

**COMBINAÇÕES DE DOSES DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO  
PARA O CAPIM-MOMBAÇA**

**JOSÉ LAVRES JUNIOR**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

**PIRACICABA**

Estado de São Paulo - Brasil

Novembro - 2001

**COMBINAÇÕES DE DOSES DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO  
PARA O CAPIM-MOMBAÇA**

**JOSÉ LAVRES JUNIOR**

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. **FRANCISCO ANTONIO MONTEIRO**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

**PIRACICABA**

Estado de São Paulo - Brasil

Novembro - 2001

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Lavres Junior, José  
Combinações de doses de nitrogênio e potássio para o capim-mombaça / José Lavres Junior. -- Piracicaba,  
2001.  
103 p.

Dissertação (mestrado) -- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2001.  
Bibliografia.

1. Capim mombaça 2. Fertilizantes nitrogenados 3. Fertilizantes Potássicos 4. Nutrição vegetal I . Título

CDD 633.2

**“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”**

A Deus pelas graças concedidas na minha vida.

Aos meus queridos pais Lavres e Ádria, por todo o apoio e incentivo ilimitado em todas as etapas e fases de minha vida,

## **AGRADEÇO**

Aos meus irmãos Hayanna, Iago e Hannah e à  
Maria Teresa pelo apoio e carinho em todos os momentos.  
E a toda minha família em especial ao meu tio Omar, por sempre  
acreditar no meu ideal,

## **DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

- Meu reconhecimento ao Professor Dr. Francisco Antonio Monteiro, pela sua extremada orientação, amizade e confiança, desde a minha graduação.
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo apoio financeiro e institucional prestado para a realização deste trabalho.
- Aos Professores Antonio Roque Dechen e Quirino Augusto de Camargo Carmello pelos conhecimentos transmitidos, atenção e colaboração no trabalho de pesquisa.
- À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" e à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas pela realização do curso.
- Aos amigos João de Deus Gomes dos Santos Junior, Roberto Wagner Cavalcanti Raposo, Waldssimiler Teixeira de Mattos e Walcylene Lacerda Matos Pereira, pela ajuda e grande amizade desenvolvida.
- A todos os professores do Curso de Solos e Nutrição de Plantas pelos conhecimentos transmitidos.
- Às funcionárias do Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas - ESALQ/USP, Lúcia Forti, Lurdes González, Nivanda Moura, Ednéia Mondoni, Sueli Bovi e Nancy Amaral pela amizade e auxílio na execução das análises.
- Aos estagiários da Nutrição Mineral de Plantas, Jussiara Vendemiatti, Tiago Maique, Cristiane Prezzoto, Dylnei Consolmagno Neto, José Dias Corrêa, Humberto Ayres Neto e Simeire Manarin pela amizade e apoio na condução do experimento.
- Aos amigos Daniel Medeiros, Gildemberg Amorim Leal Júnior e aos amigos da República Lesma Lerda pela união fraterna.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO .....	viii
SUMMARY .....	x
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1 <i>Panicum maximum</i> Jacq. ....	3
2.2 Nitrogênio e a produção de massa de gramíneas forrageiras ....	6
2.3 Potássio e a produção de massa de gramíneas forrageiras .....	10
2.4 Relação nitrogênio : potássio .....	13
2.5 Perfilhamento e taxa de aparecimento de folha .....	16
2.6 Área foliar .....	20
2.7 Estimativa do teor de clorofila através do valor SPAD .....	22
2.8 Atividade da redutase do nitrato .....	23
2.9 Comprimento total e superfície total de raízes .....	25
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	29
3.1 Local, período e espécie forrageira .....	29
3.2 Instalação e condução do experimento .....	29
3.3 Doses de nitrogênio e potássio, soluções nutritivas e delineamento experimental .....	30
3.4 Produção de massa seca .....	32
3.5 Determinação da área foliar .....	32

3.6 Determinação da superfície total e comprimento total do sistema radicular do capim-Mombaça .....	32
3.7 Composição mineral .....	33
3.8 Atividade da redutase do nitrato .....	33
3.9 Estimativa de teor de clorofila através do valor SPAD.....	34
3.10 Análises estatísticas .....	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	35
4.1 Produção de massa seca da planta forrageira.....	35
4.2 Número de perfilhos e de folhas .....	40
4.3 Área foliar .....	47
4.4 Estimativa do teor de clorofila através do valor SPAD .....	50
4.5 Atividade da redutase do nitrato .....	53
4.6 Superfície total e comprimento total do sistema radicular.....	57
4.7 Concentração de nitrogênio no tecido vegetal .....	60
4.7.1 Folhas emergentes .....	60
4.7.2 Lâminas de folhas recém-expandidas .....	63
4.7.3 Lâminas de folhas maduras .....	66
4.7.4 Colmos mais bainhas .....	68
4.7.5 Raízes .....	71
4.8 Concentração de potássio no tecido vegetal .....	73
4.8.1 Folhas emergentes .....	73
4.8.2 Lâminas de folhas recém-expandidas .....	75
4.8.3 Lâminas de folhas maduras .....	77
4.8.4 Colmos mais bainhas .....	80
4.8.5 Raízes .....	83
4.9 Concentração de cálcio nas lâminas de folhas recém-expandidas .....	84

4.10 Concentração de magnésio nas lâminas de folhas recém- expandidas.....	87
4.11 Concentração de enxofre nas lâminas de folhas recém- expandidas .....	89
5 CONCLUSÕES .....	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	93



# COMBINAÇÕES DE DOSES DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO PARA O CAPIM-MOMBAÇA

Autor : José Lavres Junior

Orientador : Prof. Dr. Francisco Antonio Monteiro

## RESUMO

Com o objetivo de avaliar os efeitos de combinações de doses de nitrogênio e potássio nos atributos bioquímicos, fisiológicos, produtivos e nutricionais do *Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça cultivado em solução nutritiva e utilizando sílica moída como substrato, conduziu-se um experimento em casa-de-vegetação no período de novembro de 2000 a fevereiro de 2001. Foi empregado o desenho experimental composto central modificado de um esquema fatorial  $5^2$  incompleto, perfazendo um total de 13 combinações das doses de nitrogênio e potássio (28N-19,5K; 28N-234K; 28N-429K; 112N-117K; 112N-312K; 210N-19,5K; 210N-234K; 210N-429K; 336N-117K; 336N-312K; 462N-19,5K; 462N-234K e 462N-429K), as quais foram distribuídas segundo o delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições. Aos 36 dias após o transplante das plântulas procedeu-se o primeiro corte das plantas e o material da parte aérea foi separado em folhas emergentes, lâminas das

duas folhas recém-expandidas, lâminas das folhas maduras e colmos mais bainhas. Aos 29 dias após o primeiro corte realizou-se a segunda colheita, procedendo-se a separação da parte aérea como no primeiro corte e sendo as raízes separadas da sílica e lavadas. Os resultados evidenciaram interação significativa ( $P < 0,01$ ) entre as doses de nitrogênio e potássio na produção de massa seca da parte aérea no primeiro e segundo cortes e das raízes do capim-Mombaça, na área foliar em ambos os cortes, no teor de clorofila nas lâminas de folhas recém-expandidas na ocasião do primeiro crescimento, no número de perfilhos e folhas verdes expandidas na ocasião do segundo corte, na atividade da enzima redutase do nitrato no primeiro crescimento e no comprimento total e superfície total de raízes. O teor de clorofila foi significativamente ( $P < 0,01$ ) influenciado pelas doses de nitrogênio na ocasião do segundo corte e as doses de nitrogênio ( $P < 0,01$ ) e potássio ( $P < 0,05$ ) promoveram efeitos significativos no perfilhamento do capim-Mombaça por ocasião do primeiro corte. No primeiro corte das plantas a produção de folhas verdes expandidas mostrou significância ( $P < 0,01$ ) para o componente quadrático da regressão em função do suprimento de nitrogênio na solução e significância ( $P < 0,01$ ) para o componente linear da regressão em função do suprimento de potássio na solução. A atividade enzimática da redutase do nitrato variou significativamente ( $P < 0,01$ ) somente para as doses de nitrogênio por ocasião do segundo corte das plantas. As concentrações de nitrogênio e potássio nos componentes da parte aérea nos dois períodos de crescimento das plantas e nas raízes foram influenciadas pelo fornecimento das doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva.

## NITROGEN AND POTASSIUM COMBINATIONS TO MOMBAÇA GRASS

Author : José Lavres Junior

Adviser: Prof. Dr. Francisco Antonio Monteiro

### SUMMARY

With the objective of evaluating the effects of nitrogen and potassium on biochemical and physiological parameters on mineral nutrition and yield of *Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça. An experiment was carried out in a greenhouse from November 2000 to February 2001. The forage was grown in nutrient solution using ground quartz as substrate. The experimental arrangement used was an incomplete  $5^2$  factorial of nitrogen and potassium and the 13 combinations between nitrogen and potassium (28N-19.5K; 28N-234K; 28N-429K; 112N-117K; 112N-312K; 210N-19.5K; 210N-234K; 210N-429K; 336N-117K; 336N-312K; 462N-19.5K; 462N-234K and 462N-429K) were obtained according to design points of the modified central composite nonrotatable design that was set in a randomized block design, with four replications. Plants were first harvested 36 days after transplanting and the plant tops were separated in emergent leaves (EL), lamina of recently expanded leaves (RL), lamina of mature leaves (ML) and stems plus sheaths (SS). Twenty nine days after the first harvest the plants were harvested again and the plant tops were separated

as in the first harvest and roots were also collected and washed. Results showed nitrogen X potassium interaction was significant ( $P < 0.01$ ) for the plant tops dry matter yield on the first and the second harvests and roots dry matter, leaf area, SPAD values on RL on the first harvest, plant tillering and number of green expanded leaves on the second harvest, nitrate reductase activity on the first harvest, total root length and total root surface. The SPAD values were significantly ( $P < 0.01$ ) changed at the second harvest by nitrogen rates and, tillering was significantly affected by nitrogen ( $P < 0.01$ ) and potassium rates ( $P < 0.05$ ) at the first harvest. The number of green expanded leaves at the first harvest was significantly ( $P < 0.01$ ) influenced by the supply of nitrogen and significantly ( $P < 0.01$ ) affected by potassium rates. At the second plant growth nitrogen rates significantly ( $P < 0.01$ ) influenced nitrate reductase activity. Nitrogen and potassium concentrations in plant tops and roots at both growth periods were affected by nitrogen and potassium rates in the nutrient solution.

## 1 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 fertilidade do solo 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 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, além da sua boa qualidade como alimento animal.

O lançamento de novos cultivares dessa espécie, como o Tanzânia-1 e o Mombaça, respectivamente em 1991 e 1993, pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - CNPQC, fez com que fosse incrementada a utilização desses novos genótipos no País. O capim-Mombaça tem sido cada vez mais utilizado em áreas com a modalidade do pastejo rotacionado. Porém, atualmente existe uma carência de informações relativas às exigências nutricionais dessas plantas forrageiras recém-lançadas no comércio, o que torna necessária a realização de estudos com a finalidade de obter dados referentes ao comportamento fisiológico e produtivo desse capim.

O manejo da fertilidade do solo, a prática da adubação e o conhecimento das exigências nutricionais dessas plantas forrageiras são fatores de grande

importância para a prática do manejo de pastagens, que se reflete na maior produção de forragem e disponibilidade de alimento para os animais.

Dentre os fatores nutricionais envolvidos, o nitrogênio e o potássio desempenham importante papel na produção de forragem e na qualidade da forragem. O nitrogênio por ser componente essencial de aminoácidos e proteínas, ácidos nucléicos, hormônios e clorofila, dentre outros compostos orgânicos essenciais à vida das plantas e o potássio por estar envolvido em diversas reações bioquímicas necessárias ao metabolismo vegetal, além de serem os nutrientes mais extraídos pelas plantas.

Desta forma, 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 nos atributos bioquímicos, fisiológicos, nutricionais e produtivos do capim-Mombaça.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 *Panicum maximum* Jacq.

A introdução de capins originários das regiões tropicais do Continente Africano em regiões de pecuária no Brasil sempre se revestiu de grande importância e cada vez mais assume destaque pelo fato de eles apresentarem boa adaptação às condições edáficas dos solos brasileiros e climáticas semelhantes ao seu centro de origem, como também por serem a base principal do fornecimento de alimento para o rebanho.

Dentro da espécie *Panicum maximum* Jacq. ocorrem muitos cultivares, sendo o capim-Colonião o mais difundido e utilizado nos sistemas de exploração de pastagens e produção pecuária no Brasil. As informações sobre a área ocupada e cultivada pelos capins do gênero *Panicum* no país não são precisas, porém já são utilizados há décadas principalmente em áreas de desmatamento destinadas à implantação de pastagens. Quanto ao cultivar Mombaça as informações atuais são poucas, porém sabe-se que a utilização desse capim vem crescendo principalmente em áreas de exploração intensificada de pastagens, como na modalidade de pastejo rotacionado.

De acordo com Aronovich (1995) a espécie *Panicum maximum* chegou a ocupar área superior a seis milhões de hectares no Brasil e, provavelmente pela crescente degradação dessas pastagens, principalmente pela falta do manejo aliada à baixa reposição de nutrientes ao solo, essa área pode ter sofrido redução. Essa diminuição de área tem sido verificada após alguns ciclos de pastejo, evidenciando o decréscimo na produção de massa seca e persistência

das plantas no sistema, com decréscimo na produção de carne e leite. Portanto, a questão fundamental para uma nova expansão de área do *Panicum maximum* está fundamentada no conhecimento da exigência da planta forrageira quanto aos atributos físicos e químicos do solo, os quais têm restringido a sua persistência em áreas de exploração mais tecnificadas.

Neste sentido, pesquisas têm sido desenvolvidas com a finalidade de selecionar materiais mais adaptados às condições de solos de baixa fertilidade e ácidos, de grande ocorrência no Brasil Central, onde a atividade pecuária é bastante explorada. De acordo com Jank (1995) a busca por materiais genéticos superiores para gramíneas forrageiras tropicais foi incrementada nos anos 80 e resultou no lançamento de vários cultivares no Brasil. Jank (1995) também destacou que, atualmente no país, existem programas de melhoramento genético com diversas espécies forrageiras como *Brachiaria* spp., *Pennisetum purpureum*, *Paspalum* sp. e *Panicum maximum*, entre outros. Esses programas foram responsáveis pelo lançamento de cultivares como os capins Centenário e Centauro, respectivamente em 1986 e 1988 pelo Instituto Agrônomo de Campinas; o cultivar Aruana lançado em 1989 pelo Instituto de Zootecnia; o cultivar Vencedor em 1990 pelo Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - Embrapa e mais recentemente os cultivares Tanzânia-1 e Mombaça, respectivamente em 1990 e 1993 pelo Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte - Embrapa, juntamente com outras instituições, sendo estes últimos resultado da seleção direta do germoplasma, procedente da ORSTOM - França e coletado no Quênia e Tanzânia.

A espécie *Panicum maximum* é amplamente explorada no mundo como planta forrageira, e de acordo com Hacker & Jank (1998) os cultivares Natsukaze e Natsuyutaka são utilizados no Japão principalmente para a produção de feno; os cultivares Gatón, Petrie e Hamil são bastante utilizados na Austrália e o cultivar Likoni introduzido em Cuba e Porto Rico em sistemas de produção de leite. No Brasil os principais cultivares são o Colômbio, Sempre Verde, Tobiata, Aruana, Colômbio IZ-1, Centenário, Centauro, Vencedor,



Tanzânia-1 e Mombaça, sendo o capim-Colonião o mais difundido e um dos principais capins que ocupam grande área no país.

Conforme informações da Embrapa - CNPGC (1993) e Jank (1995) o capim-Mombaça é uma planta de crescimento cespitoso chegando a atingir cerca de 1,70 m de altura e tem folhas com porte ereto com largura de até três centímetros. Possui poucas manchas roxas nas espiguetas e pouca pilosidade nos colmos.

Jank et al. (1994) e Jank (1995), comparando as diferenças agrônômicas entre os cultivares Tanzânia-1 e Mombaça e as testemunhas Colonião e Tobiata, em avaliação no CNPGC, observaram que os cultivares Tanzânia-1 e Mombaça foram respectivamente 86 e 136% mais produtivos que o cultivar Colonião, apresentaram, respectivamente, 29 e 32% maior percentagem de folhas, sendo que a distribuição durante o ano da produção, dos capins Mombaça e Tanzânia-1, também foi melhor em relação ao Colonião e o Tobiata. A produção de massa seca de folhas do capim-Mombaça foi de 33 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, para o capim-Tanzânia-1 26 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, enquanto que no capim-Colonião essa produção foi de 14 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Com relação à produção entre dois anos consecutivos, quando não foram adicionados os nutrientes ao solo durante a fase de crescimento das plantas, o cultivar Tanzânia-1 e o Mombaça reduziram a sua produção em 48 e 45% respectivamente, enquanto que o Colonião reduziu em 65%.

Machado et al. (1997), em experimento de avaliação de oito genótipos de *Panicum maximum* (Aruana, Centenário, Colonião, K249, KK8, Mombaça, Tanzânia-1 e Tobiata) quanto à produção de massa seca verde total, de folhas e a relação folha:colmo, submetidos a duas alturas de corte em dois períodos experimentais (período chuvoso e seco), constataram que o capim-Mombaça foi um dos mais produtivos em ambas alturas de corte durante o ano.

Com o objetivo de avaliar a produção de massa seca de três gramíneas forrageiras (*Brachiaria decumbens*, *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum* cv. Mombaça) influenciados pela aplicação de nitrogênio e fósforo, Pacheco et

al. (1996) verificaram maior produção de massa seca pela *Brachiaria decumbens* seguida pelo capim-Mombaça e pela *Brachiaria brizantha*. Concluíram que as braquiárias tiveram o mesmo comportamento, enquanto que o capim-Mombaça foi menos exigente em fósforo.

Corrêa & Freitas (1997) constataram que entre os quatro cultivares de *Panicum maximum* (Tanzânia-1, Mombaça, Vencedor e T21) submetidos a doses de fósforo aplicadas no plantio, o cultivar Mombaça foi o mais produtivo, seguido pelo T21 e do Tanzânia-1, enquanto o cultivar Vencedor foi o menos produtivo.

## **2.2 Nitrogênio e a produção de massa de gramíneas forrageiras**

O nitrogênio, apesar de abundante na atmosfera na forma de  $N_2$  compondo 78% do ar atmosférico, está presente em baixas concentrações na maioria dos solos. Este elemento mineral não é componente da rocha matriz, a qual é a grande fonte da maioria dos nutrientes minerais aos solos.

O nitrogênio 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, ou seja, o equilíbrio entre nutrientes no substrato, o suprimento de água e as variáveis climáticas sendo controladas e não se tornando limitantes, as plantas forrageiras respondem acentuadamente ao suprimento de nitrogênio.

O nitrogênio é o elemento essencial exigido pelas plantas em maior quantidade (Taiz & Zeiger, 1998), geralmente representa de 20 a 40  $g\ kg^{-1}$  da massa seca dos tecidos vegetais (Mengel & 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 controles hereditários. É essencial para utilização de carboidratos no interior da planta, além de estimular o crescimento e o desenvolvimento de folhas, caules e raízes, promovendo uma maior absorção de outros nutrientes. (Brady, 1989; Hopkins, 1995; Marschner, 1995; Nabinger, 1997; Taiz & Zeiger, 1998).

Werner (1986) destacou a importância do nitrogênio para plantas forrageiras por ser um elemento mineral essencial para a manutenção da produtividade das plantas e por ser o principal constituinte de proteínas que participam ativamente na síntese de compostos orgânicos necessários ao metabolismo vegetal e são constituintes da estrutura das plantas, sendo portanto, responsável por características ligadas ao porte da planta tais como o tamanho das folhas, tamanho do colmo e aparecimento e desenvolvimento de perfilhos.

Segundo Corsi (1984) o nitrogênio promove diversas alterações fisiológicas em gramíneas forrageiras, como no número, tamanho, peso e taxa de aparecimento de perfilhos e folhas, e alongamento do colmo, que são fatores intrínsecos na produção de massa seca e valor nutritivo da planta forrageira, resultando na elevação de índices zootécnicos.

De acordo com Colozza (1998) diversos estudos têm demonstrado aumentos significativos na produção de massa seca e valor nutricional de *Panicum maximum* com o suprimento de nitrogênio e, apesar de na maioria desses experimentos ter havido respostas lineares ao nitrogênio nessas variáveis, a magnitude dessas respostas têm sido variadas, concluindo deste modo, a necessidade de estudar as doses de nitrogênio aplicadas como também a frequência do seu suprimento para melhor entender o comportamento produtivo dessas plantas.

Mattos & Werner (1979), em experimento de campo com duração de três anos, estudaram a aplicação de nitrogênio nas doses de 75, 150, 225 kg ha<sup>-1</sup> e testemunha no capim-Colonião e verificaram que a produção de massa seca e a concentração de proteína bruta aumentaram linearmente com a elevação das doses de nitrogênio.

Singh & Rai (1984), com o objetivo de avaliar as respostas dos cultivares Guinea e Eyles de *Panicum maximum* e *Panicum coloratum* ao suprimento de nitrogênio (0; 40; 80; 120 kg ha<sup>-1</sup>) cultivados em área com teor médio de potássio no solo, observaram que as três gramíneas responderam significativamente às adições de nitrogênio nas doses de 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup>, para a produção de massa seca e conteúdo de proteína bruta, respectivamente.

Carvalho et al. (1991), cultivando *Brachiaria decumbens* em um Latossolo Vermelho - Amarelo Álico, observaram que a concentração de nitrogênio na parte aérea do capim aumentou linearmente com a aplicação desse nutriente até a dose de 400 kg ha<sup>-1</sup>.

Com relação ao gênero *Panicum*, Santos et al. (1995) constataram que com o fornecimento de nitrogênio para o capim-Vencedor, a máxima produção de massa seca foi alcançada com a dose de nitrogênio de 362 mg L<sup>-1</sup> de solução nutritiva. Observaram ainda que a concentração de nitrogênio aumentou linearmente nas partes da planta com o incremento das doses de nitrogênio e que as mais altas concentrações ocorreram nas lâminas de folhas recém-expandidas. Houve aumento significativo no número de perfilhos com o suprimento de nitrogênio na solução.

Corrêa et al. (1996) avaliaram a produção de massa seca, a concentração de nitrogênio e o perfilhamento do capim-Vencedor submetido ao suprimento de nitrogênio e verificaram que o número de perfilhos e a produção de massa seca da parte aérea foram influenciados significativamente pelo fornecimento das doses do nutriente. Constataram também que a concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas aumentou linearmente com o incremento de nitrogênio na solução nutritiva.

