogênio e enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas, em ambos os cortes do capim, são influenciadas pelo fornecimento das doses de nitrogênio e potássio na solução nutritiva;

As concentrações de potássio e de magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas, nos dois cortes do capim-Mombaça, são alteradas pelas doses de potássio na solução nutritiva;

A concentração de cálcio nas lâminas de folhas recém-expandidas depende das doses de potássio no primeiro corte e da interação entre as doses de nitrogênio e de potássio no segundo corte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, A.C. Produtividade e valor nutritivo do capim-Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Napier) sob diferentes doses de nitrogênio e potássio. Viçosa, 1997. 52p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
- BRADY, N.C. Natureza e propriedade dos solos. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos. 1989. 898 p.
- CARVALHO, M.M.; MARTINS, C.E.; VERNEQUE, R.S. et al. Respostas de uma espécie de *Brachiaria* à fertilização com nitrogênio e potássio em um solo ácido. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.15, p.195 - 200, 1991.
- COLOZZA, M.T. Rendimento e diagnose foliar dos capins Aruana e Mombaça cultivados em Latossolo Vermelho-Amarelo. Piracicaba, 1998. 127p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- COUTINHO, E.L.M.; RODRIGUES, L.R.A.; CONSOLINI, F. et al. Efeitos da adubação nitrogenada e potássica na produção de matéria seca e na composição mineral do capim-Coastcross irrigado. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., Piracicaba, 2001. Anais. Piracicaba: SBZ, 2001. p.299-301.
- EPSTEIN, E. Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas. São Paulo: EDUSP, 1975. 341p.
- FERRAGINE, M.del C. Combinação de doses de nitrogênio e potássio na nutrição mineral de capim-braquiária. Piracicaba, 1998. 84p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- FONSECA, D.M.; ANDRADE, A.C.; QUEIROZ, D.S. et al. Adubação nitrogenada e potássica em capim-Elefante cv. Napier sob pastejo rotativo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE

- ZOOTECNIA, 38., Piracicaba, 2001. Anais. Piracicaba: SBZ, 2001. p.259-261.
- HOPKINS, W.G. Introduction to plant physiology. New York: John Wiley, 1995. 464p.
- JANK, L. Melhoramento e seleção de variedades de *Panicum maximum*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12., Piracicaba, 1995. Anais. Piracicaba: FEALQ, 1995. p.21-58.
- JANK, L.; SAVIDAN, Y.; SOUZA, M.T. et al. Avaliação do germoplasma de *Panicum maximum* introduzido na África. 1. Produção forrageira. Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia, v.23, p.433-440, 1994.
- JARVIS, S.C. Nitrogen management and sustainability. In: CHERNEY, J.H.; CHERNEY, D.J.R. (Ed.) Grass for dairy cattle. Cambridge: CAB Publishing, 1998. cap. 7, p.161 - 192.
- LITTELL, R.C.; MOTT, G.O. Computer assisted design and analysis of response surface experiments in agronomy. Soil and Crop Society of Florida Proceedings. v.34, p.94-97, 1975.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres. 1980. 251 p.
- MANARIN, C.A. Respostas fisiológicas, bioquímicas e produtivas do capim-Mombaça a doses de nitrogênio. Piracicaba, 2000. 58p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MENGEL, K; KIRKBY, E. Principles of plant nutrition. 4.ed. Bern: International Potash Institute, 1987. 687p.
- MONTEIRO, F.A. Nutrição mineral e adubação. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12., Piracicaba, 1995. Anais. Piracicaba: FEALQ, 1995. p.219-244.
- MONTEIRO, F.A.; LIMA, S.A.A.; WERNER, J.C. et al. Adubação potássica em leguminosas e em capim-Colômbio (*Panicum maximum* Jacq.) adubado com níveis de nitrogênio ou consorciado com leguminosas. Boletim de Indústria Animal, v.37, p.127-148, 1980.
- NABINGER, C. Eficiência do uso de pastagens: disponibilidade e perdas de forragem. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 14., Piracicaba, 1997. Anais. Piracicaba: FEALQ, 1997. p.213-251.
- PEREIRA, W.L.M. Doses de potássio e de magnésio em solução nutritiva para o capim-Mombaça. Piracicaba, 2001. 128p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- SANTOS, A.R. Diagnose nutricional e respostas do capim-braquiária submetido a doses de nitrogênio e enxofre. Piracicaba, 1997. 115p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- SARRUGE, J.R. Soluções nutritivas. Summa Phytopathologica, v.1, p.231-233, 1975.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. Análises químicas em plantas. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56p.
- SAS INSTITUTE CORPORATION. Propriety software release 6.11. Cary, 1996.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Plant physiology. Sunderland: Sinauer Associates. 1998. 792 p.