Colozza (1998), trabalhando com dois capins de gênero *Panicum* (cultivares Aruana e Mombaça) cultivados em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em condição de casa-de-vegetação e mediante o fornecimento de nitrogênio, obteve pontos de máxima produção de massa seca da parte aérea para o capim-Aruana com o emprego de nitrogênio de 171 e 332 mg kg<sup>-1</sup> de solo, respectivamente para o primeiro e segundo período de crescimentos da gramínea, enquanto que para o capim-Mombaça os pontos de máxima produção de massa seca da parte aérea ocorreram com o fornecimento de nitrogênio de 147 e 294 mg kg<sup>-1</sup> de solo. A produção máxima de massa seca de raízes do capim-Aruana foi obtida com o emprego de nitrogênio em 262 mg kg<sup>-1</sup> de solo e para o capim-Mombaça com a dose de nitrogênio de 224 mg kg<sup>-1</sup> de solo. Observou também que a concentração de nitrogênio nas folhas dos capins e o perfilhamento aumentaram à medida que o nitrogênio foi incrementado e que a lâmina de folhas recém-expandidas foi a parte da planta mais adequada para avaliar o estado nutricional em relação ao nitrogênio.

Santos (1997), em experimento com *Brachiaria decumbens*, estudou oito doses de nitrogênio (0; 14; 42; 126; 210; 294; 378; 462 mg L<sup>-1</sup> de solução) e verificou aumentos significativos na produção de massa seca da parte aérea e raízes e no número de perfilhos. Verificou também que as lâminas de folhas recém-expandidas mostraram-se as mais indicadas para a avaliação da nutrição da gramínea forrageira quanto ao nitrogênio.

Manarin (2000), testando a influência do nitrogênio no capim-Mombaça, obteve pontos de máxima produção de massa seca da parte aérea com o suprimento de nitrogênio de 447 e 433 mg L<sup>-1</sup> de solução nutritiva, respectivamente para o primeiro e segundo crescimentos da planta. Constatou que o valor máximo de produção de massa seca das raízes seria obtido com a dose de nitrogênio de 484 mg L<sup>-1</sup>, sendo esta superior ao limite estudado no experimento.

De acordo com Monteiro (1995) a utilização de nitrogênio para a aplicação em pastagens de *Panicum maximum*, tem variado de 50 a 300

kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, sendo que a dose mais baixa tem sido considerada como mínima para evitar a degradação do pasto e as doses mais elevadas recomendadas para incrementos na produção da pastagem, necessitando portanto do parcelamento dessas doses para reduzir ou evitar a perda do adubo nitrogenado principalmente pela lixiviação.

### **2.3 Potássio e a produção de massa de gramíneas forrageiras**

O teor médio de potássio na crosta terrestre está em torno de 23 g kg<sup>-1</sup>, sendo a maior parte deste elemento constituinte de argilominerais. Em solos orgânicos freqüentemente os teores de argila e potássio são baixos e portanto a principal fonte deste elemento para o crescimento dos vegetais, em condições normais, é a intemperização de minerais como feldspato e mica (Mengel & Kirkby, 1987).

O potássio é um elemento essencial para todos os organismos vivos, sendo o cátion mais importante nos processos fisiológicos das plantas não somente pela sua concentração nos tecidos vegetais, mas também pelas suas funções bioquímicas (Mengel & Kirkby, 1987).

Próximo ao nitrogênio, o potássio é o nutriente mineral retirado em grande quantidade pelas plantas (Marschner, 1995), ocupando o segundo lugar (Epstein, 1975; Taiz & Zeiger, 1998). A exigência de potássio para o ótimo crescimento das plantas, varia entre 20 a 50 g kg<sup>-1</sup> de massa seca do vegetal (Marschner, 1995). Está presente nas plantas na forma de K<sup>+</sup> 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; Marschner, 1995; Taiz & Zeiger, 1998).

Segundo Werner (1986) as plantas forrageiras deficientes em potássio apresentam colmos finos, raquíuticos e pouco resistentes ao acamamento, as folhas são pouco desenvolvidas e em fases mais avançadas de deficiência ocorre a clorose e posterior necrose nas pontas e nas margens, afetando assim a produtividade da planta forrageira. Raji (1991) também enfatizou que as plantas em condições de carência deste nutriente apresentam turgidez reduzida, e sob deficiência de água tornam-se flácidas, sendo pouco resistentes à seca e mais susceptíveis ao ataque de fungos.

Nas áreas dedicadas a pastagens não é generalizada a ocorrência de baixos teores de potássio trocável (Monteiro, 1995), porém a sua exportação em áreas com plantas forrageiras submetidas a cortes com remoção da forragem (áreas de capineira, produção de mudas e fenação) deve merecer uma atenção especial (Monteiro, 1998). Portanto, o regime de fertilização potássica deverá ser manejado de acordo com a capacidade do solo em suprir este elemento para as plantas, pelo total de potássio removido nos ciclos de pastejo. Também deve-se atentar para a reciclagem deste nutriente através das fezes e urina dos animais, que mesmo não tendo uniforme distribuição na área de pastagem, contribui com a entrada deste elemento nas áreas de pastagens como discutido por Monteiro & Werner (1994 e 1997).

Vicente-Chandler et al. (1962) cultivaram *Panicum maximum* cv. Guinea em um solo Podzólico Vermelho-Amarelo, nas condições de trópico úmido em Porto Rico, e forneceram uma elevada dose de nitrogênio ( $660 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e cinco doses de potássio de 0; 220; 440; 880 e  $1760 \text{ kg ha}^{-1}$  na forma de cloreto de potássio, sendo o adubo potássico aplicado após cada corte da planta. Verificaram efeito positivo na produção de massa seca pelo fornecimento de potássio até a dose de  $440 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Constataram também que, no local onde não foi realizada essa fertilização, as plantas mostraram sinais de deficiência de potássio, caracterizadas pelos pontos marrons e necrose na ponta das folhas mais velhas.

França & Haag (1985), cultivando o *Panicum maximum* cv. Tobiata em soluções nutritivas completa e com a omissão de nutrientes, observaram que na omissão de potássio houve redução acentuada na produção de massa seca e no número de perfilhos em relação à solução completa.

Mattos (1997) conduziu dois experimentos em casa-de-vegetação com *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha* em solução nutritiva, com a finalidade de estudar a diagnose nutricional de potássio nessas duas espécies forrageiras. Constatou que o suprimento de potássio na solução promoveu aumentos na produção de massa seca da parte aérea e das raízes, no número de perfilhos e na concentração de potássio nos componentes da parte aérea e das raízes em ambas espécies.

Silva et al. (1995), em experimento com o capim-Tanzânia-1 submetido a doses de potássio (0; 9,75; 39; 78; 156; 234 e 312 mg L<sup>-1</sup>) em solução nutritiva, verificaram efeitos significativos no perfilhamento e na produção de massa seca da parte aérea pelo suprimento de potássio. Concluíram que as máximas produções ocorreriam em doses superiores às utilizadas no experimento.

Benetti & Monteiro (1999) estudaram o efeito do suprimento de doses de potássio (0; 9,75; 39; 78; 156; 234; 312 e 468 mg L<sup>-1</sup>) em solução nutritiva na produção de massa seca da parte aérea e das raízes, no perfilhamento e na composição química do capim-Vencedor. Observaram que ocorreram efeitos significativos das doses de potássio na produção de massa seca da parte aérea e das raízes, no número de perfilhos, na concentração de potássio e magnésio nos componentes da parte aérea e nas raízes, como também no acúmulo do potássio nas plantas. Constataram que houve efeito antagônico entre as doses de potássio e a concentração de magnésio nos tecidos, e que a maior concentração de potássio foi encontrada nas bainhas das folhas, nos dois crescimentos do capim.

Pereira (2001) avaliou o efeito do fornecimento de potássio para o capim-Mombaça, utilizando doses de potássio na solução similares às de Benetti & Monteiro (1999) e verificou que o perfilhamento, a produção de massa seca da



parte aérea e das raízes e a concentração de potássio nos componentes da parte aérea (folhas em expansão, lâminas de folhas recém-expandidas, lâminas de folhas maduras, colmos mais bainhas) e raízes aumentaram significativamente com a adição de potássio. No primeiro corte, os resultados da produção de massa seca ajustaram-se a uma equação de segundo grau e o ponto de máxima produção ocorreria acima do limite estudado. Para o segundo corte, a produção da parte aérea também se ajustou a um modelo quadrático em função das doses de potássio e o ponto de máxima produção foi obtido com o potássio na solução em  $460 \text{ mg L}^{-1}$ .

Com relação ao suprimento de potássio para as plantas deve-se salientar porém, que para situações onde a aplicação de potássio no solo é elevada e contínua, poderá muitas vezes ocorrer o "consumo de luxo", interferindo assim na absorção e disponibilidade fisiológica do cálcio e magnésio para esses vegetais.

Segundo Monteiro (1995) a recomendação de adubação com potássio para pastagens com plantas forrageiras do gênero *Panicum* tem sido feita com base na análise de terra. Na formação do pasto, na situação de teor muito baixo ou baixo de potássio trocável (abaixo de  $1,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) é aconselhável a aplicação de  $\text{K}_2\text{O}$  à base de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  e para pastagens formadas tal dosagem tem sido de  $60$  ou  $30 \text{ kg ha}^{-1}$ , para os casos de teores muito baixo/baixo ou médio, respectivamente.

#### **2.4 Relação nitrogênio : potássio**

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-Colômbia 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<sup>-1</sup>. 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<sup>-1</sup> na ausência do suprimento de potássio.

Carvalho et al. (1991), estudando o efeito da aplicação de nitrogênio (0; 100; 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) e potássio (0; 75 e 150 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) 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.

Martim (1997), estudando os efeitos das doses de nitrogênio de 20; 100 e 180 kg ha<sup>-1</sup> e doses de potássio de 15; 75 e 135 kg ha<sup>-1</sup> para os capins Coastcross-1 e Tifton 85, verificou que ocorreram efeitos significativos da interação entre nitrogênio e potássio, quanto a produção de massa seca. Concluiu que os maiores incrementos dessa produção, em função da aplicação de nitrogênio, ocorreram nas doses mais elevadas de potássio, enquanto as mais elevadas concentrações de nitrogênio foram obtidas nas mais baixas doses de potássio. A concentração de potássio aumentou enquanto a concentração de nitrogênio diminuiu com as doses de potássio.

Andrade (1997) avaliou os efeitos das adubações nitrogenada e potássica na espécie *Pennisetum purpureum* cv. Napier, nas doses de nitrogênio de 20; 50; 100; 200; 300; 350 e 380 kg ha<sup>-1</sup> e potássio nas doses de 16; 40; 80; 160; 240; 280 e 304 kg ha<sup>-1</sup>, em experimento constituído de um esquema fatorial incompleto perfazendo 14 combinações. Verificou que apenas

no segundo crescimento das plantas a produção de massa seca foi influenciada significativamente pelas doses de nitrogênio e de potássio. Observou também incremento de produção de 76%, quando os nutrientes foram fornecidos na combinação das mais baixas doses (20 e 16 kg ha<sup>-1</sup>) para a das mais altas (300 e 304 kg ha<sup>-1</sup>).

Ferragine (1998), trabalhando com o capim-braquiária, estudou cinco doses de nitrogênio (42; 140; 238; 336 e 434 mg L<sup>-1</sup>) em combinação com três doses de potássio (78; 234 e 390 mg L<sup>-1</sup>) em solução nutritiva e verificou interação significativa entre o nitrogênio e potássio na produção de massa seca da parte aérea no primeiro crescimento. No estudo das doses de nitrogênio dentro de cada dose de potássio constatou que a produção de massa seca do capim foi influenciada significativamente pelas doses de nitrogênio em cada dose de potássio e em qualquer dos casos analisados a resposta ao nitrogênio se ajustou a modelo linear. A maior produção de massa seca da parte aérea, no primeiro corte, foi alcançada mediante o suprimento de nitrogênio na solução em 434 mg L<sup>-1</sup> e em presença da dose de potássio de 234 mg L<sup>-1</sup>, numa relação de concentração de nitrogênio e potássio na solução nutritiva de 1,85 : 1.

Coutinho et al. (2001) estudaram os efeitos das doses de nitrogênio de 30; 60; 120; 180 e 240 kg ha<sup>-1</sup> e doses de potássio de 30; 60; 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> 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 no experimento e as concentrações desses nutrientes na parte aérea do capim. Verificaram também sintomas típicos de deficiência desses nutrientes nas plantas correspondentes aos tratamentos 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<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) e de potássio (50; 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) na produção de massa seca e composição química da forragem produzida, Fonseca et al. (2001) conduziram um experimento com capim-Napier submetido a nove tratamentos resultantes da combinação das 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 aplicadas, e que a composição química das plantas foi influenciada pela combinação das doses dos nutrientes.

Vários autores têm destacado que a necessidade da fertilização potássica para plantas forrageiras é muitas vezes calculada em relação ao regime da adubação nitrogenada. Isto tem sido apontado em diversos estudos, os quais chegam a estabelecer uma relação entre 1,5 a 3,0 kg de  $K_2O$  para cada 4,0 kg de N aplicado, ou ainda, numa proporção de nitrogênio de 160  $kg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$  para potássio de 110  $kg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ . Contudo, vale uma ressalva quanto a generalização dessas relações preestabelecidas, pois primeiramente deve-se conhecer melhor as exigências nutricionais para cada espécie, ou ainda, para cada cultivar, aliada ao manejo das plantas, além das condições edáficas e climáticas locais como também pelo fato de estes dois nutrientes possuírem dinâmicas distintas no solo.

## **2.5 Perfilhamento e taxa de aparecimento de folha**

A produtividade e a perenidade das pastagens decorrem de sua capacidade de reconstituição de nova área foliar após desfolha intensa, sob pastejo rotacionado, ou da manutenção de sua área foliar sob pastejo contínuo. Tal capacidade, além de depender de fatores ambientais como luz, temperatura, fertilidade e umidade do solo, decorre de características genótípicas da vegetação, onde o desenvolvimento, crescimento e senescência de folhas e perfilhos constituem processos fisiológicos que caracterizam a dinâmica do desenvolvimento de uma pastagem (Gomide, 1997).

De acordo com Silsbury (1970) o desenvolvimento vegetativo de uma gramínea é caracterizado pelo aparecimento e desenvolvimento de folhas e perfilhos, alongamento do colmo e desenvolvimento do sistema radicular.

Nabinger (1997) relatou que genótipos com alta taxa de surgimento de folhas apresentam alto potencial de perfilhamento e determinam uma pastagem com uma densidade de perfilhos mais elevada do que aquelas com baixa taxa de surgimento de folhas.

O aparecimento e o desenvolvimento de perfilhos estão associados à atividade meristemática. Nas gramíneas tropicais, levando-se em consideração às diferenças entre genótipos, o perfilhamento relaciona-se positivamente com altas temperaturas, alta intensidade luminosa e elevadas disponibilidades de água e de nutrientes minerais (Langer, 1963). Também, Favoretto (1993) apontou para o efeito da remoção do material vegetal, ressaltando que dependendo da severidade do corte, estágio de crescimento e genótipo da planta, a remoção do ápice ou de todo o caule pode promover ou causar inibição no perfilhamento.

Segundo Nabinger (1997) o potencial de perfilhamento é determinado pela velocidade de emissão de folhas, pois na formação de cada folha há correspondência com a geração de uma ou mais gemas axilares.

A densidade de perfilhos tem sua importância associada a outras características estruturais da pastagem, como o número de folhas por perfilho e o tamanho da folha, os quais são componentes determinantes do índice de área foliar (IAF). Este índice é o principal fator que influencia a interceptação da luz e conseqüentemente a dinâmica de rebrota do pasto (Chapman & Lemaire, 1993).

Dentre vários fatores, como temperatura, luz, umidade do solo e características genótípicas da espécie vegetal, a disponibilidade de nutrientes exerce grande influência na taxa de aparecimento de folhas, no perfilhamento e conseqüentemente na área foliar do dossel.

Werner (1986) realçou o efeito do nitrogênio no crescimento de gramíneas, por exercer influência no tamanho das folhas, no colmo e no desenvolvimento dos perfilhos. Nabinger (1997) também destacou a importância do nitrogênio na taxa de aparecimento de perfilhos, mas salientou que elevadas doses desse nutriente podem determinar uma menor densidade de perfilhos no pasto devido ao mais rápido desenvolvimento do índice de área foliar e ao aumento na mortalidade dos mesmos.

Vários estudos têm mostrado a influência do estado nutricional da planta forrageira no seu perfilhamento. Santos et al. (1995), cultivando o capim-Vencedor submetido a doses de nitrogênio, constataram que o perfilhamento das plantas diferiu acentuadamente entre as condições de baixo e alto fornecimento de nitrogênio na solução nutritiva.

Corrêa (1996) estudou doses de nitrogênio e de magnésio no perfilhamento dos capins Colonião, Tanzânia-1 e Vencedor, e constatou efeitos significativos das doses de nitrogênio no perfilhamento dos três capins.

Colozza (1998) observou que o número de perfilhos variou significativamente com as doses de nitrogênio, nos dois cortes efetuados nos capins Aruana e Mombaça. Para o capim-Aruana obteve o maior número de perfilhos com as doses de nitrogênio de 150 e 233 mg kg<sup>-1</sup> de solo, no primeiro e segundo crescimento das plantas, respectivamente, enquanto que, no capim-Mombaça esse aumento no perfilhamento correspondeu às doses de nitrogênio de 149 e 268 mg kg<sup>-1</sup> de solo, no primeiro e segundo crescimento, respectivamente.

Manarin (2000), trabalhando com o capim-Mombaça submetido a doses de nitrogênio na solução nutritiva, concluiu que o número de perfilhos nos dois períodos de crescimento foi significativamente influenciado pelo suprimento do nitrogênio.

Pereira (2001) avaliou o efeito do fornecimento de potássio na solução nutritiva para o perfilhamento do capim-Mombaça e constatou que as doses de potássio tiveram efeito significativo no número de perfilhos nos dois períodos de

crescimentos do capim. Verificou também que o maior número de perfilhos foi obtido com dose de potássio igual ou superior a  $234 \text{ mg L}^{-1}$  no final do primeiro crescimento e igual a  $468 \text{ mg L}^{-1}$  no final do segundo crescimento.

Quanto à taxa de aparecimento de folhas, muitos trabalhos empregaram o índice plastocrônico, ou simplesmente, plastocrono que representa o período em dias, entre o aparecimento de primórdios foliares sucessivos. Porém, atualmente tem-se utilizado outra variável, o filocromo, que é definido como o período entre o aparecimento de duas folhas sucessivas.

Segundo Gomide (1997), quatro tipos de folhas podem ser observados durante o desenvolvimento dos perfilhos, classificados em folhas senescentes, folhas completamente expandidas, folhas emergentes e folhas em expansão envolvidas pelo pseudo-colmo. Destacou também que o intervalo de tempo para o aparecimento de duas folhas sucessivas, expresso em graus-dias ou dias-graus, é geneticamente determinado e condicionado pelos fatores do meio, e o inverso do intervalo de tempo para o crescimento de duas folhas sucessivas estima a taxa de aparecimento de folhas, expresso em folhas-dia, que é influenciado por fatores abióticos e bióticos.

Skinner & Nelson (1992 e 1994) descreveram que a taxa de aparecimento de folhas é obtida através do inverso do filocromo e que representa o número de folhas por perfilho-dia.

Ferragine et al. (2001) estudaram o capim-braquiária submetido a doses de nitrogênio e potássio na solução e avaliaram o número de folhas verdes nos dois crescimentos das plantas. Concluíram que a média de folhas verdes por perfilho foi significativamente influenciada pelo suprimento de nitrogênio nos dois períodos de crescimento, e que não houve efeito significativo tanto da interação  $\text{NxK}$ , como do suprimento de potássio. Descreveram que a taxa de aparecimento de folhas foi maior quando o nitrogênio foi suprido nas doses de  $336$  e  $434 \text{ mg L}^{-1}$ .

## 2.6 Área foliar

As plantas forrageiras são extremamente bem adaptadas às condições de desfolha, pois possuem mecanismos de formação contínua de tecido após a remoção das folhas, sendo este mecanismo verificado até antes do estágio de florescimento ser alcançado. Durante a fase vegetativa as regiões de crescimento (zonas meristemáticas) estão localizadas na base das plantas, além do alcance da boca de animais e do corte por máquinas. Caso alguns meristemas sejam removidos pela desfolha, eles são prontamente substituídos por novos perfilhos. Poucas plantas possuem um mecanismo eficiente de recuperação do crescimento e por isso não é de se admirar que as gramíneas tenham assumido a posição de importantes plantas forrageiras (Langer, 1979).

Para o incremento da produção vegetal é necessário que ocorra um aumento na utilização de energia solar e de outros fatores ambientais favoráveis. A fotossíntese de folhas individuais é máxima quando as suas superfícies estão perpendiculares à radiação solar. Quando a exposição aos raios solares é reduzida abaixo do nível de saturação pelo efeito do sombreamento ou pela redução do ângulo de inclinação, a fotossíntese por unidade de superfície de folha torna-se reduzida. Para uma utilização eficiente da radiação solar torna-se necessário que as folhas possuam alta capacidade fotossintética, máximo aproveitamento de captação da energia luminosa e distribuição favorável da energia luminosa por todas as folhas na cultura (Brown & Blaser, 1968).

Segundo Nabinger (1997) entre os fatores limitantes ao índice de área foliar (IAF) a deficiência de água e de nitrogênio são os mais comuns e, tanto a deficiência de água como a de nitrogênio diminuem progressivamente a taxa fotossintética das folhas, a eficiência de conversão, a interceptação de luz, a produção da energia luminosa e conseqüentemente a área foliar do vegetal.

O estado nutricional das plantas, como também as condições do ambiente como temperatura, luminosidade, umidade do solo aliados às



características genéticas da planta e manejo, são ferramentas fundamentais para o processo de formação e manutenção dos tecidos vegetais e consequentemente de sua área foliar.

Pinto et al. (1994), com o objetivo de avaliar a taxa de expansão foliar do *Panicum maximum* cv. Guiné e *Setaria anceps* cv. Kazungula cultivadas com nitrogênio, concluíram que o capim-Guiné apresentou mais lenta emissão de folhas e menor número de folhas em crescimento simultâneo em cada colmo. Para o capim-Setária, a emissão de folhas foi mais intensa com maior número de folhas crescendo simultaneamente em cada colmo, porém sendo a duração do crescimento e as taxa de expansão foliar menores, resultando em folhas menores em relação ao capim-Guiné. Manarin (2000) também observou efeitos significativos do fornecimento de nitrogênio na área foliar dos componentes avaliados na parte aérea do capim-Mombaça.

Pereira (2001), em estudo com capim-Mombaça avaliando os efeitos do fornecimento do potássio para a área foliar, verificou que houve incrementos significativos com a adição das doses de potássio na solução nutritiva, nos dois períodos de crescimento da planta forrageira. Constatou também que os resultados ajustaram-se a modelo linear, tanto no primeiro como no segundo corte e que esses valores demonstraram que as medidas da área foliar poderiam ser mais elevadas, caso as doses excedessem às empregadas. Na dose mais elevada ( $468 \text{ mg L}^{-1}$ ) foram encontrados valores para área foliar de  $3.072$  e  $4.082 \text{ cm}^2/\text{vaso}$  para o primeiro e segundo corte, respectivamente.

Mattos (2001) observou que a área foliar da *Brachiaria decumbens* cultivada em solo retirado de área não recentemente adubada na ocasião do segundo corte, foi incrementada com o suprimento do nitrogênio e que esse efeito foi representado por modelo linear. Na dose mais elevada de nitrogênio ( $200 \text{ mg dm}^{-3}$  de solo), constatou que a máxima área foliar obtida foi de  $1.124 \text{ cm}^2/\text{vaso}$ . Para o segundo corte da gramínea cultivada em solo retirado de área recentemente adubada não encontrou efeitos significativos do suprimento de nitrogênio na área foliar.

## 2.7 Estimativa do teor de clorofila através do valor SPAD

O medidor de clorofila SPAD-502 desenvolvido pela Minolta no Japão fornece leituras em unidades SPAD que correspondem ao teor do pigmento presente na folha. O instrumento tem sido usado para estimar a concentração de nitrogênio na folha, visto que a clorofila e o nitrogênio se correlacionam positivamente. Há, ainda, algumas vantagens no uso deste medidor, como por ser portátil e de fácil manuseio, possibilitar economia de tempo e dinheiro, já que não há necessidade de mandar as amostras ao laboratório, viabiliza o diagnóstico prévio de uma possível deficiência de nitrogênio podendo prevenir um estado de carência severa, além de ser uma técnica não destrutiva e que permite a amostragem tantas vezes quanto necessárias, sem a destruição do limbo foliar (Minolta Camera Co., 1989).

De acordo com Santos (1997) as informações de pesquisa correlacionando os resultados das leituras do clorofilômetro com a concentração de nutrientes e o rendimento de diversas culturas, ainda são escassas, com plantas forrageiras. Manarin (2000) ressaltou a escassez de trabalhos de pesquisa correlacionando os valores de leitura SPAD com resposta fisiológicas e produtivas para as espécies forrageiras tropicais, atentando para a necessidade de se realizarem estudos, disponibilizando maior número de informações a respeito dessas plantas.

Por outro lado diversos estudos foram realizados com a finalidade de avaliar o estado nutricional das culturas com uso do clorofilômetro, como é o caso do arroz (Turner & Jund, 1991; Mayol, 1996) e do milho (Piekielek & Fox, 1992; Feil et al., 1997; Scharf, 2001).

Santos (1997), utilizando o clorofilômetro SPAD-502, para determinação indireta de clorofila nas lâminas foliares do capim-braquiária, obteve alto coeficiente de correlação entre as leituras do aparelho e as doses de nitrogênio nos dois crescimentos da planta ( $r^2=0,90$  e  $r^2=0,99$  no primeiro e segundo crescimento, respectivamente). Constatou que a estimativa do teor de clorofila

pelas unidades SPAD no primeiro e segundo crescimento do capim variou entre 17,0 e 50,2 e 23,9 e 52,0 para a condição de omissão e a dose de nitrogênio para o máximo valor SPAD, que foram de 330 e 442 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente.

Colozza (1998) verificou que os valores SPAD nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Mombaça, no primeiro e segundo cortes das plantas, variaram significativamente com as doses de nitrogênio e que essas variações seguiram modelos quadráticos. Encontrou que com a aplicação de nitrogênio nas doses de 242 e 307 mg kg<sup>-1</sup> de solo seriam obtidos os máximos valores SPAD para ambos crescimentos correspondendo à leitura de 45,0 e 40,6 unidades, respectivamente.

Manarin (2000) observou efeito significativo do suprimento de nitrogênio nos valores SPAD obtidos em lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Mombaça, nos dois períodos de crescimento da forrageira. Verificou que o valor SPAD no primeiro crescimento variou entre 22,1 e 46,9 nas condições de omissão de nitrogênio na solução e a dose do nutriente que proporcionou máximo valor SPAD. Observou também que os valores SPAD para o nível crítico de concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas variaram entre 41 e 45 unidades.

## **2.8 Atividade da redutase do nitrato**

Os vegetais podem absorver nitrogênio na forma de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ou amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), assimilando-o na forma de amônia (NH<sub>3</sub>). As plantas podem absorver e acumular grandes quantidades de nitrato nos seus tecidos sem assimilá-lo e conseqüentemente não sendo incorporados na forma de aminoácidos e proteínas. Esse nitrato é acumulado nos vacúolos (reservatórios) enquanto que o citoplasma é o local indutor para a reação de redução. No citoplasma o nitrato é reduzido à amônia através da intervenção de duas enzimas, a redutase do nitrato e a redutase do nitrito. A concentração de nitrato no tecido vegetal pode compor em torno de 10 g kg<sup>-1</sup> da massa seca do vegetal,

porém na média, compõe cerca de 0 a 2 g kg<sup>-1</sup> da massa seca de tecido vegetal (Fernandes & Rossiello, 1995).

A enzima redutase do nitrato (RNO<sub>3</sub><sup>-</sup>) catalisa a redução do nitrato a nitrito. Essa enzima atua nas plantas, algas e fungos como um ponto central para a integração do metabolismo, governando o fluxo de redução do nitrogênio através de muitos mecanismos. Ela é definida como uma flavoproteína composta por um complexo heme-Fe e molibdênio (Campbell, 1999).

Embora as plantas possam reduzir o nitrato nas raízes e folhas, algumas têm a tendência reduzi-lo nas folhas, enquanto outras fazem preferencialmente nas raízes. Plantas de milho, algodão e soja, reduzem o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> principalmente nas folhas, enquanto que em plantas de fumo a redução pode acontecer tanto nas folhas, como nas raízes; sendo portanto características controladas geneticamente e que podem sofrer ação do ambiente (Fernandes & Rossiello, 1995).

A atividade enzimática da redutase do nitrato nas plantas torna-se uma importante ferramenta no auxílio da diagnose nutricional por ser indicadora do "status" de nitrogênio na planta, correlacionando-se com a produção de massa seca da planta e a concentração de nitrogênio no tecido foliar.

Trabalhando com o capim-Colonião e proporções de amônio e nitrato, Andrade (1994) constatou que a atividade "in vitro" da redutase do nitrato aumentou significativamente quando foram fornecidas ambas as fontes de nitrogênio, indicando certa ação estimuladora do íon amônio na atividade da enzima.

Abreu (1994), estudando os capins Tanzânia-1, Marandu e gordura (*Melinis minutiflora*), constatou que a elevação das doses de nitrato na solução nutritiva resultou em aumentos significativos na atividade da enzima nas folhas dos capins e proporcionou diferenças significativas entre as três doses de nitrato empregadas.

Em estudo com os capins Colonião, Tanzânia-1 e Vencedor submetidos a doses de nitrogênio e magnésio, Corrêa (1996) verificou que a atividade da

enzima redutase do nitrato nas folhas das gramíneas aumentou com as doses de nitrogênio, independentemente da dose de magnésio utilizada na solução nutritiva.

Manarin (2000) encontrou efeitos marcantes do suprimento de nitrogênio na atividade enzimática da redutase do nitrato no primeiro e segundo crescimento do capim-Mombaça.

## **2.9 Comprimento total e superfície total de raízes**

O uso cada vez mais intenso de terras agrícolas, aliado ao desenvolvimento de tecnologias modernas de cultivo e às pressões econômicas para reduzir custos de produção, tem ocasionado mudança de mentalidade quanto às práticas de cultivo do solo. Assim, a correlação entre parâmetros físicos do solo em função dos sistemas de manejo e do desenvolvimento de raízes na litosfera adquire importância cada vez maior. Além dos aspectos fisiológicos, o sistema radicular das plantas cultivadas vem assumindo importante papel nos estudos de interações que ocorrem entre o solo, as plantas e outros organismos vivos. Com isso, destacam-se os aspectos físicos, químicos e biológicos inerentes ao solo, favoráveis à distribuição de raízes (Crestana et al., 1994).

O desenvolvimento do sistema radicular das plantas sofre grande influência das condições ambientais como também de fatores edáficos ou do substrato onde as raízes estão presentes, refletindo assim no desenvolvimento da parte aérea da planta. Nessa gama de influências, a disponibilidade de nutrientes exerce papel fundamental no estabelecimento e desenvolvimento do sistema radicular.

Mengel & Kirkby (1987) descreveram que as raízes desempenham as principais funções de promover a fixação do vegetal no solo ou substrato, da absorção e translocação de água e nutrientes e da síntese de fitormônios e outros compostos orgânicos. Neste contexto a água e nutrientes desempenham

importantes funções, pois a capacidade das plantas em explorar o solo depende muito da morfologia das raízes. O termo morfologia das raízes envolve a profundidade das raízes, ramificações das raízes, número de radículas e pelos absorventes e as extremidades das raízes, os quais também são controlados geneticamente, ou seja são características governadas pelo genótipo da espécie e pelos fatores ambientais (Mengel & Kirkby, 1987).

Segundo Fitter (1996) as propriedades da arquitetura das raízes podem ser divididas em propriedades geométricas, como comprimento, peso e ângulos e em propriedades topológicas, que são descritas como número e distribuição espacial das ligações entre raízes, sendo que a ligação de raízes é definida como o segmento radicular entre duas ramificações consecutivas.

De acordo com Voorhees et al. (1980) o conhecimento das respostas dos vegetais ao seu ambiente tem sido restringido a estudos somente da parte aérea das plantas, devido às dificuldades existentes para investigações do sistema radicular. Destacaram que a massa seca de raízes é um atributo fácil de ser obtido, em relação a resultados de comprimento do sistema radicular e que somente a massa seca dessas raízes não expressa a extensão que um dado volume de solo é explorado pelo sistema radicular e conseqüentemente não pode avaliar tão bem os processos de absorção de água e nutrientes. Neste sentido, o comprimento das raízes pode ser um parâmetro significativo para o estudo de crescimento da planta, contribuindo imensamente para gerar informações relacionadas à fisiologia e ao estado nutricional do vegetal.

Mengel & Kirkby (1987) relataram que somente o peso seco do sistema radicular não contribui essencialmente para a avaliação do crescimento e da nutrição da planta, exemplificando que as raízes velhas e espessas contribuem muito para o peso, mas pouco participam na absorção de água e de nutrientes. Acrescentaram que a densidade das raízes é um dos mais importantes parâmetros, por apresentar uma considerável influência na extensão pela qual o solo vai sendo exaurido em nutrientes e água.

O diâmetro das raízes determina o comprimento radicular que a planta pode produzir. Em condições de baixo fornecimento de nutrientes as plantas produzem raízes muito finas, podendo ser demonstradas pela mensuração direta do diâmetro radicular, ou pela determinação do comprimento específico das raízes, o qual é definido como o comprimento das raízes por unidade de massa seca do sistema radicular (Fitter, 1996).

Segundo Marschner (1995) o suprimento de nutrientes pode afetar fortemente o crescimento, a morfologia e a distribuição do sistema radicular no substrato, sendo que este efeito é particularmente marcado pelo nitrogênio, mais distinto com o fósforo e geralmente ausente com outros nutrientes, exceto para o magnésio. O suprimento de nitrogênio promove o crescimento das folhas e raízes das plantas, mas comumente o crescimento da parte aérea é mais pronunciado que o crescimento das raízes, conduzindo a uma típica queda na relação de massa seca das raízes : parte aérea.

Vários estudos têm destacado que o fornecimento de nitrogênio promove efeitos significativos no comprimento, no número de raízes e na frequência de ramificação do sistema radicular.

Maizlish et al. (1980), em estudo com plantas de milho cultivadas em solução nutritiva, determinaram o efeito do fornecimento de doses de nitrogênio (0; 21; 42; 105 e 210 mg L<sup>-1</sup>) na solução nutritiva para o comprimento das raízes. Concluíram que após três dias da emergência, as diferenças entre os comprimentos totais foram pequenas, porém significativas estatisticamente. Aos 10 dias após a emergência das plantas, o comprimento total das raízes na dose de 21 e 210 mg L<sup>-1</sup> aumentou em 80 e 200%, respectivamente, e que aos 17 dias após a emergência a diferença entre as plantas que receberam a mais baixa dose para as que receberam a mais alta dose foi 127 m de raízes.

Ferrari Neto et al. (1994) realizaram um experimento com a finalidade de avaliar as limitações nutricionais do capim-Colonião e do capim-braquiária, cultivados em um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico e observaram que, na omissão de nitrogênio e potássio, a produção de massa seca da parte aérea foi

afetada significativamente nos dois crescimentos das plantas, bem como a produção de massa seca de raízes. Observaram que no capim-Colônia o efeito foi mais drástico por não haver rebrota e que para o crescimento das raízes o potássio mostrou-se mais limitante, salientando-se que na condição de omissão do potássio as raízes eram muito finas e frágeis, rompendo facilmente durante a retirada dos vasos e nas sucessivas lavagens. Concluíram que o pequeno crescimento das raízes, ocorrido no tratamento menos potássio, foi devido ao fato de o potássio trocável do solo ser absorvido e translocado para a parte aérea em intenso crescimento, porém em quantidade insuficiente para exercer a função de translocador de fotoassimilados da parte aérea até o sistema radicular.

Santos Junior et al. (2001), em estudo com os capins *Panicum maximum* cv. Tanzânia-1, *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk e *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivados em Latossolo Vermelho-Escuro, submetidos a doses de nitrogênio (25; 150 e 300 kg ha<sup>-1</sup>) e fósforo (testemunha; 25 e 50 kg ha<sup>-1</sup>), verificaram que a *Brachiaria decumbens* apresentou menor produção de massa seca de raízes e comprimento total de raízes, porém foi eficiente na absorção de nitrogênio e fósforo. Por outro lado constataram que o capim-Tanzânia-1 apresentou menor eficiência de absorção, porém maior eficiência de uso dos dois nutrientes, e que o capim-Marandu foi o mais eficiente na absorção de nitrogênio e fósforo. Verificaram que o comprimento específico e o peso das raízes do capim-Tanzânia-1 foram significativamente maiores que os do capim-Marandu e do capim-braquiária, respectivamente. Atribuíram a menor eficiência de absorção de nitrogênio e fósforo do *Panicum maximum* ao fato desse capim possuir raízes mais espessas em relação às braquiárias.



### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Local, período e espécie forrageira**

O experimento foi realizado em casa-de-vegetação localizada no Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, da 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.

#### **3.2 Instalação e condução do experimento**

As sementes da gramínea forrageira foram semeadas no início de novembro 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.

Aos 19 dias após o transplante e ao terceiro dia após o primeiro corte das plantas, iniciaram-se as contagens de folhas e perfilhos, as quais eram repetidas a cada dois dias. Cada perfilho foi marcado com um anel preparado a partir de fios com capas coloridas e as folhas que apresentavam lígula visível eram marcadas com tinta de caneta.

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.

### **3.3 Doses de nitrogênio e potássio, soluções nutritivas e delineamento experimental**

Foram utilizadas cinco doses de nitrogênio de 28; 112; 210; 336 e 462 mg L<sup>-1</sup> e cinco doses de potássio de 19,5; 117; 234; 332 e 429 mg L<sup>-1</sup> na solução nutritiva. As soluções foram preparadas a partir da solução de Sarruge (1975), devidamente modificada para atender as doses de nitrogênio e potássio. As

soluções nutritivas foram preparadas como demonstrado na Tabela 1, mantendo-se uma relação constante nitrato : amônio de 1,8 (64,4%  $\text{NO}_3^-$  e 35,6%  $\text{NH}_4^+$ ).

Tabela 1. Volumes das soluções estoque empregados no preparo das soluções nutritivas para as doses de nitrogênio e potássio estudadas.

Soluções estoques	Combinações de doses de nitrogênio e potássio ( $\text{mg L}^{-1}$ )												
	28N 19,5K	28N 234K	28N 462K	112N 117K	112N 312K	210N 19,5K	210N 234K	210N 429K	336N 117K	336N 312K	462N 19,5K	462N 234K	462N 429K
$\text{NH}_4\text{NO}_3$ $1\text{mol L}^{-1}$	0,22	0,72	0,72	2,86	2,86	4,84	5,34	5,34	8,54	8,54	11,25	11,75	11,75
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ $1\text{mol L}^{-1}$	0,54	0,29	0,29	1,14	1,14	2,41	2,16	2,16	3,46	3,46	5	4,75	4,75
$\text{KH}_2\text{PO}_4$ $1\text{mol L}^{-1}$	0,5	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1	0,5	1	1
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ $0,5\text{mol L}^{-1}$	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-
$\text{CaCl}_2$ $1\text{mol L}^{-1}$	4,46	4,71	4,71	3,86	3,86	2,60	2,84	2,84	1,54	1,54	-	0,25	0,25
$\text{KCl}$ $1\text{mol L}^{-1}$	-	5	10	2	7	-	5	10	2	7	-	5	10
$\text{MgSO}_4$ $1\text{mol L}^{-1}$	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Micro-Fe*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Fe-EDTA**	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

\* A solução de micronutrientes teve a seguinte composição ( $\text{g L}^{-1}$ ):  $\text{H}_3\text{BO}_3 = 2,86$ ;  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} = 1,81$ ;  $\text{ZnCl}_2 = 0,10$ ;  $\text{CuCl}_2 = 0,04$  e  $\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} = 0,02$ .

\*\* Dissolveram-se 26,1g de EDTA dissódico em 286 mL de  $\text{NaOH } 1\text{mol L}^{-1}$ , misturando-se com 24,0 g de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , arejando-se por uma noite e completando-se a 1 L de água deionizada.

Foi empregado o desenho experimental composto central modificado de um esquema fatorial  $5^2$  incompleto (Littell & Mott, 1975) com cinco doses de nitrogênio e cinco doses 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.

### **3.4 Produção de massa seca**

A produção de massa seca foi determinada para a parte aérea através da soma da massa seca dos seus componentes (folhas emergentes, lâminas das duas folhas recém-expandidas, lâminas das folhas maduras e colmos mais bainhas) em ambos os cortes da planta forrageira e para as raízes imediatamente após o segundo corte.

### **3.5 Determinação da área foliar**

A área foliar foi determinada utilizando-se integrador de área foliar na ocasião dos dois cortes das plantas. As folhas emergentes, as lâminas das duas folhas recém-expandidas e as lâminas das folhas maduras foram mensuradas separadamente e em seguida esses valores foram somados, obtendo-se a área foliar total de cada vaso.

### **3.6 Determinação da superfície total e comprimento total do sistema radicular do capim-Mombaça**

Na ocasião do segundo corte da planta forrageira, após separação das raízes da sílica e lavagem das mesmas, foi retirada uma sub-amostra do sistema radicular, cortando-se vertical e horizontalmente um volume de raízes com cerca de 20% de massa fresca total, de acordo com Rossiello et al. (1995). Em seguida essas sub-amostras foram colocadas em copos plásticos contendo água

deionizada e corante para que as partes mais novas e claras fossem tingidas. Em seguida foram escaneadas obtendo-se assim as imagens necessárias para a utilização do aplicativo SIARCS (Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo) versão 3,0. Posteriormente determinou-se o peso seco destas sub-amostras fazendo-se então a correção do comprimento específico e superfície específica do sistema radicular de cada parcela experimental em função da produção total de massa seca das raízes através de uma simples regra de três, de acordo com a metodologia elaborada por Crestana et al. (1994).

### **3.7 Composição mineral**

As determinações de nitrogênio e potássio, cálcio, magnésio e enxofre do tecido vegetal, em cada componente da parte aérea e nas raízes, foram efetuadas conforme metodologia proposta por Sarruge & Haag (1974). Para a determinação do nitrogênio a digestão foi a sulfúrica e o método analítico foi o micro-Kjeldahl. Para o potássio, cálcio, magnésio e enxofre a digestão empregada foi a nítrico-perclórica enquanto o método analítico foi o de espectrofotometria de absorção atômica, com exceção do potássio e enxofre, determinados pelo método analítico de fotometria de chama e turbidimetria do cloreto de bário, respectivamente.

### **3.8 Atividade da redutase do nitrato**

A atividade da redutase do nitrato foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Mulder et al. (1959). Aos 32 e 16 dias do primeiro e segundo crescimento da planta forrageira, respectivamente, foram coletadas amostras do terço médio da lâmina foliar das duas folhas recém-expandidas. Antes da coleta das folhas as plantas foram colocadas em câmara-de-crescimento e deixadas expostas à luz por duas horas, com temperatura constante em torno de 27 °C, evitando assim interferências externas na atividade da enzima e homogeneizando todas as parcelas experimentais.

A incubação durou duas horas com 200 mg de material verde cortado, ocorreu em meio de  $\text{KNO}_3$  (4 mL) em tampão fosfato. Após a incubação, 1 mL do

meio de incubação foi retirado e o  $\text{NO}_2^-$  presente foi determinado por adição de 1 mL de ácido sulfanílico e HCl a 20% para paralisar a reação, seguido da adição de 1 mL de alfa-naftilamina para desenvolver a cor ao reagir com o  $\text{NO}_2^-$ . A leitura foi realizada em colorímetro a 560 nm, utilizando-se a reta padrão de nitrito para cálculo da concentração de  $\text{NO}_2^-$  no meio.

### **3.9 Estimativa do teor de clorofila através do valor SPAD**

Foi utilizado o Chlorophyll Meter SPAD-502, (Soil-Plant Analysis Development Section, Minolta Camera Co., Osaka, Japan) para a determinação indireta da concentração de clorofila em valor SPAD em folhas intactas. As leituras do clorofilômetro foram realizadas um dia antes do corte, aos 35 e 28 dias do primeiro e segundo crescimento da planta forrageira, no terço médio das lâminas das duas folhas recém-expandidas, tomando-se o cuidado de evitar as nervuras, de acordo com as avaliações de Santos (1997), o qual verificou que a parte mediana das folhas apresentava melhor estabilidade dos valores quando comparados com a porção basal da folha (que apresentava valores subestimados). Computou-se a média de dez leituras executadas por vaso, nas respectivas combinações de nitrogênio e potássio.

### **3.10 Análises estatísticas**

Os resultados foram submetidos às análises estatísticas utilizando-se o programa estatístico SAS - System for Windows 6,11 (SAS Inst. Inc., 1996). Tratou-se de realizar a análise de variância, e 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. A análise de regressão foi realizada para a quantidade de massa seca, concentrações dos macronutrientes no tecido vegetal, área foliar total, medição indireta da quantidade de clorofila em unidades de valor SPAD nas LR, comprimento total e superfície total das raízes, atividade enzimática da redutase do nitrato e para o número total de folhas verdes expandidas e perfilhos.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Produção de massa seca da planta forrageira**

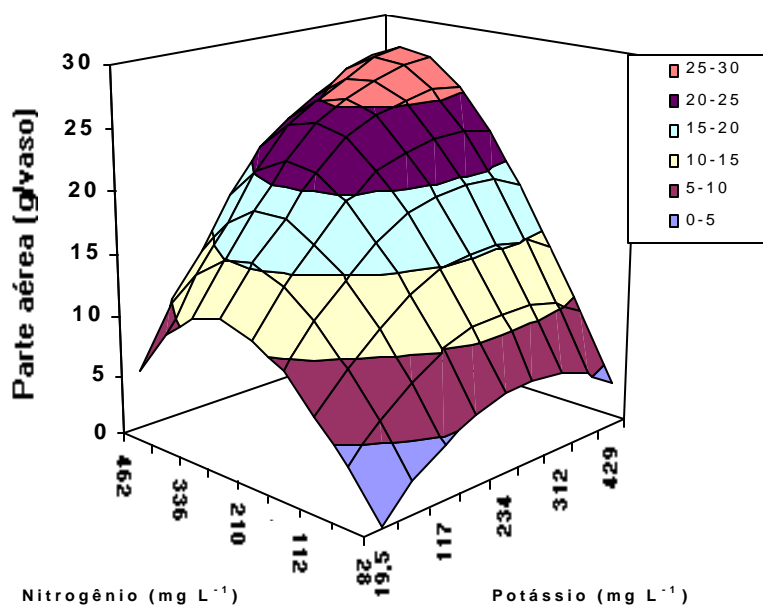
A análise de variância da produção de massa seca tanto da parte aérea, no primeiro e segundo crescimentos, como das raízes, revelou significância ( $P < 0,01$ ) para a interação entre as doses de nitrogênio e de potássio fornecidas na solução nutritiva.

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 apresentada o valor máximo de produção de massa seca ocorreu com a dose de nitrogênio de  $386 \text{ mg L}^{-1}$  e de potássio de  $434 \text{ mg L}^{-1}$ , numa proporção de 1 : 1,124.

Das mais baixas doses de nitrogênio e de potássio ( $28 \text{ mg L}^{-1}$  e  $19,5 \text{ mg L}^{-1}$ ) para as mais altas doses de nitrogênio e de potássio ( $462 \text{ mg L}^{-1}$  e  $429 \text{ mg L}^{-1}$ ) 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  $434 \text{ mg L}^{-1}$  e em presença da dose de potássio de  $234 \text{ mg L}^{-1}$ , numa relação entre as concentrações de nitrogênio e potássio na solução nutritiva de 1,85 : 1.

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  $\text{mg L}^{-1}$ .

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  $\text{mg L}^{-1}$ .



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

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.

Pode-se notar na Figura 1 que nas mais baixas doses de nitrogênio e de potássio e comparadas com as doses de 462  $\text{mg L}^{-1}$  com 19,5  $\text{mg L}^{-1}$  de



nitrogênio e potássio, respectivamente, 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.

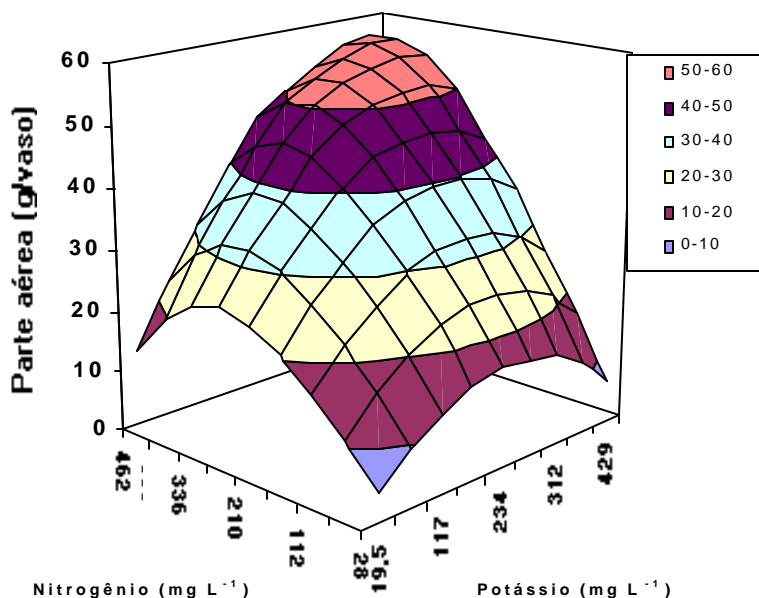
Para a produção de massa seca da parte aérea do capim-Mombaça no segundo corte, houve significância ( $P < 0,01$ ) para a interação entre nitrogênio e potássio, ajustando-se ao modelo polinomial (Figura 2). A máxima produção da parte aérea no segundo crescimento da gramínea ocorreu quando o nitrogênio e o potássio foram fornecidos, respectivamente, nas doses de 412 e 410 mg L<sup>-1</sup>, 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 : 1.

Observando 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<sup>-1</sup> a produção de massa seca foi 76,3% menor em relação à produção obtida nas mais altas doses de nitrogênio e de potássio, de 300 e 304 kg ha<sup>-1</sup>, 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<sup>-1</sup> e por Pereira (2001) com potássio em 460 mg L<sup>-1</sup> na solução nutritiva para essa forrageira.



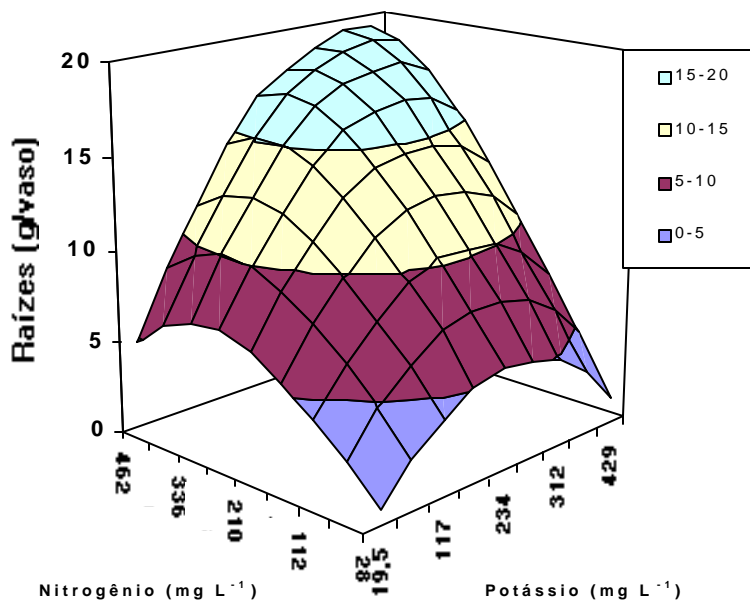
$$Y = -2,01819 + 0,17495N + 0,11254K - 0,000329N^2 + 0,000235NK - 0,000255K^2 \quad (R^2 = 0,93)$$

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 ( $P < 0,01$ ) na produção de massa seca das raízes (Figura 3). Através da equação de regressão tem-se que a máxima produção seria obtida com o suprimento de nitrogênio de 467 mg L<sup>-1</sup> e para o potássio na dose de 396 mg L<sup>-1</sup>. Essas doses estão próximas às doses encontradas por Manarin (2000) com nitrogênio de 484 mg L<sup>-1</sup> e por Pereira (2001) com potássio de 357 mg L<sup>-1</sup> de solução. Verificou-se que nas doses de nitrogênio de 28 a 210 mg L<sup>-1</sup> combinadas com a dose de potássio de 19,5 mg L<sup>-1</sup>, a produção de massa seca variou em sete vezes atingindo um patamar até a dose de 336 mg L<sup>-1</sup> e caindo então a partir daí até a dose mais elevada de nitrogênio empregada no estudo.

Constatou-se também que na mais baixa combinação 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  $605 \text{ mg L}^{-1}$ ; 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).



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

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.

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

#### 4.2 Número de perfilhos e de folhas

Na análise de variância para o número total de perfilhos e de folhas verdes expandidas por vaso por ocasião do primeiro corte, verificou-se que não houve significância ( $P > 0,05$ ) para a interação entre doses de nitrogênio e de potássio, enquanto que no segundo crescimento das plantas, observou-se significância ( $P < 0,01$ ) nessa interação.

No estudo dos efeitos do suprimento de nitrogênio e potássio no perfilhamento do capim no período do primeiro crescimento, foi observado que houve significância para as doses de nitrogênio ( $P < 0,01$ ) e para as doses de potássio ( $P < 0,05$ ). O perfilhamento foi representado por uma equação de segundo grau (Figura 4), em relação às doses de nitrogênio, e através dessa equação verificou-se que a dose de nitrogênio necessária para o máximo perfilhamento foi de 296 mg L<sup>-1</sup>.

Ferragine (1998) constatou que para o número total de perfilhos no primeiro corte da *Brachiaria decumbens* ocorreu significância ( $P < 0,01$ ) para a interação entre nitrogênio e potássio. Verificou também que em função das doses de nitrogênio dentro de cada dose de potássio, no primeiro crescimento, o número de perfilhos variou com as doses de nitrogênio, obtendo valor máximo e iguais nas doses de 238, 336 e 434 mg L<sup>-1</sup> dentro da dose de potássio de 78 mg L<sup>-1</sup>. Na dose de potássio de 390 mg L<sup>-1</sup> o número de perfilhos foi semelhante entre as doses de nitrogênio de 42 e 140 mg L<sup>-1</sup>, não sendo incrementado à medida que elevaram-se as doses de 238 a 336 mg L<sup>-1</sup>.

Estudando os efeitos do suprimento de nitrogênio e magnésio em solução, para os capins Colonião, Tanzânia-1 e Vencedor, Corrêa (1996)

concluiu que o número de perfilhos foi influenciado pelas doses de nitrogênio, não sofrendo efeito significativo das doses de magnésio. Tanto no primeiro como no segundo período de crescimento das plantas, o número de perfilhos aumentou da dose de nitrogênio de 42 para a de 210 mg L<sup>-1</sup>, mas não variou entre as doses de 210 e 378 mg L<sup>-1</sup>.

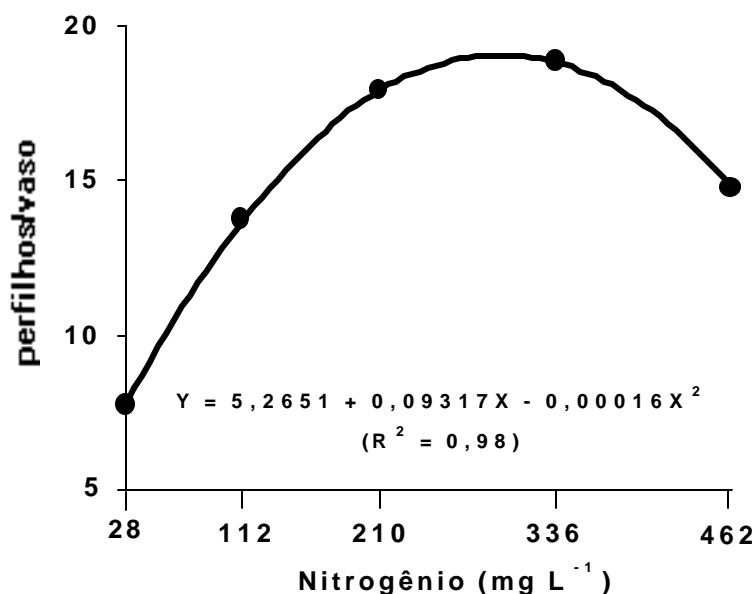


Figura 4 - Número de perfilhos por vaso do capim-Mombaça, no primeiro corte, em função das doses de nitrogênio na solução nutritiva.

O efeito das doses de potássio no perfilhamento da gramínea, no primeiro crescimento, é apresentado na Figura 5 e pode-se verificar através da equação de regressão de segundo grau que o maior número de perfilhos foi obtido com o emprego do potássio na dose de 291mg L<sup>-1</sup>.

Pereira (2001) evidenciou o efeito significativo ( $P < 0,05$ ) do potássio na solução nutritiva no perfilhamento do capim-Mombaça, em dois períodos de crescimento das plantas. Para o primeiro corte as doses de potássio de 312 e 468 mg L<sup>-1</sup> proporcionaram maior número de perfilhos, enquanto que na ocasião do segundo corte a dose de potássio de 468 mg L<sup>-1</sup> proporcionou

significativamente maior número de perfilhos em relação às demais doses avaliadas.

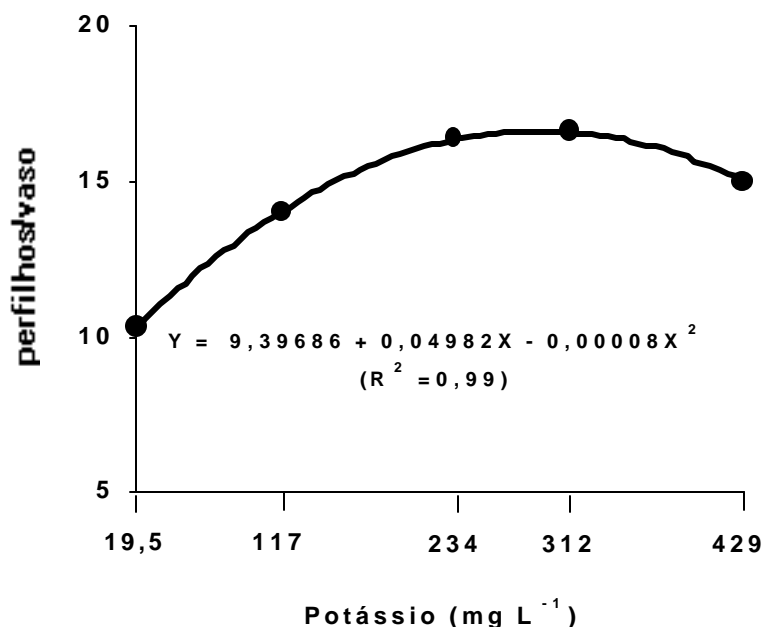
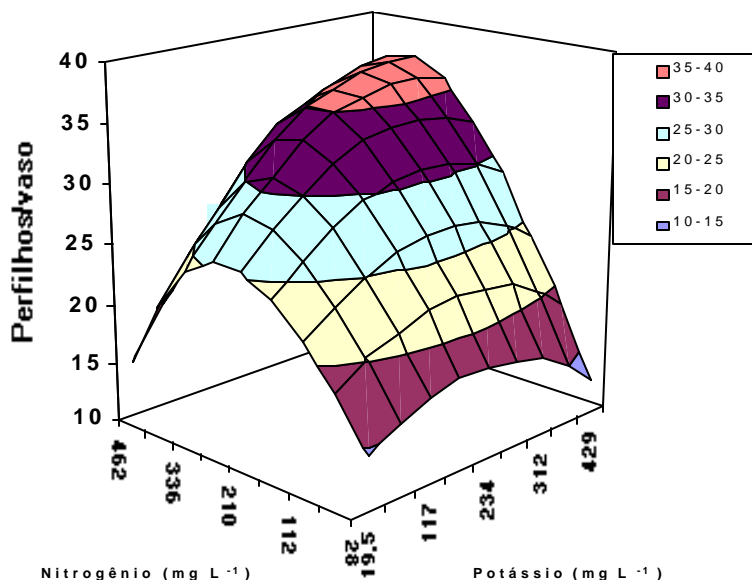


Figura 5 - Número de perfilhos por vaso do capim-Mombaça, no primeiro corte, em função das doses de potássio na solução nutritiva.

No segundo período de crescimento das plantas (Figura 6) o número de perfilhos foi superior ao encontrado no primeiro. Isto provavelmente ocorreu pelo fato de no crescimento inicial a planta concentrar grande parte da energia para o seu estabelecimento com a formação do sistema radicular e da parte aérea, enquanto que no segundo período de crescimento, a planta já estabelecida e com maior volume radicular tem a capacidade de absorver maior quantidade de nutrientes, como também pelo fato de ter sofrido a ação do corte que acaba promovendo a indução das gemas basais, originando os perfilhos. De acordo com a equação polinomial de regressão pode-se constatar que o perfilhamento máximo foi alcançado com o suprimento de nitrogênio e potássio nas doses de 342 e 396 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente.



$$Y = 10,7386 + 0,11311N + 0,036144K - 0,000234N^2 + 0,000120NK - 0,000097482K^2 \quad (R^2 = 0,78)$$

Figura 6 - Número de perfilhos por vaso do capim-Mombaça, no segundo corte, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva.

Através da Figura 6 novamente evidencia-se a importância do suprimento de potássio às plantas forrageiras, em situações em que o fornecimento de nitrogênio é elevado. Pode-se verificar que o número de perfilhos nas doses mais baixas de nitrogênio e de potássio não difere do número de perfilhos na dose mais elevada de nitrogênio combinada com a mais baixa dose de potássio. Detalhando a variação no número de perfilhos em função das doses de nitrogênio associadas à mais baixa dose de potássio foi constatado que o perfilhamento sofreu incremento mais acentuado quando comparado com o número de perfilhos obtido com o aumento das doses de potássio associadas à mais baixa dose de nitrogênio. A região da superfície de resposta onde a combinação do nitrogênio com o potássio correspondeu ao maior perfilhamento das plantas é verificada a partir da dose de nitrogênio de

336 mg L<sup>-1</sup> e de potássio de 234 mg L<sup>-1</sup>, sendo esta última correspondente a concentração de potássio na solução de Sarruge (1975).

Quanto à produção total de folhas verdes expandidas na ocasião do primeiro corte, não foi significativa ( $P > 0,05$ ) a interação entre as doses de nitrogênio e potássio na solução nutritiva. Através da análise de variância foi observado que a produção de folhas variou significativamente ( $P < 0,01$ ) tanto com as doses de nitrogênio (Figura 7) como as de potássio (Figura 8) na solução.

A equação de regressão da produção total de folhas em função do fornecimento de nitrogênio na solução apresentou ajuste a modelo quadrático a partir da qual constatou-se que a máxima produção de folhas no primeiro crescimento foi obtida na dose de 324 mg L<sup>-1</sup> de solução.

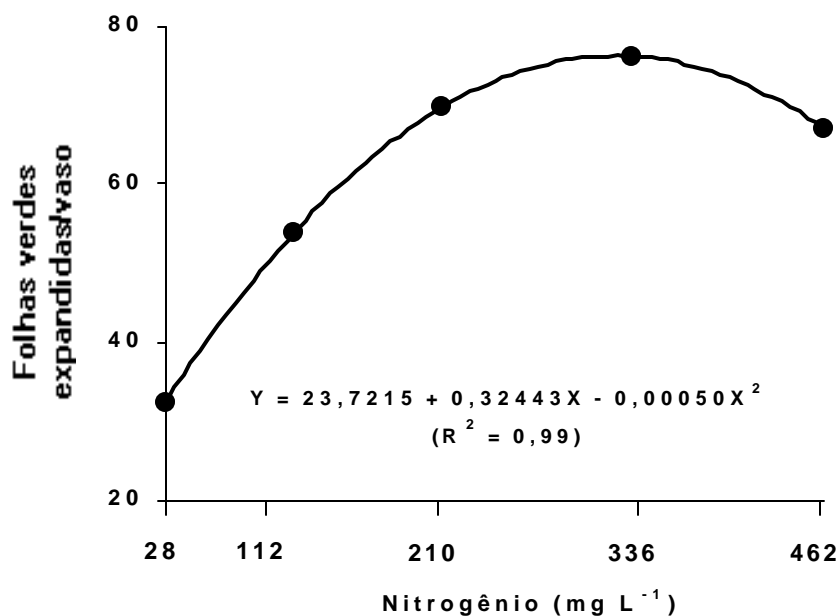


Figura 7 - Número total de folhas verdes expandidas por vaso do capim-Mombaça, no primeiro corte, em função das doses de nitrogênio na solução nutritiva.

Quanto ao efeito do potássio na produção total de folhas verdes expandidas do capim-Mombaça foi observado ajuste ao modelo linear de



regressão. Assim, evidencia-se que a concentração de 234 mg L<sup>-1</sup> na solução nutritiva completa de Sarruge (1975) não é suficiente para atender às exigências do capim, para o seu máximo potencial de produção de folhas.

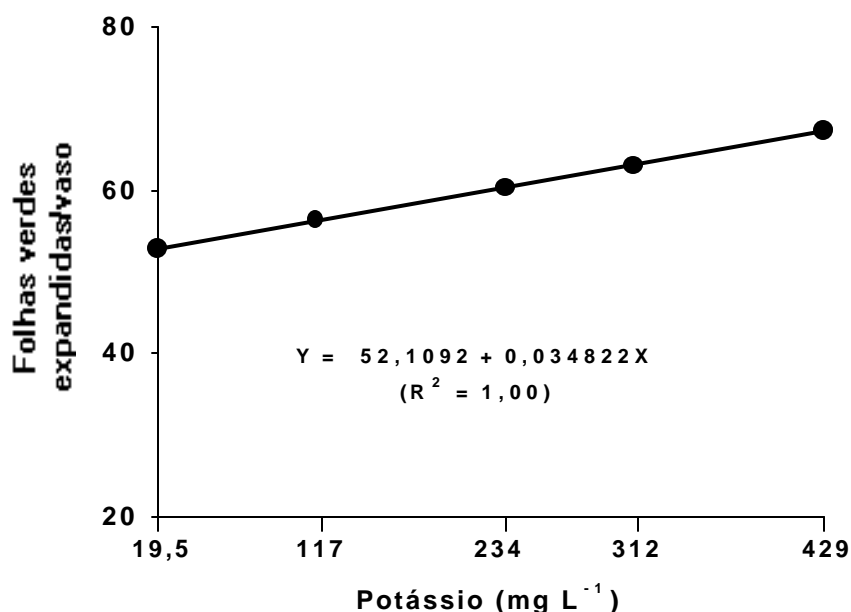
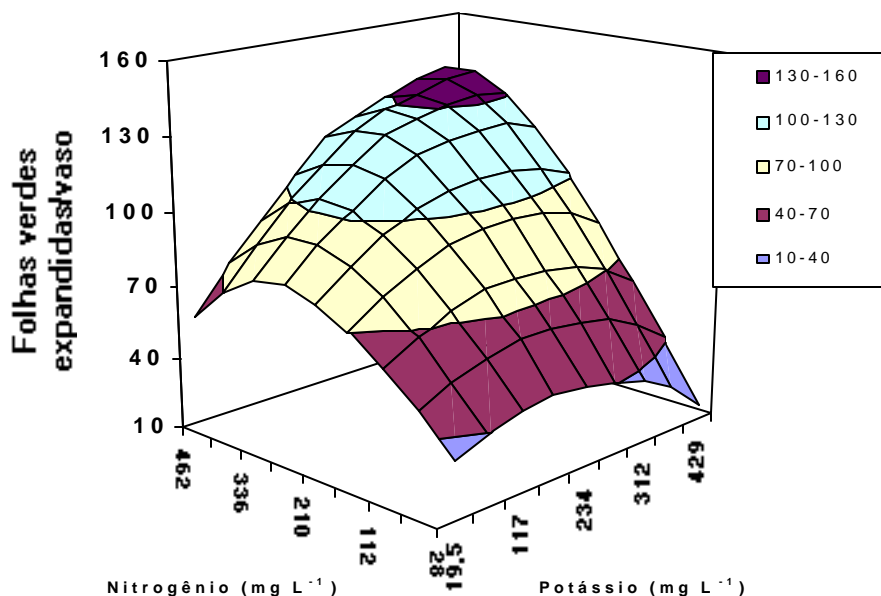


Figura 8 - Número total de folhas verdes expandidas por vaso do capim-Mombaça, no primeiro corte, em função das doses de potássio na solução nutritiva.

Na avaliação da produção de folhas da gramínea, por ocasião do segundo período de crescimento (Figura 9), pode-se constatar que a interação entre as doses de nitrogênio e potássio na solução foi significativa ( $P < 0,01$ ). De acordo com a equação polinomial de regressão verifica-se que a produção máxima corresponderia às doses de nitrogênio e de potássio de 440 mg L<sup>-1</sup> e 443 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente, o que resulta numa proporção dessas concentrações na solução nutritiva de praticamente 1 : 1. Analisando-se ainda, a representação gráfica da produção total de folhas verdes expandidas por vaso do capim-Mombaça, por ocasião do segundo corte das plantas, nota-se que a

área para a máxima produção corresponde aos pontos a partir das doses de nitrogênio de 336 mg L<sup>-1</sup> e de potássio de 312 mg L<sup>-1</sup>.



$$Y = 20,5337 + 0,3994N + 0,1354K - 0,000733N^2 + 0,000554NK - 0,000427K^2 \quad (R^2 = 0,84)$$

Figura 9 - Número total de folhas verdes expandidas por vaso do capim-Mombaça, no segundo corte, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva.

Schiavuzzo et al. (1999), avaliando o efeito do suprimento de nitrogênio na *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, constataram que a produção de folhas verdes expandidas, na ocasião do corte (41 dias após o transplante) foi influenciada pelo fornecimento de nitrogênio na solução, apresentando significância ( $P < 0,05$ ) para o componente quadrático da regressão.

De acordo com Langer (1963) o surgimento e desenvolvimento de perfilhos estão associados à atividade meristemática. O perfilho é a unidade estrutural e produtiva das plantas forrageiras que, em função de seu peso e do número de folhas lançadas, relaciona-se com a produção de massa seca. Isto

pode ser verificado também com o comportamento dessas variáveis no presente experimento (Figuras 1 a 9).

A importância do efeito do suprimento de nitrogênio e potássio para o perfilhamento de espécies forrageiras tem sido destacada por diversos autores como Werner (1986), Abreu (1994), Corrêa (1996), Santos (1997), Ferragine (1998), Benetti & Monteiro (1999), Manarin (2000), Pereira (2001) e Mattos (2001).

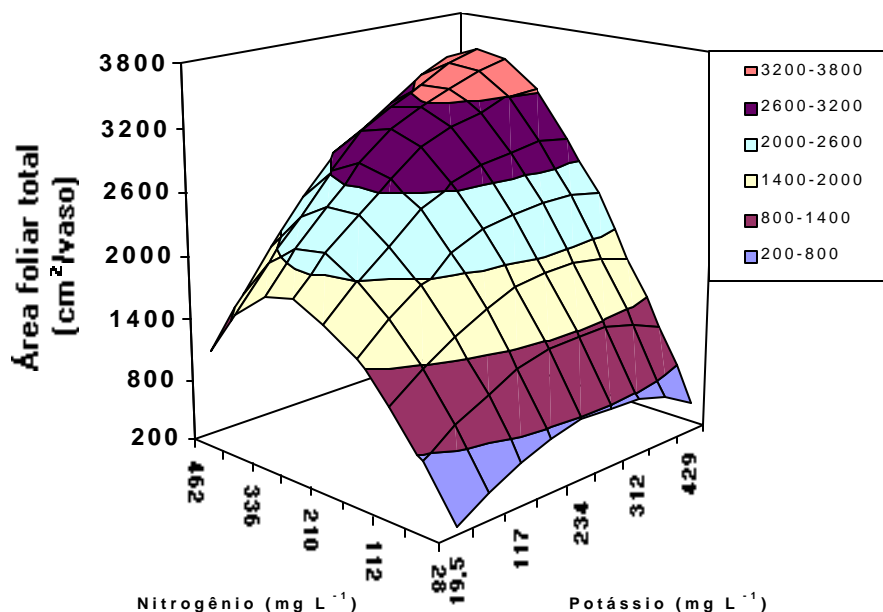
### 4.3 Área foliar

A interação entre nitrogênio e potássio foi significativa ( $P < 0,01$ ) para a área foliar total das plantas, no primeiro e segundo crescimentos do capim-Mombaça.

Na ocasião do primeiro corte, a área foliar total do capim-Mombaça variou segundo um modelo polinomial de segundo grau (Figura 10) com o suprimento de nitrogênio e potássio na solução, sendo que nas concentrações mais baixas de nitrogênio e potássio a área foliar total foi aproximadamente 12 vezes menor que nas doses de nitrogênio e potássio de 336 e 429 mg L<sup>-1</sup>. Na combinação das doses mais elevadas de nitrogênio e de potássio, a área foliar total do capim foi 97,81% da área foliar total obtida com o emprego das doses de nitrogênio e de potássio de 336 e 429 mg L<sup>-1</sup>.

Manarin (2000) constatou que a área foliar foi significativamente ( $P < 0,01$ ) influenciada pelas doses de nitrogênio na solução nutritiva, nos dois períodos de crescimento do *Panicum maximum* cv. Mombaça. Na ocasião do primeiro e segundo cortes das plantas, através da equação de regressão, foram obtidas as doses de nitrogênio de 412 e 485 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente, para a máxima área foliar das lâminas de folhas recém-expandidas.

Através da equação polinomial de regressão foi verificado que a máxima área foliar total seria obtida com nitrogênio na solução nutritiva em torno de 405 mg L<sup>-1</sup> e potássio de 502 mg L<sup>-1</sup>.



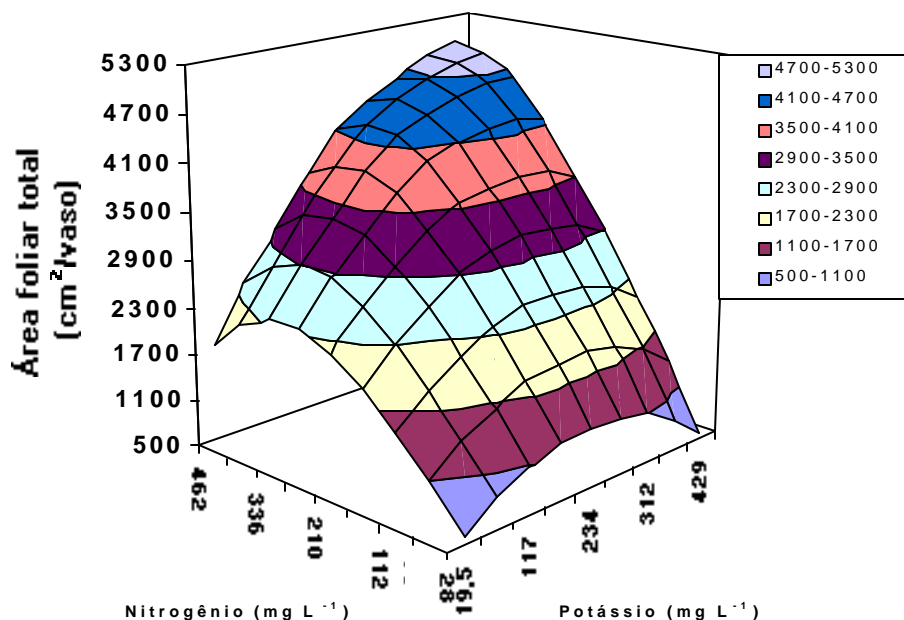
$$Y = -135,2078 + 13,084N + 4,1854K - 0,02369N^2 + 0,0122NK - 0,0091K^2 \quad (R^2 = 0,88)$$

Figura 10 - Área foliar total do capim-Mombaça no primeiro corte, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva.

Ainda na Figura 10, através da equação de regressão verifica-se que nas concentrações de nitrogênio de 210 mg L<sup>-1</sup> e de potássio de 234 mg L<sup>-1</sup>, as quais correspondem às propostas por Sarruge (1975), a área foliar obtida correspondeu a 78% da área foliar total obtida com as doses mais elevadas de nitrogênio e potássio empregadas no estudo, destacando assim o potencial de resposta dessa gramínea forrageira a doses mais altas desses dois nutrientes do que aquelas utilizadas normalmente na solução nutritiva.

Na avaliação dos resultados de área foliar total do capim-Mombaça na ocasião do segundo corte, pode-se observar interação significativa ( $P < 0,01$ ) entre nitrogênio e potássio (Figura 11). Constatou-se que as doses de nitrogênio e potássio necessárias para a obtenção da máxima área foliar, no

material dessa colheita seriam de 477 mg L<sup>-1</sup> e 475 mg L<sup>-1</sup> de solução nutritiva, numa proporção da concentração de nitrogênio e potássio na solução de 1 : 1.



$$Y = 87,6979 + 14,00589N + 6,6543K - 0,02384N^2 + 0,01839NK - 0,016242K^2 \quad (R^2 = 0,93)$$

Figura 11 - Área foliar total do capim-Mombaça no segundo corte, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva.

De acordo com os resultados observados, evidencia-se novamente o potencial produtivo dessa gramínea em condições de suprimento elevado para tais nutrientes.

Observou-se que o valor absoluto de área foliar total produzida no segundo crescimento da planta forrageira foi superior ao primeiro. Comparando-se os dois períodos de crescimento das plantas, a máxima área foliar no segundo corte foi 68% daquela obtida no primeiro corte.

Pereira (2001), avaliando o efeito do suprimento de potássio na área foliar total do capim-Mombaça, verificou que os resultados ajustaram-se ao

modelo linear, tanto no primeiro como no segundo corte, ressaltando que esses valores poderiam ser mais elevados caso as doses empregadas excedessem às estudadas. Na dose mais elevada de potássio ( $468 \text{ mg L}^{-1}$ ) e para o primeiro corte do capim a área foliar atingiu valor semelhante ao encontrado no presente experimento.

Mattos (2001), estudando os efeitos das doses de nitrogênio e enxofre na *Brachiaria decumbens* cultivada em cilindros contendo terra de área recentemente adubada e área não recentemente adubada, verificou que foi significativa ( $P < 0,01$ ) a interação entre esses nutrientes para a área foliar no primeiro e terceiro crescimentos das plantas.

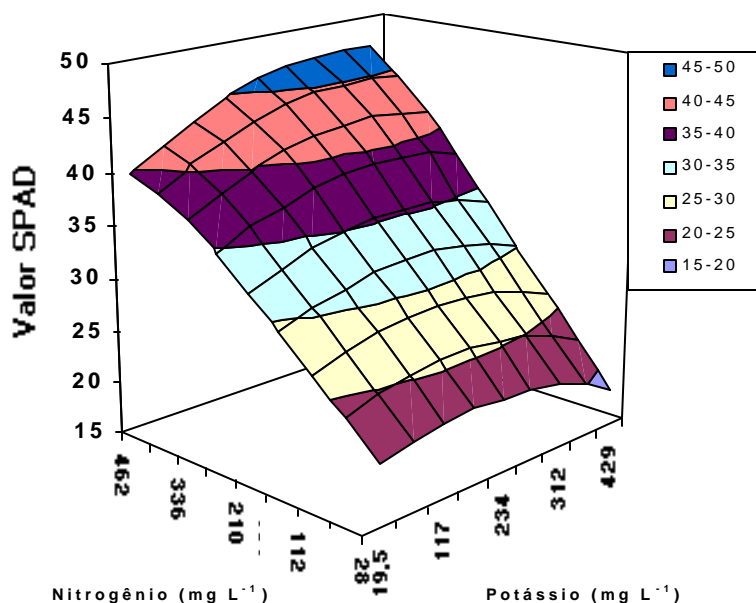
#### **4.4 Estimativa do teor de clorofila através do valor SPAD**

Para os resultados das leituras do teor de clorofila nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) obtidos através do Chlorophyll Meter SPAD-502, por ocasião do primeiro crescimento das plantas, ocorreu significância ( $P < 0,01$ ) para a interação entre as doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva (Figura 12). No segundo crescimento o teor de clorofila sofreu variação significativa ( $P < 0,01$ ) em função das doses de nitrogênio (Figura 13).

Os valores da estimativa do teor de clorofila na lâmina foliar do capim-Mombaça, no primeiro crescimento, ajustaram-se ao modelo polinomial de regressão. Através da análise da equação pode-se verificar que as concentrações de nitrogênio e potássio na solução nutritiva necessárias para a obtenção do máximo valor em unidades SPAD seriam de  $733 \text{ mg L}^{-1}$  e  $491 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente.

Constatou-se que na combinação das mais baixas doses de nitrogênio e de potássio, o valor foi 10,45% superior ao valor SPAD obtido quando o nitrogênio e potássio foram fornecidos nas doses de 28 e  $429 \text{ mg L}^{-1}$  respectivamente, caracterizando assim o desbalanço nutricional provocado, e seu efeito negativo para este atributo fisiológico. Nas doses de nitrogênio de

210 mg L<sup>-1</sup> e de potássio de 234 mg L<sup>-1</sup>, o valor médio correspondeu à 75,36% do valor SPAD obtido na combinação das mais altas doses de nitrogênio e de potássio empregadas no estudo.



$$Y = 18,2776 + 0,07696N + 0,02K - 0,00007015N^2 + 0,0000528NK - 0,0000598K^2 \quad (R^2 = 0,94)$$

Figura 12 - Teor de clorofila determinado em valor SPAD no primeiro corte do capim-Mombaça, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva.

No segundo período de crescimento da gramínea não foi encontrada significância ( $P > 0,05$ ) para a interação entre as doses de nitrogênio e de potássio no teor de clorofila, porém verificou-se efeito significativo ( $P < 0,01$ ) das doses de nitrogênio. Isto pode ser explicado pelo fato de as leituras do clorofilômetro expressarem indiretamente a quantidade de clorofila no tecido vegetal e, como o nitrogênio é componente da molécula de clorofila, a concentração deste nutriente no tecido correlaciona-se positivamente com os valores SPAD, como já comprovado em diversos estudos. Já para o primeiro

crescimento das plantas, essa interação foi significativa provavelmente pelo papel do potássio nas diversas reações bioquímicas responsáveis pela construção de todo o aparato enzimático e moléculas orgânicas, entre elas estando a clorofila.

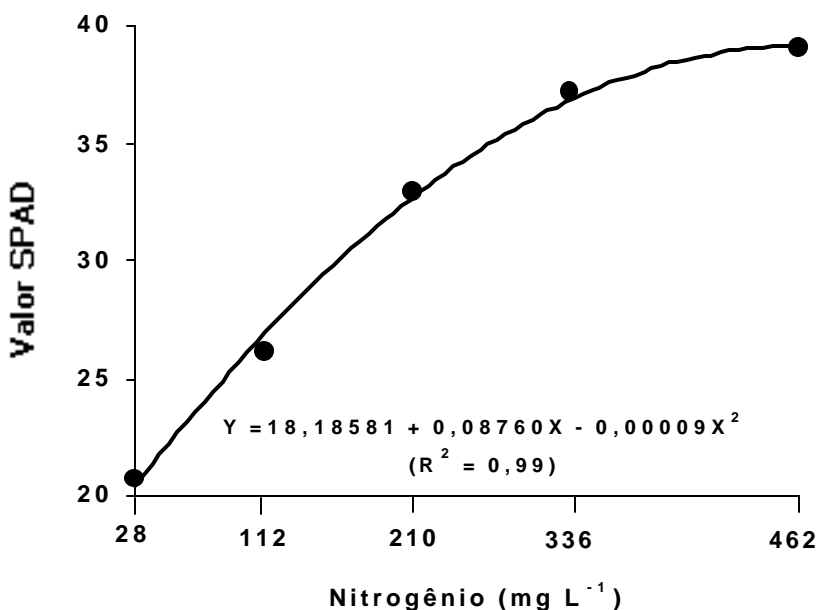


Figura 13 - Teor de clorofila determinado em valor SPAD no segundo corte do capim-Mombaça, em função das doses de nitrogênio na solução nutritiva.

A análise da equação demonstra que no segundo corte da planta forrageira, o teor médio de clorofila variou entre 20,57 e 39,03 unidades SPAD para a condição de concentração mais baixa e a mais alta de nitrogênio na solução empregada. Verificou-se também que a dose que proporcionaria o valor máximo em unidades SPAD ocorreria com nitrogênio em 486 mg L<sup>-1</sup>.

Santos (1997) encontrou para o capim-braquiária valores SPAD de 17,0 e 50,2 e 23,9 e 52,0 para a condição de omissão e as doses de nitrogênio para o máximo valor SPAD, as quais corresponderam as doses de 330 e 442 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente para o primeiro e segundo crescimentos das plantas.



Colozza (1998), trabalhando com o *Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça submetido a doses de nitrogênio, constatou que, nos dois períodos de avaliação, o suprimento do nutriente proporcionou efeitos significativos ( $P < 0,01$ ), encontrando valores máximos de 45,0 e 40,6 para as lâminas de folhas recém-expandidas, no primeiro e segundo cortes das plantas.

Manarin (2000) encontrou efeito significativo ( $P < 0,01$ ) para o fornecimento de nitrogênio na variação dos valores SPAD, no primeiro e segundo crescimentos do capim-Mombaça. Observou que os valores no primeiro crescimento variaram de 22,1 a 46,9 entre a condição de omissão de nitrogênio na solução e a dose de nutriente que proporcionou máximo valor, tendo este correspondido à concentração de nitrogênio de  $419,3 \text{ mg L}^{-1}$ . No segundo crescimento constatou que os resultados ajustaram-se a modelo linear de regressão, o que evidenciou o alto requerimento de nitrogênio por esta espécie forrageira para a sua máxima expressão do valor SPAD.

#### **4.5 Atividade da redutase do nitrato**

A atividade enzimática da redutase do nitrato apresentou comportamento diferenciado quanto ao primeiro e segundo períodos de crescimento do capim-Mombaça. No primeiro crescimento a interação entre as doses de nitrogênio e de potássio foi significativa ( $P < 0,01$ ) na atividade da enzima (Figura 14). No segundo crescimento, a atividade enzimática apresentou significância ( $P < 0,01$ ) somente para as doses de nitrogênio empregadas, ajustando-se ao modelo linear de regressão (Figura 15).

Verifica-se na Figura 14, que em quaisquer doses de nitrogênio fornecidas na solução nutritiva combinadas com a dose mais baixa de potássio, praticamente não há variação da atividade enzimática, destacando assim a importância do potássio na ativação enzimática. Também foi verificado que na dose mais elevada de potássio associada à mais baixa dose de nitrogênio na solução, a atividade da enzima redutase do nitrato também foi limitada devido à

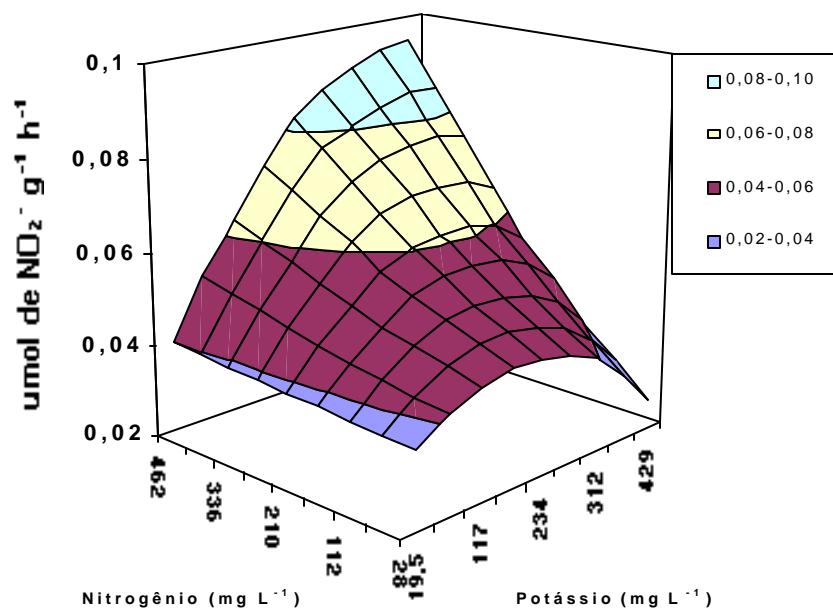
baixíssima concentração de nitrogênio na solução, já que a atividade desta enzima, além de outros fatores (como luminosidade), é induzida pelo nitrato no substrato. Quanto à importância do potássio na atividade da redutase do nitrato, Pflüger & Wiedemann<sup>1</sup>, citados por Marschner (1995), relataram a alta probabilidade da participação do potássio na ativação desta enzima bem como o requerimento deste cátion para a síntese da redutase do nitrato. Diversos estudos têm demonstrado a importância da nutrição potássica e seu efeito na regulação da atividade enzimática da redutase de nitrato em algumas culturas como mostarda (Umar et al., 1995), soja (Anuradha & Sarma, 1995) e algodão (Song et al., 1996). Porém, faltam estudos neste sentido com gramíneas forrageiras tropicais.

Analisando a Figura 14, pode-se constatar que para doses de nitrogênio e de potássio mais elevadas que  $210 \text{ mg L}^{-1}$  e  $234 \text{ mg L}^{-1}$ , a superfície sofre um aumento acentuado, incrementando a atividade da enzima com a adição dos nutrientes na solução. Avaliando a equação polinomial de regressão, obteve-se que a máxima atividade da enzima foi alcançada com o fornecimento das doses mais elevadas de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva.

Santos (1997), fornecendo nitrogênio em  $210 \text{ mg L}^{-1}$  de solução para o capim-braquiária, verificou que as máximas atividades da enzima foram duas vezes mais elevadas que as encontradas por Abreu (1994) com os capins Tanzânia-1, Marandu e gordura (*Melinis minutiflora*) e Corrêa (1996) com os capins Colônia, Tanzânia-1 e Vencedor.

---

<sup>1</sup>PFLÜGER, R.; WIEDEMANN, R. Der einfluss monovalenter kationen auf die nitrateduktion von *Spinacea oleracea* L. **Zeitschrift für Pflanzenphysiologie**. v.85, p.125-133, 1977.



$$Y = 0,034648 + 0,000109K + 0,000000368NK - 0,000000323K^2 \quad (R^2 = 0,69)$$

Figura 14 - Atividade da enzima redutase do nitrato no primeiro corte do capim-Mombaça, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva.

Manarin (2000) constatou que, no primeiro crescimento do capim-Mombaça, utilizando-se também como referência a dose de nitrogênio de 210 mg L<sup>-1</sup>, o valor da atividade enzimática foi semelhante ao valor obtido por Santos (1997). De acordo com a equação de regressão, referente ao primeiro crescimento das plantas (Figura 14), pode-se constatar que utilizando as doses de nitrogênio de 210 mg L<sup>-1</sup> e de potássio de 234 mg L<sup>-1</sup> como referência, o valor da atividade da enzima está bem inferior em relação aos valores encontrados por Santos (1997) e Manarin (2000). Porém deve-se salientar que as diferenças nas atividades da enzima redutase do nitrato podem ser atribuídas a espécies distintas, como também às diferentes épocas de avaliação.

No segundo crescimento das plantas (Figura 15), através do comportamento da atividade enzimática da redutase do nitrato, pode-se inferir que seriam obtidos valores mais altos com o emprego de doses mais elevadas do nutriente na solução.

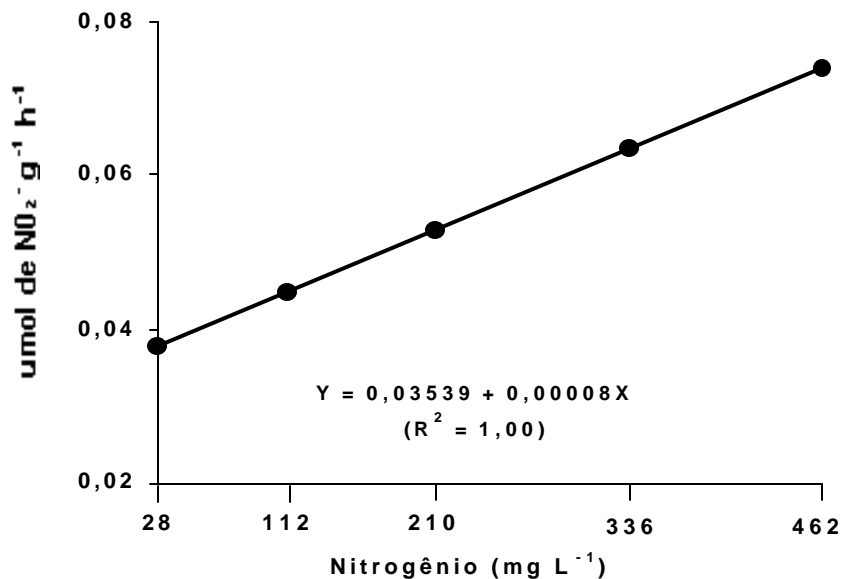


Figura 15 - Atividade da enzima redutase do nitrato no segundo corte do capim-Mombaça, em função das doses de nitrogênio na solução nutritiva.

Corrêa (1996) verificou em duas situações que cultivares de *Panicum maximum* respondiam linearmente na atividade da redutase do nitrato às doses de nitrogênio no substrato. A primeira delas ocorreu no primeiro corte das plantas do cultivar Colônia quando o magnésio estava presente na solução na concentração de  $48 \text{ mg L}^{-1}$ . A segunda ocorreu com o cultivar Vencedor mediante as doses de nitrogênio, em presença da dose de magnésio de  $4,8 \text{ mg L}^{-1}$ .

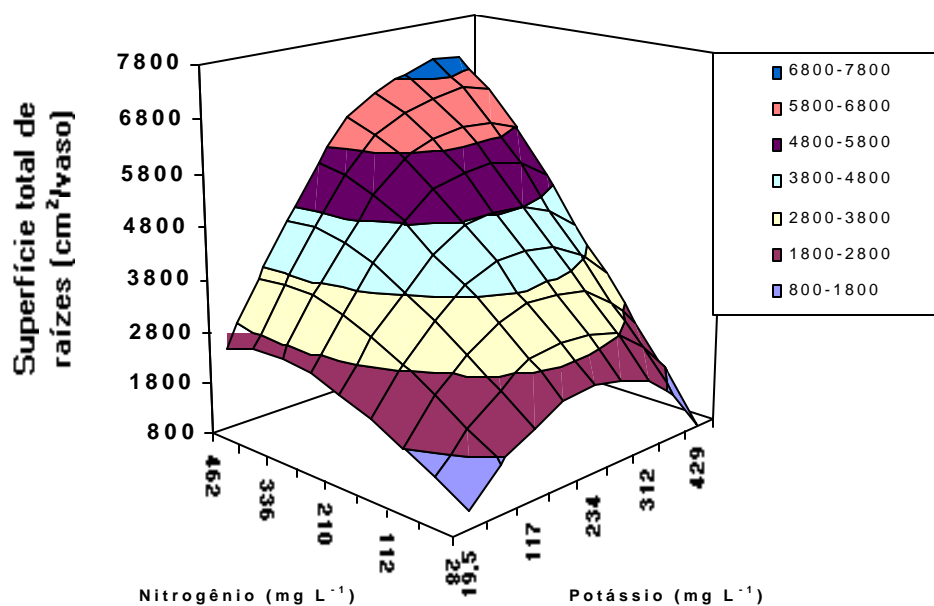
#### 4.6 Superfície total e comprimento total do sistema radicular

Na análise de variância para a superfície total e comprimento total de raízes por vaso do capim-Mombaça, observou-se significância ( $P < 0,01$ ) para a interação entre as doses de nitrogênio e de potássio fornecidas na solução nutritiva.

No estudo da superfície total de raízes do capim-Mombaça (Figura 16) verificou-se através da equação polinomial de regressão que as doses de nitrogênio e potássio necessárias para a máxima superfície das raízes seriam de  $814 \text{ mg L}^{-1}$  e  $522 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente. Pode-se verificar uma relação de concentração na solução dos nutrientes estudados de  $1,56 : 1$ , realçando assim a maior necessidade de nitrogênio para o crescimento do sistema radicular. Através da Figura 16 pode-se constatar que a superfície das raízes na combinação das mais baixas doses de nitrogênio e de potássio não diferiu significativamente da superfície das raízes obtida com as doses de nitrogênio e de potássio de  $28$  e  $429 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente.

Comparando-se a superfície de raízes na combinação das mais baixas doses de nitrogênio e de potássio na solução com a combinação das mais elevadas doses foi constatado um incremento de seis vezes.

Tomando-se como doses referências na solução nutritiva às propostas por Sarruge (1975), ou seja nitrogênio de  $210 \text{ mg L}^{-1}$  e potássio de  $234 \text{ mg L}^{-1}$ , a superfície total de raízes por vaso correspondeu a aproximadamente 68% daquela nas doses mais elevadas de nitrogênio e de potássio. Nota-se também, através da equação de regressão e da representação gráfica da superfície de raízes do capim, que com o aumento das doses de nitrogênio a partir da dose de potássio de  $117 \text{ mg L}^{-1}$ , houve um incremento contínuo desta variável independente.

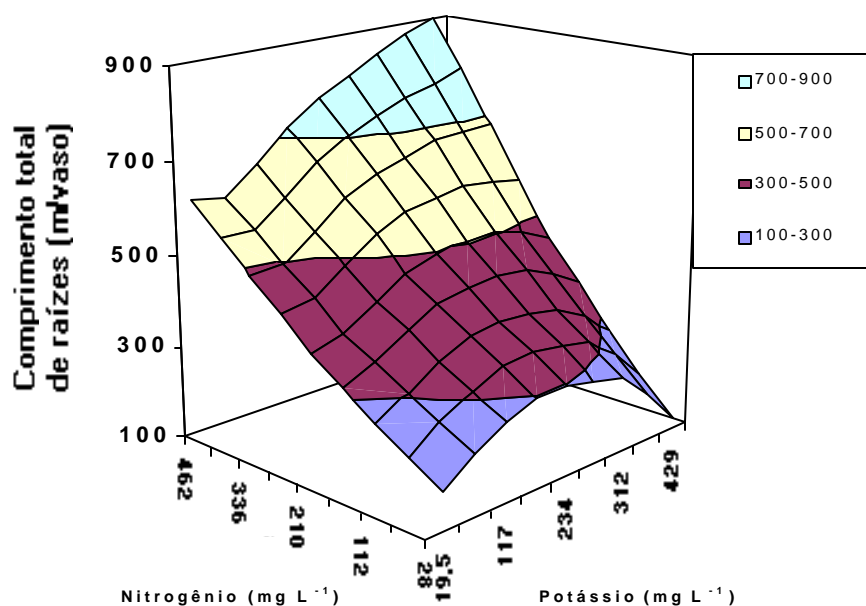


$$Y = 612,3764 + 9,5064N + 14,3113K - 0,014671N^2 + 0,027584NK - 0,035249K^2 \quad (R^2 = 0,74)$$

Figura 16 - Superfície total de raízes por vaso do capim-Mombaça, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva.

De acordo com a equação de regressão (Figura 17), constatou-se novamente que para a obtenção do máximo comprimento total das raízes seria necessário o fornecimento das doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva, nas respectivas concentrações de 596 mg L<sup>-1</sup> e 427 mg L<sup>-1</sup>. Fica evidente, que o nitrogênio é o principal nutriente modulador das respostas para este atributo produtivo nestas plantas. De acordo com Marschner (1995) o suprimento de nutrientes minerais pode afetar fortemente o crescimento das raízes, sua morfologia e distribuição no substrato. Acrescentou que o efeito é mais marcante particularmente para o fornecimento de nitrogênio e também que o efeito do nitrogênio no aumento da área das raízes é freqüentemente mais distinto com o suprimento de amônio em relação ao nitrato.

Observando a dose de potássio para a máxima expressão do comprimento das raízes, conclui-se que a dose mais elevada supriu a exigência das plantas. De forma similar ao verificado com a superfície das raízes, isto ocorreu quando a relação entre as concentrações de nitrogênio e potássio na solução nutritiva era de 1,40 : 1. De acordo com a Figura 17, nota-se que o comprimento das raízes nas doses de nitrogênio de 28 e 112 mg L<sup>-1</sup> associadas à dose de potássio de 19,5 mg L<sup>-1</sup> não variou de forma expressiva em relação aos valores obtidos nas doses de potássio de 321 e 429 mg L<sup>-1</sup> combinadas com a dose de nitrogênio de 28 mg L<sup>-1</sup> de solução.



$$Y = 131,4670 + 0,9823N + 1,4274K - 0,00183N^2 + 0,00281NK - 0,003638K^2 \quad (R^2 = 0,70)$$

Figura 17 - Comprimento total de raízes por vaso do capim-Mombaça, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva.

Verificando a equação de regressão para o comprimento total das raízes do capim-Mombaça, tem-se que na combinação das mais baixas doses de nitrogênio e de potássio para a combinação das doses mais elevadas, o

comprimento das raízes variou de 185,52 a 912,39 m por vaso. Tomando-se as doses referências na solução nutritiva, ou seja nitrogênio de 210 mg L<sup>-1</sup> e potássio de 234 mg L<sup>-1</sup>, o comprimento total correspondeu a 54,43% daquela nas doses mais elevadas de nitrogênio e de potássio.

Avaliando o desenvolvimento das raízes de duas espécies forrageiras (*Holcus lanatus* e *Deschampsia flexuosa*) cultivadas em solo, em condição de baixo e alto fornecimento de nitrogênio, Robinson & Rorison (1985) constataram diferenças significativas no comprimento total e densidade de raízes em função das adubações, sendo que na *Holcus lanatus* a densidade de raízes sofreu incremento de forma linear com o suprimento de nitrogênio.

Santos Junior et al. (2001) constataram que nas plantas de capim-Tanzânia, o comprimento específico médio de raízes não variou com o incremento do nitrogênio de 150 para 300 kg ha<sup>-1</sup>.

## **4.7 Concentração de nitrogênio no tecido vegetal**

### **4.7.1 Folhas emergentes**

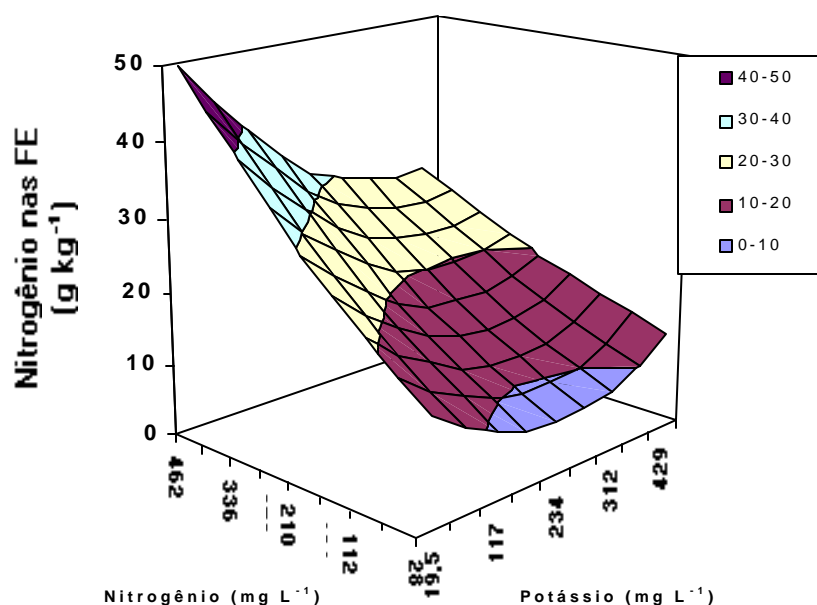
Para a concentração de nitrogênio nas folhas emergentes, houve significância ( $P < 0,01$ ), no primeiro e segundo cortes, para a interação entre as doses de nitrogênio e de potássio (Figura 18).

À medida em que aumentaram as doses de nitrogênio na solução e com o mais baixo suprimento de potássio, a concentração de nitrogênio nas folhas emergentes também foi sendo incrementada, caracterizando o efeito de concentração devido ao menor crescimento das plantas, em função do desbalanço nutricional provocado pelas altas doses de nitrogênio em presença das baixas doses de potássio.

Através da equação de regressão pode-se constatar a variação na concentração de nitrogênio nesse tecido vegetal que foi de 14,56 a 27,85 g kg<sup>-1</sup> de massa seca, respectivamente na combinação das doses mais baixas de



nitrogênio e de potássio para as mais altas doses de nitrogênio e potássio. A mais alta concentração de nitrogênio nas FE foi alcançada com a dose de nitrogênio de 462 mg L<sup>-1</sup> associada à mais baixa dose de potássio, caracterizando assim o efeito de concentração, devido à limitação de crescimento das plantas pela condição de deficiência do potássio. Para a dose de nitrogênio de 210 mg L<sup>-1</sup> e de potássio de 234 mg L<sup>-1</sup>, a concentração média foi 15,5% superior à concentração obtida na combinação das mais baixas doses de nitrogênio e de potássio. Constatou-se também que a menor concentração de nitrogênio foi obtida com as doses de nitrogênio e potássio, respectivamente de 28 e 234 mg L<sup>-1</sup>.



$$Y = 13,6774 + 0,08271N - 0,07326K - 0,000115NK + 0,000164K^2 \quad (R^2 = 0,90)$$

Figura 18 - Concentração de nitrogênio nas folhas emergentes no primeiro corte do capim-Mombaça, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva.

Pode-se observar que a concentração de nitrogênio nessa parte da planta aumentou com o incremento no suprimento deste nutriente na solução,

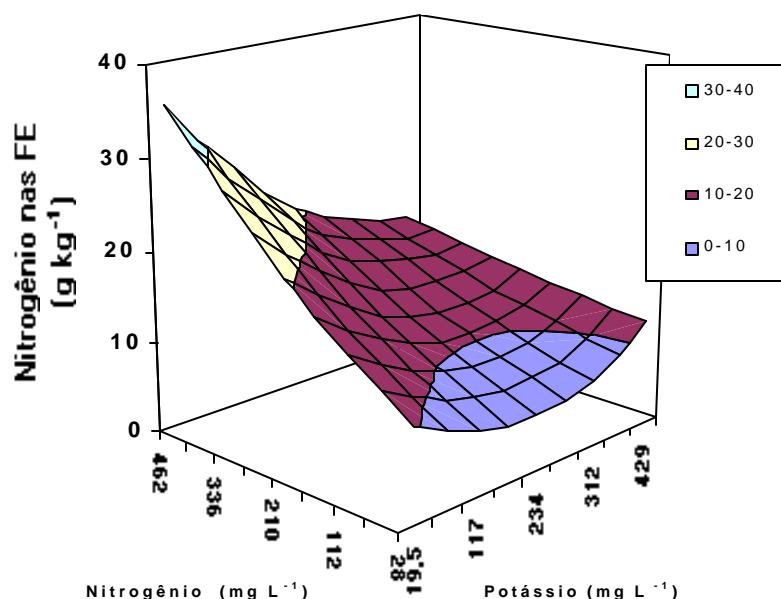
enquanto que diminuiu com o fornecimento de potássio na solução até a dose de 234 mg L<sup>-1</sup>, retomando o incremento após esta dose. De acordo com a equação de regressão verificou-se que as doses de nitrogênio e potássio necessárias para a máxima concentração de nitrogênio nesse tecido vegetal seriam de 764 mg L<sup>-1</sup> e 489 mg L<sup>-1</sup> de solução, respectivamente. Estas doses excedem as máximas empregadas no presente estudo.

Para o segundo crescimento, a concentração de nitrogênio nas folhas emergentes, em função das doses de nitrogênio e de potássio na solução, também ajustou-se a uma equação polinomial de segundo grau (Figura 19). As concentrações de nitrogênio variaram de 10,28 g kg<sup>-1</sup> para as doses de nitrogênio de 28 mg L<sup>-1</sup> e de potássio de 19,5 mg L<sup>-1</sup> a 16,14 g kg<sup>-1</sup> na condição da combinação das doses mais altas de nitrogênio e potássio. Porém obteve-se a mínima concentração de nitrogênio novamente com as doses de nitrogênio de 28 mg L<sup>-1</sup> e potássio em 234 mg L<sup>-1</sup>, e a máxima concentração de nitrogênio nas FE na combinação de doses de nitrogênio e potássio de 462 mg L<sup>-1</sup> e 19,5 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente, como ocorrido no primeiro período de crescimento das plantas.

Santos (1997) constatou, tanto no primeiro como no segundo crescimentos do capim-braquiária, que a concentração de nitrogênio neste componente da parte aérea apresentou respostas significativas para as doses de nitrogênio na solução nutritiva.

Colozza (1998) verificou que as doses de nitrogênio resultaram em efeitos significativos na concentração de nitrogênio nas folhas emergentes em ambos os cortes do capim-Mombaça.

Manarin (2000), estudando o capim-Mombaça, observou que a concentração de nitrogênio nas folhas emergentes mostrou variação significativa com as doses de nitrogênio, tanto no primeiro como no segundo crescimentos das plantas.



$$Y = 9,4907 + 0,05991N - 0,04437K - 0,000115NK + 0,000113K^2 \quad (R^2 = 0,88)$$

Figura 19 - Concentração de nitrogênio nas folhas emergentes no segundo corte do capim-Mombaça, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva.

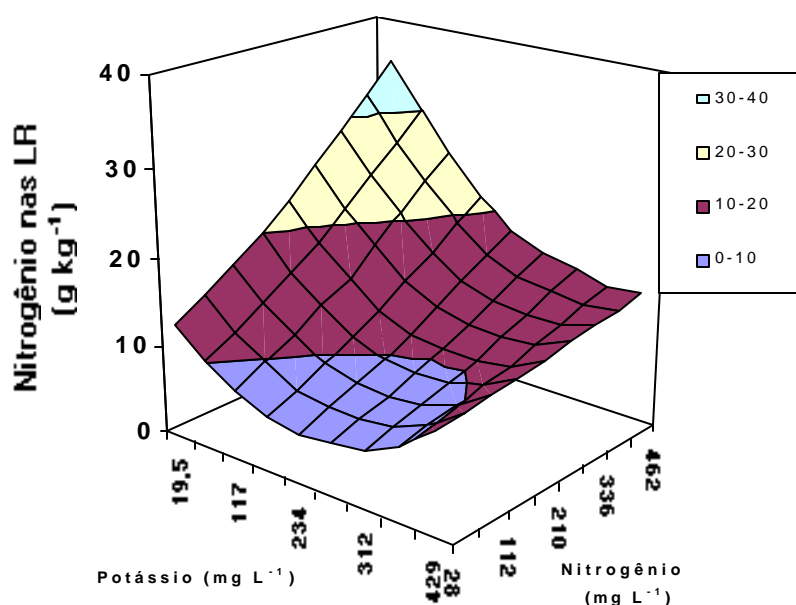
#### 4.7.2 Lâminas de folhas recém-expandidas

Para a concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas, por ocasião do primeiro e do segundo cortes, houve significância ( $P < 0,01$ ) para a interação entre as doses de nitrogênio e de potássio (Figura 20).

Para a dose de nitrogênio de 28 mg L<sup>-1</sup> e de potássio de 19,5 mg L<sup>-1</sup>, a concentração de nitrogênio nesse tecido foi muito próxima daquela verificada na combinação das mais altas doses de nitrogênio e potássio (13,09 e 15,03 g kg<sup>-1</sup>, 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.

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<sup>-1</sup>, respectivamente. Já a mais baixa concentração de nitrogênio nas LR foi verificada nas doses de nitrogênio de 28 mg L<sup>-1</sup> e de potássio de 234 mg L<sup>-1</sup>.

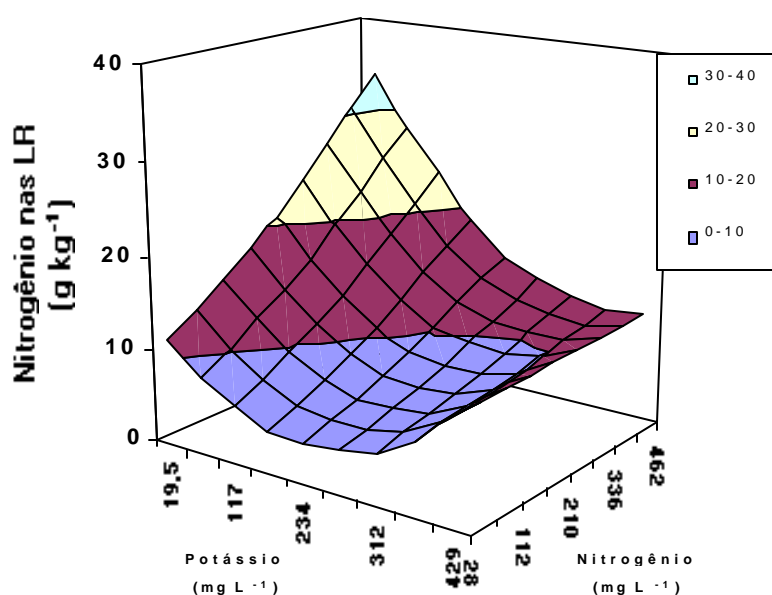


$$Y = 12,7848 + 0,04894N - 0,06313K - 0,000104NK + 0,000139K^2 \quad (R^2 = 0,89)$$

Figura 20 - 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.

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 21). Constatou-se que não houve diferenças entre as concentrações de

nitrogênio neste tecido vegetal, na combinação das mais baixas doses para as mais altas doses de nitrogênio e de potássio. 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<sup>-1</sup> e de potássio em 19,5 mg L<sup>-1</sup> na solução nutritiva, enquanto que o menor valor foi verificado para a dose de nitrogênio de 28 mg L<sup>-1</sup> associada à dose de potássio de 234 mg L<sup>-1</sup>.



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

Figura 21 - 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.

Carvalho et al. (1991) observaram que a concentração de nitrogênio no capim-braquiária foi incrementada linearmente com a aplicação das doses de nitrogênio, atingindo valores de 17 e 21 g kg<sup>-1</sup>. Porém, estas concentrações diminuíram com o incremento do fornecimento das doses de potássio, em decorrência do aumento na produção de massa seca. Na ausência do

fornecimento de nitrogênio, constataram que a concentração de nitrogênio na tecido vegetal variou de 8 a 14 g kg<sup>-1</sup>.

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.

Manarin (2000) verificou que a concentração de nitrogênio nas LR do capim-Mombaça variou de 8,8 a 18,5 e 10,2 a 19,2 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente no primeiro e segundo crescimentos das plantas, estando próximos aos valores encontrados no presente estudo.

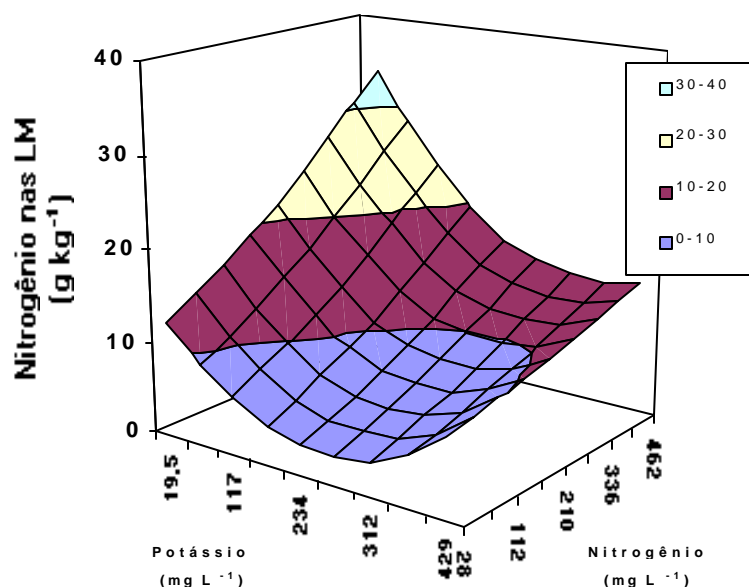
#### **4.7.3 Lâminas de folhas maduras**

A análise de variância da concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas maduras revelou ter sido significativa ( $P < 0,01$ ) a interação entre as doses de nitrogênio e de potássio, no primeiro e segundo cortes das plantas.

No estudo das combinações das doses de nitrogênio e potássio para a concentração do nitrogênio nesse tecido vegetal, os efeitos do suprimento dos nutrientes mostraram-se similares aos encontrados nas FE e LR, em ambos os cortes. Porém estas concentrações apresentaram valores absolutos mais baixos quando comparados com as concentrações nas LR e principalmente nas FE, devido à alta mobilidade do nitrogênio quanto à redistribuição dos tecidos mais velhos para os mais novos, durante o crescimento do vegetal.

No primeiro corte do capim (Figura 22) a concentração mais elevada de nitrogênio no tecido (33,37 g kg<sup>-1</sup>) foi observada na dose de nitrogênio de 462 mg L<sup>-1</sup> associada à dose de potássio de 19,5 mg L<sup>-1</sup>, enquanto que a concentração mais baixa (3,19 g kg<sup>-1</sup>) foi observada nas doses de nitrogênio de 28 mg L<sup>-1</sup> e de potássio de 234 mg L<sup>-1</sup>. Na combinação das doses de 210 mg L<sup>-1</sup> e 234 mg L<sup>-1</sup> para nitrogênio e potássio, respectivamente, como as usadas na solução de Sarruge (1975), a concentração de nitrogênio no tecido foi de 8,78

g kg<sup>-1</sup> e correspondeu à 59% da concentração na combinação das mais elevadas doses de nitrogênio e potássio empregadas no estudo e a 69,41% da combinação das mais baixas doses de ambos os nutrientes.



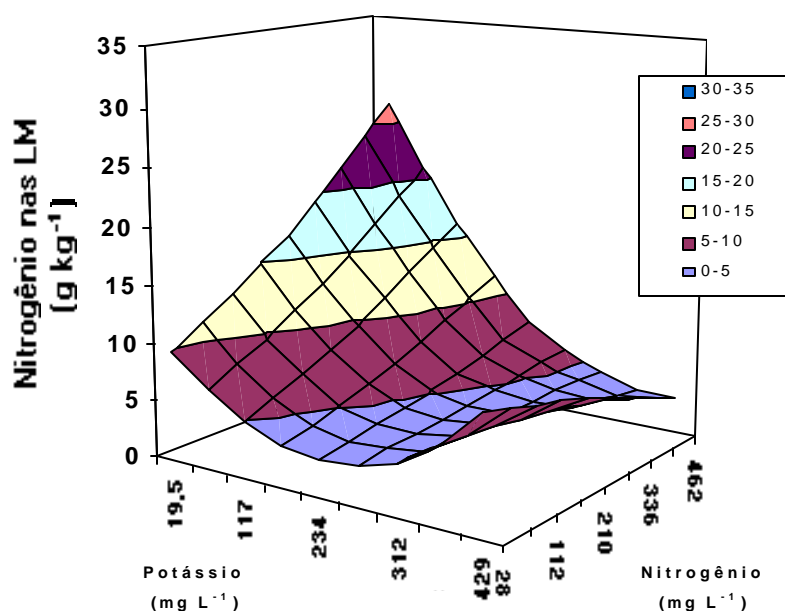
$$Y = 12,9802 + 0,04969N - 0,08682K - 0,00008191NK + 0,000176K^2 \quad (R^2 = 0,83)$$

Figura 22 - Concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas maduras no primeiro corte do capim-Mombaça, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva.

No segundo crescimento do capim (Figura 23) foi observado que a concentração mais elevada de nitrogênio nas LM, ocorreu com o fornecimento da dose de nitrogênio de 462 mg L<sup>-1</sup> associada à dose de potássio de 19,5 mg L<sup>-1</sup>, sendo este valor de 26,65 g kg<sup>-1</sup> de massa seca, enquanto que a concentração mais baixa correspondeu a 11,78% da concentração mais elevada e foi constatada nas doses mais elevadas de nitrogênio e potássio empregadas no estudo. Isto pode ser explicado pela alta mobilidade do nitrogênio para os tecidos novos em formação, já que a planta nesta condição de elevado suprimento de nitrogênio e potássio apresentou maior produção de

massa seca (efeito de diluição). Na combinação de doses de nitrogênio e de potássio, respectivamente de 210 e 234 mg L<sup>-1</sup> a concentração de nitrogênio na massa seca das LM correspondeu a aproximadamente 20% da mais alta concentração verificada.

Manarin (2000) encontrou, nas lâminas de folhas maduras do capim-Mombaça, valores de concentração de nitrogênio de 7,0 a 13,0 g kg<sup>-1</sup> para a condição de ausência e a de nitrogênio de 462 mg L<sup>-1</sup>, no primeiro corte das plantas.



$$Y = 9,9017 + 0,04158N - 0,06727K - 0,000134NK + 0,000160K^2 \quad (R^2 = 0,85)$$

Figura 23 - Concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas maduras no segundo corte do capim-Mombaça, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva.

#### 4.7.4 Colmos mais bainhas

No estudo das doses de nitrogênio e potássio na concentração de nitrogênio nos colmos mais bainhas não foi verificada significância ( $P > 0,05$ )



para a interação entre essas doses no primeiro corte, sendo, no entanto, constatado efeito significativo ( $P < 0,01$ ) das doses de nitrogênio. Quanto ao segundo crescimento das plantas foi verificada interação significativa ( $P < 0,05$ ) entre as doses de nitrogênio e de potássio para a concentração de nitrogênio nos CB.

No material coletado no primeiro corte das plantas foi constatado que a concentração do nitrogênio nos colmos mais bainhas ajustou-se a modelo linear de regressão com as doses de nitrogênio na solução nutritiva. Assim, seriam obtidos valores mais elevados neste componente da parte aérea do capim caso as doses de nitrogênio fossem incrementadas além do limite estudado (Figura 24). A concentração de nitrogênio nos colmos mais bainhas do capim-Mombaça variou entre 5,34 e 19,90  $\text{g kg}^{-1}$  com as doses mínima e máxima de nitrogênio.

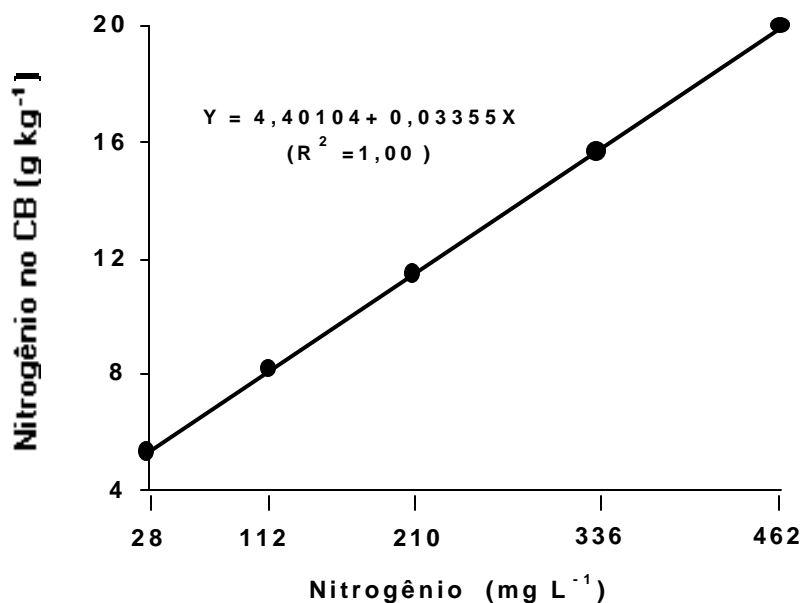
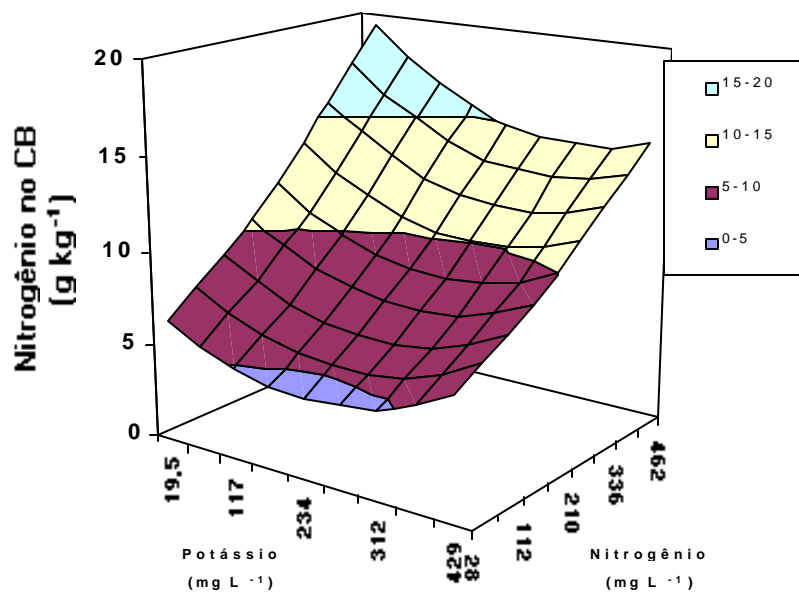


Figura 24 - Concentração de nitrogênio nos colmos mais bainhas no primeiro corte do capim-Mombaça, em função das doses de nitrogênio na solução nutritiva.

No segundo crescimento das plantas (Figura 25), pode-se observar que a concentração de nitrogênio variou de 6,55 a 14,90  $\text{g kg}^{-1}$  de massa seca dos

CB, na combinação das mais baixas doses de nitrogênio e de potássio para a combinação das mais altas doses destes nutrientes, respectivamente. Foi observado que na dose de nitrogênio de 462 mg L<sup>-1</sup> associada a dose de potássio de 19,5 mg L<sup>-1</sup>, ocorreu efeito de concentração obtendo-se o mais elevado valor de nitrogênio neste tecido vegetal. Na dose de nitrogênio de 210 mg L<sup>-1</sup> e de potássio de 234 mg L<sup>-1</sup> a concentração média foi cerca de 45% da concentração mais alta.



$$Y = 6,1676 + 0,03005N - 0,02374K - 0,0000251NK + 0,00005436K^2 \quad (R^2 = 0,87)$$

Figura 25 - Concentração de nitrogênio nos colmos mais bainhas no segundo corte do capim-Mombaça, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva.

Em geral verificou-se no segundo corte pequena variação nas concentrações de nitrogênio nos CB e que estes tecidos vegetais apresentaram as mais baixas concentrações de nitrogênio, estando de acordo com Abreu (1994) e Corrêa (1996) para o capim-Tanzânia e Colozza (1998) e Manarin

(2000) para o capim-Mombaça, que também verificaram que esse componente da parte aérea foi o que apresentou as mais baixas concentrações de nitrogênio.

Manarin (2000) verificou que não houve efeito significativo ( $P>0,05$ ) da adição do nitrogênio na solução, na ocasião do primeiro corte do capim-Mombaça, para a concentração de nitrogênio nos colmos mais baixas. Para o segundo período de crescimento relatou efeito significativo ( $P<0,05$ ) do suprimento de nitrogênio, com ajuste a modelo linear de regressão, o que levou a concluir que o ponto de máxima concentração de nitrogênio neste tecido ocorreria além do limite das doses utilizadas. Descreveu também que a concentração de nitrogênio nos colmos mais baixas desse capim variou entre 6,35 a 15,9 g kg<sup>-1</sup> entre a mais baixa e a mais alta dose de nitrogênio.

#### 4.7.5 Raízes

A análise de variância da concentração de nitrogênio nas raízes do capim-Mombaça revelou ter sido significativa ( $P<0,01$ ) a interação entre as doses de nitrogênio e as de potássio na solução nutritiva (Figura 26).

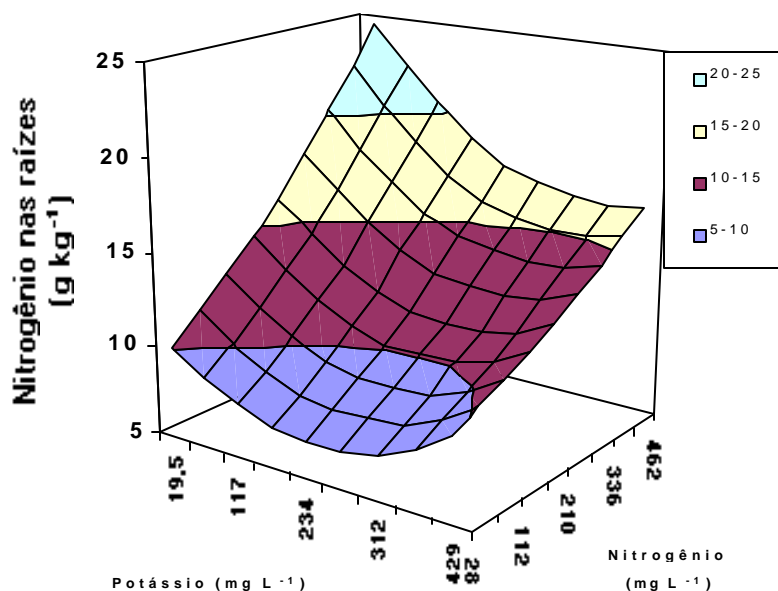
Pode-se constatar que as doses de nitrogênio e de potássio influenciaram a concentração de nitrogênio nas raízes de modo semelhante aos demais componentes da parte aérea do capim. Através da equação de regressão obteve-se que o ponto de máxima concentração desse nutriente nas raízes ocorreria com o suprimento de nitrogênio e potássio de 617 e 413 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente.

Observou-se que a concentração variou de 10,12 a 16,50 g kg<sup>-1</sup> de massa seca de raízes na combinação das mais baixas doses de nitrogênio e de potássio à combinação das mais altas doses destes dois nutrientes. A concentração mais elevada de nitrogênio nas raízes (24,53 g kg<sup>-1</sup>) foi obtida nas doses de nitrogênio e potássio de 462 e 19,5 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente,

enquanto a mais baixa concentração (6,96 g kg<sup>-1</sup> de massa seca) ocorreu com o emprego de nitrogênio de 28 mg L<sup>-1</sup> associada com potássio em 234 mg L<sup>-1</sup>.

Colozza (1998) encontrou concentrações de nitrogênio nas raízes de 6,55 a 19,37 g kg<sup>-1</sup> no capim-Mombaça, respectivamente para ausência de aplicação de nitrogênio e para a dose 400 mg kg<sup>-1</sup> de solo, tendo essas concentrações variado de forma linear com o suprimento de nitrogênio no substrato.

Manarin (2000) observou aumentos lineares e significativos (P<0,01) na concentração de nitrogênio nas raízes do capim-Mombaça em função do incremento de nitrogênio na solução. Os resultados variaram de 8,2 a 18,6 g kg<sup>-1</sup>, estando próximos aos obtidos por Colozza (1998) e aos verificados no presente estudo.



$$Y = 9,7756 + 0,03403N - 0,0311K - 0,00004229NK + 0,00006919K^2 \quad (R^2 = 0,83)$$

Figura 26 - Concentração de nitrogênio nas raízes do capim-Mombaça, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva.

## 4.8 Concentração de potássio no tecido vegetal

Por ocasião dos dois cortes do capim-Mombaça foi observado que nas doses de nitrogênio de 462 mg L<sup>-1</sup> e de potássio de 19,5 mg L<sup>-1</sup>, as plantas apresentavam um aroma semelhante ao do melaço. Segundo Marschner (1995) em plantas deficientes em potássio ocorrem muitas mudanças químicas, incluindo uma acumulação de carboidratos solúveis. Estas mudanças no metabolismo de carboidratos são presumidamente relacionadas em condições de carência de potássio para a regulação de certas enzimas.

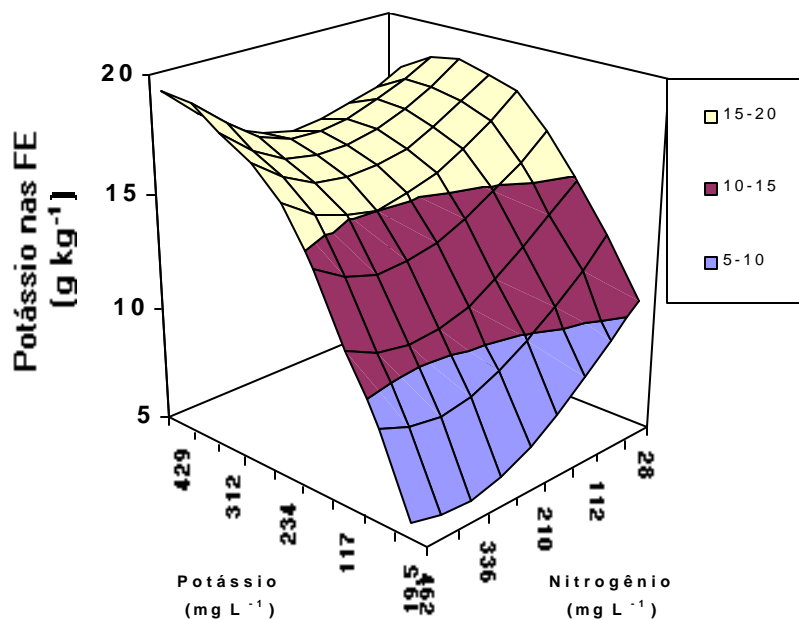
### 4.8.1 Folhas emergentes

A interação entre as doses de nitrogênio e de potássio foi significativa ( $P < 0,05$ ) na concentração de potássio nas folhas emergentes no primeiro corte do capim-Mombaça. Para o segundo corte das plantas, foi verificado que somente as doses de potássio promoveram efeitos significativos ( $P < 0,01$ ) na concentração desse nutriente nas FE.

Nas FE coletadas por ocasião do primeiro corte constatou-se que a concentração de potássio variou de 10,49 a 19,50 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente na combinação das mais baixas doses para a combinação das mais altas doses de nitrogênio e potássio (Figura 27).

Através da equação polinomial de regressão observou-se que a concentração máxima de potássio nas FE foi alcançada com a combinação das mais altas doses de nitrogênio e de potássio. Provavelmente isto ocorreu pelo fato de o nitrogênio fornecido favorecer maior absorção do potássio da solução.

Por ocasião do segundo corte das plantas, a concentração de potássio nas FE, apresentou significância ( $P < 0,01$ ) para o componente quadrático da análise de regressão em função do suprimento de potássio (Figura 28). A partir dessa equação de regressão encontrou-se que a máxima concentração de potássio nas FE ocorreria na dose de potássio de 440 mg L<sup>-1</sup> de solução.



$$Y = 10,3461 - 0,03458N + 0,05579K + 0,00004684N^2 + 0,00003633NK - 0,00008692K^2 \quad (R^2 = 0,73)$$

Figura 27 - Concentração de potássio nas folhas emergentes no primeiro corte do capim-Mombaça, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva.

Em experimento com os capins braquiária e Marandu, Mattos (1997) constatou que a concentração de potássio nas FE de ambos capins sofreu incrementos significativos ( $P < 0,01$ ) nos dois cortes realizados, em função das doses de potássio utilizadas.

Pereira (2001) verificou que as doses de potássio resultaram em efeitos significativos ( $P < 0,01$ ) na concentração de potássio em folhas emergentes do capim-Mombaça, nos dois períodos de crescimento da planta forrageira. As doses de potássio que proporcionaram as mais elevadas concentrações foram de 431 e 409  $\text{mg L}^{-1}$ , respectivamente, no primeiro e segundo cortes. A concentração de potássio neste tecido variou de 4,87 a 26,95  $\text{g kg}^{-1}$  e de 5,37 a 22,28  $\text{g kg}^{-1}$ , respectivamente nos dois períodos de crescimentos.

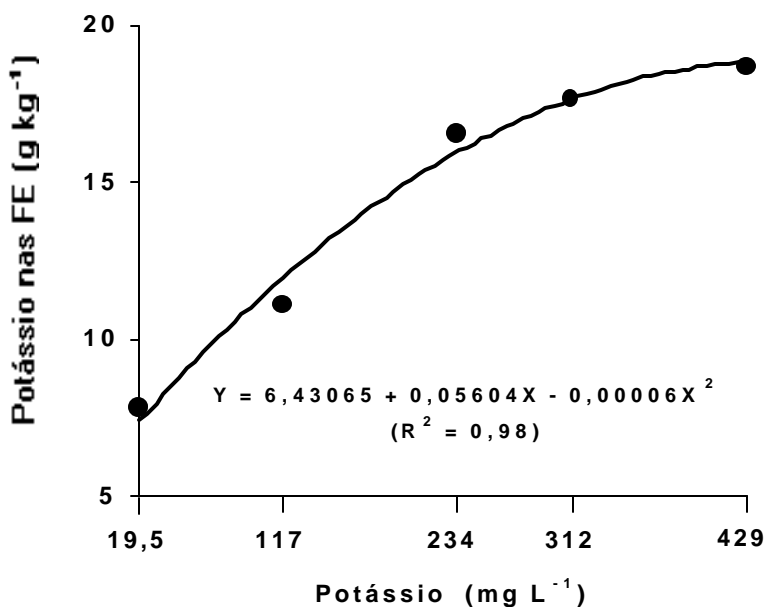


Figura 28 - Concentração de potássio nas folhas emergentes no segundo corte do capim-Mombaça, em função das doses de potássio na solução nutritiva.

#### 4.8.2 Lâminas de folhas recém-expandidas

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

No primeiro crescimento da gramínea a concentração de potássio nas LR sofreu variação segundo 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<sup>-1</sup>. Dentro da faixa das doses estudadas a concentração variou de 3,89 a 13,58 g kg<sup>-1</sup>, correspondendo às condições de baixo e alto suprimento em potássio (Figura 29).

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 (Figura 30). Isto mais uma vez comprova o consumo de luxo desse nutriente pelas plantas.

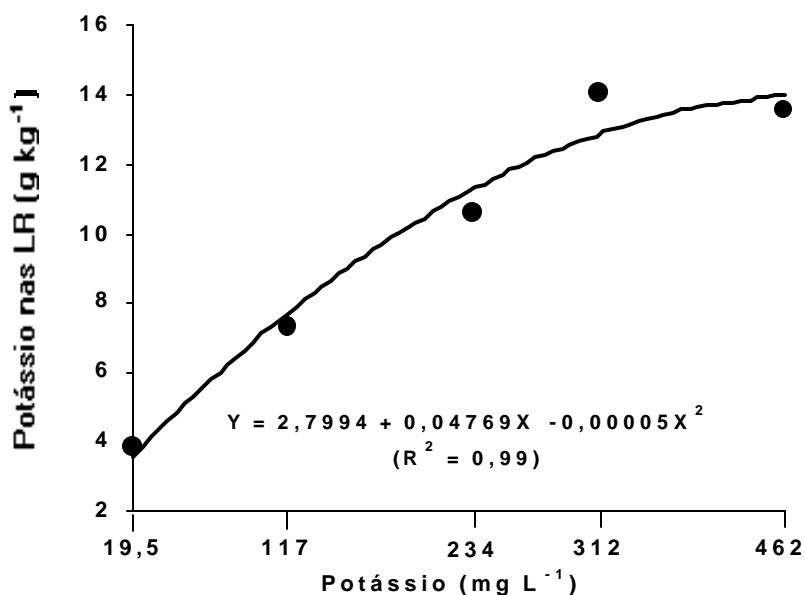


Figura 29 - Concentração de potássio nas lâminas de folhas recém-expandidas no primeiro corte do capim-Mombaça, em função das doses de potássio na solução nutritiva.

Ferragine (1998) não encontrou interação significativa entre as doses de nitrogênio e de potássio para a concentração de potássio nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-braquiária, em dois crescimentos desse capim. Verificou que o nitrogênio influenciou significativamente ( $P < 0,01$ ) na concentração de potássio nos dois crescimentos do capim, e que a concentração de potássio nesse tecido diminuía com o aumento no suprimento de nitrogênio. As doses de potássio também promoveram aumento na



concentração do nutriente no tecido à medida em que se elevaram as doses de potássio na solução.

Pereira (2001) constatou que a concentração de potássio na massa seca do capim-Mombaça variou de 2,32 a 20,85 g kg<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>, com o fornecimento da dose de potássio em 715 mg L<sup>-1</sup> de solução.

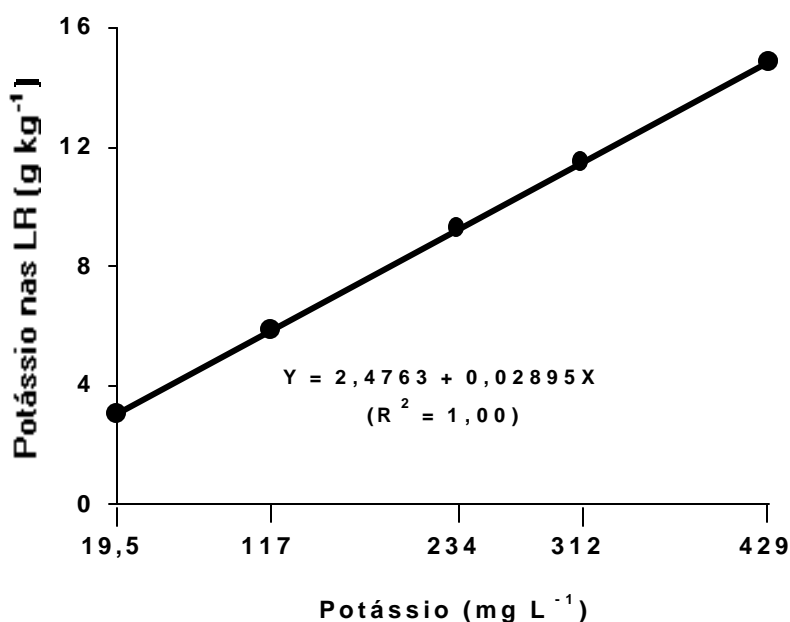
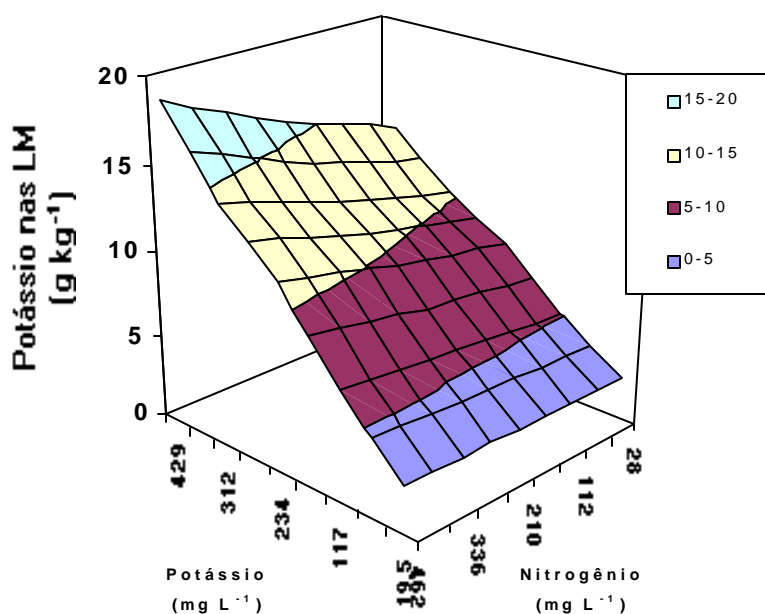


Figura 30 - Concentração de potássio nas lâminas de folhas recém-expandidas no segundo corte do capim-Mombaça, em função das doses de potássio na solução nutritiva.

#### 4.8.3 Lâminas de folhas maduras

A análise de variância da concentração de potássio nas lâminas de folhas maduras (LM) revelou ter sido significativa ( $P < 0,05$ ), no primeiro e segundo cortes das plantas, a interação entre as doses de nitrogênio e as de potássio fornecidas na solução nutritiva.

As concentrações de potássio nesse tecido do capim, na ocasião do primeiro corte, aumentaram com o incremento no suprimento de potássio e de nitrogênio na solução (Figura 31). Foi constatado que na combinação das mais baixas doses de nitrogênio e de potássio a concentração de potássio nas lâminas de folhas maduras foi de 2,48 g kg<sup>-1</sup> e para a combinação das mais altas doses de nitrogênio e potássio, a concentração de potássio foi de 18,87 g kg<sup>-1</sup>, sendo este valor correspondente à máxima concentração obtida. Na dose de nitrogênio de 210 mg L<sup>-1</sup> e potássio de 234 mg L<sup>-1</sup>, a concentração de potássio nas LM correspondeu a 50% da mais elevada concentração obtida.



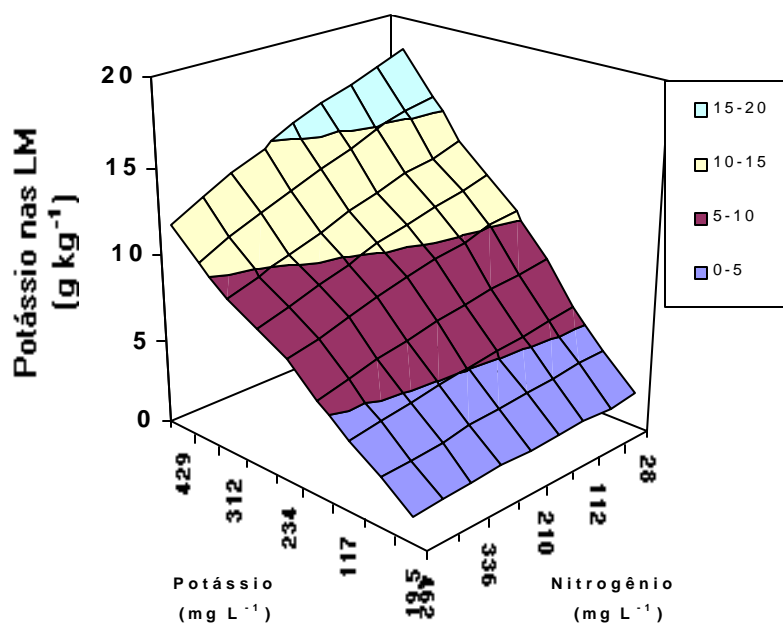
$$Y = 1,9566 + 0,02585K + 0,000029373NK \quad (R^2 = 0,86)$$

Figura 31 - Concentração de potássio nas lâminas de folhas maduras no primeiro corte do capim-Mombaça, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva.

No segundo corte verificou-se que as concentrações de potássio nas LM cresceram linearmente com o aumento das doses de potássio na solução

nutritiva e decresceram à medida em que se aumentava o suprimento de nitrogênio (Figura 32).

Através da equação polinomial, constatou-se que na dose de nitrogênio de 28 mg L<sup>-1</sup> combinada com a dose de potássio de 19,5 mg L<sup>-1</sup>, a concentração de potássio nas LM correspondeu a 20,71% da concentração obtida nas doses de nitrogênio de 210 mg L<sup>-1</sup> e potássio de 234 mg L<sup>-1</sup> de solução. A máxima concentração de potássio no tecido (18,21 g kg<sup>-1</sup>) foi verificada na combinação da mais baixa dose de nitrogênio e com a mais alta dose de potássio, caracterizando o efeito de concentração, do nutriente.



$$Y = 1,097321 + 0,040799K - 0,000032809NK \quad (R^2 = 0,83)$$

Figura 32 - Concentração de potássio nas lâminas de folhas maduras no segundo corte do capim-Mombaça, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva.

Para a concentração de potássio nas lâminas foliares do capim-Napier, Andrade (1997) verificou que, nos dois períodos de crescimento, a concentração de potássio aumentou com o fornecimento do adubo potássico e diminuiu com a aplicação do adubo nitrogenado. Observou que, no segundo corte das plantas, a concentração de potássio cresceu linearmente com o suprimento de potássio.

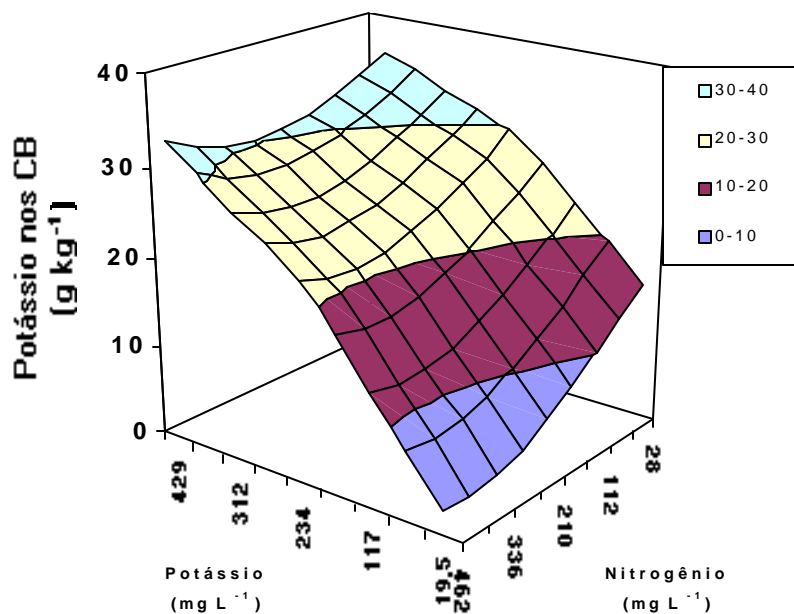
#### **4.8.4 Colmos mais bainhas**

Através da análise de variância constatou-se que ocorreu significância ( $P < 0,05$ ), na ocasião do primeiro corte das plantas, para a interação entre as doses de nitrogênio e de potássio na concentração de potássio nos colmos mais bainhas e não significância ( $P > 0,05$ ) por ocasião do segundo corte. No segundo crescimento do capim-Mombaça verificou-se efeito significativo ( $P < 0,01$ ) das doses de potássio na solução nutritiva para o incremento da concentração de potássio nos CB.

No primeiro corte, o fornecimento das doses de potássio na solução nutritiva afetou positivamente a concentração de potássio nos CB quando associadas com as mais baixas doses de nitrogênio na solução nutritiva. Pode-se verificar uma redução na concentração de potássio nesse tecido vegetal, de  $15,28 \text{ g kg}^{-1}$  a  $2,76 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente, da mais baixa para a mais elevada dose de nitrogênio combinadas com potássio em  $19,5 \text{ mg L}^{-1}$ . Para a dose de nitrogênio na solução de  $28 \text{ mg L}^{-1}$  houve um incremento das concentrações de potássio nos CB, variando de  $15,28 \text{ g kg}^{-1}$  (com potássio em  $19,5 \text{ mg L}^{-1}$ ) a  $22,73 \text{ g kg}^{-1}$  (em potássio de  $117 \text{ mg L}^{-1}$ ) a  $29,49 \text{ g kg}^{-1}$  (em potássio de  $234 \text{ mg L}^{-1}$ ) a  $32,68 \text{ g kg}^{-1}$  (com potássio em  $312 \text{ mg L}^{-1}$ ) para  $35,49 \text{ g kg}^{-1}$  (em potássio de  $429 \text{ mg L}^{-1}$ ), sendo o mesmo comportamento constatado com o aumento das doses de potássio na solução combinadas com a dose de nitrogênio de  $462 \text{ mg L}^{-1}$  (Figura 33).

Pode-se verificar que a concentração de potássio nos CB oscilou de 35,49 g kg<sup>-1</sup> (em nitrogênio de 28 mg L<sup>-1</sup>) para 33,29 g kg<sup>-1</sup> (com nitrogênio em 462 mg L<sup>-1</sup>) combinadas com o potássio em 429 mg L<sup>-1</sup> na solução, apresentando um valor mais baixo de 30,52 g kg<sup>-1</sup> (em nitrogênio de 210 mg L<sup>-1</sup>) e 30,51 g kg<sup>-1</sup> (em nitrogênio de 336 mg L<sup>-1</sup>) também associadas à mais alta dose de potássio na solução.

Por ocasião do segundo corte da gramínea forrageira, observou-se que as mais altas concentrações de potássio nos CB (23,05 e 30,09 g kg<sup>-1</sup>), ocorreram nas doses potássio de 312 e 429 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. Pode-se inferir que seriam obtidos valores mais elevados, caso fossem utilizadas doses de potássio mais elevadas em relação às do presente estudo (Figura 34).



$$Y = 15,57199 - 0,07315N + 0,086567K + 0,0000881N^2 + 0,0000581NK - 0,000086623K^2 \quad (R^2 = 0,81)$$

Figura 33 - Concentração de potássio nos colmos mais bainhas no primeiro corte do capim-Mombaça, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva.

Mattos (1997) obteve, nos colmos mais bainhas do capim-braquiária em dois cortes das plantas, ajuste a modelo quadrático para as concentrações de potássio em função do fornecimento das doses de potássio na solução nutritiva, sendo que as concentrações máximas foram atingidas com o fornecimento de potássio de 356 e 377 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente para o primeiro e segundo corte.

Pereira (2001) encontrou ajuste quadrático para a concentração de potássio nos CB no capim-Mombaça, por ocasião do primeiro e segundo cortes, concluindo que as concentrações no primeiro corte variaram de 2,83 g kg<sup>-1</sup> quando a dose de potássio era de 9,75 mg L<sup>-1</sup> até 39,23 g kg<sup>-1</sup>, quando o potássio foi fornecido na dose de 389 mg L<sup>-1</sup> (dose para a concentração máxima de potássio no tecido). Para o segundo corte concluiu que as concentrações de potássio estiveram entre 0,76 e 31,84 g kg<sup>-1</sup>, sendo 384 mg L<sup>-1</sup> a dose de potássio para se obter a máxima concentração no tecido.

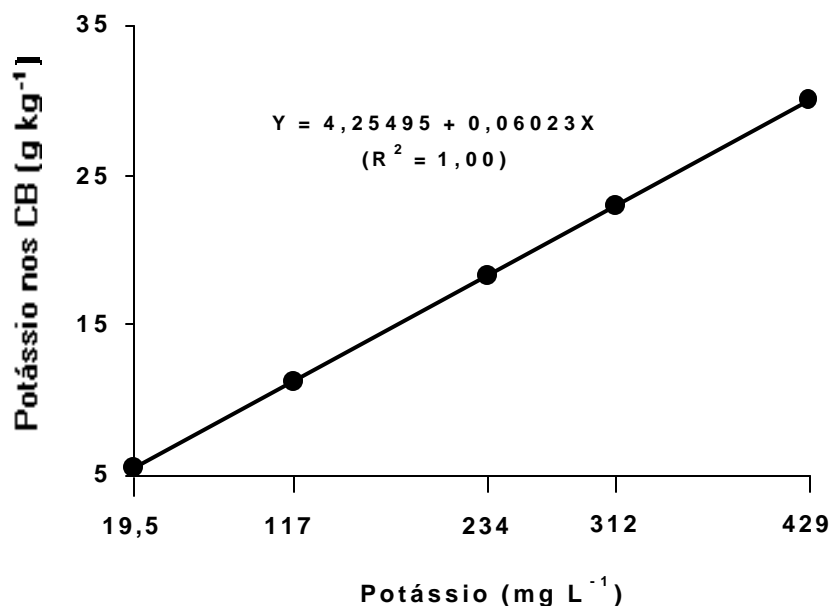


Figura 34 - Concentração de potássio nos colmos mais bainhas no segundo corte do capim-Mombaça, em função das doses de potássio na solução nutritiva.

A mais elevada concentração de potássio nos colmos mais baixas em relação às FE, LR e LM foi relatada por Mattos (1997) com os capins braquiária e Marandu e por Pereira (2001) com o capim-Mombaça, o que foi também verificado no presente experimento.

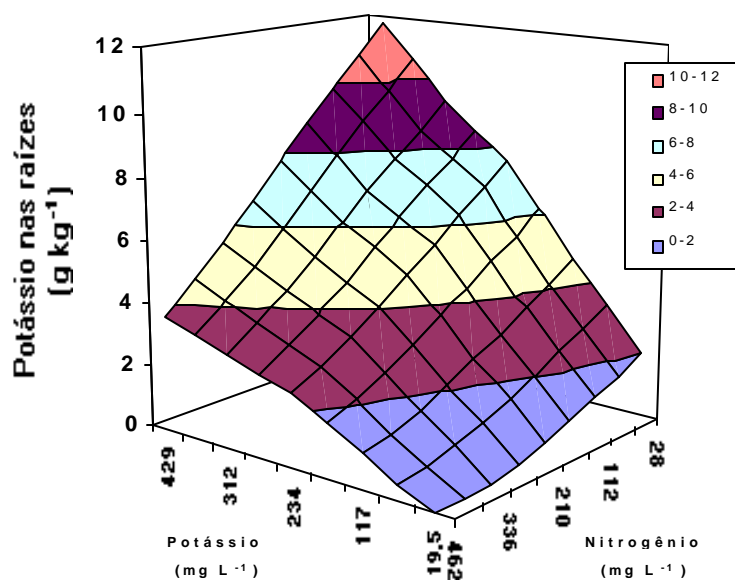
#### **4.8.5 Raízes**

Para a concentração de potássio nas raízes do capim-Mombaça foi constatada significância ( $P < 0,01$ ) para a interação entre as doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva, ajustando-se a modelo polinomial de regressão (Figura 35).

Verificou-se que em presença de nitrogênio de  $28 \text{ mg L}^{-1}$  as doses de potássio proporcionaram aumentos lineares nas concentrações de potássio no tecido, variando de  $1,98 \text{ g kg}^{-1}$  (em potássio de  $19,5 \text{ mg L}^{-1}$ ) a  $11,76 \text{ g kg}^{-1}$  (com potássio em  $429 \text{ mg L}^{-1}$ ). O mesmo ocorreu com a variação das doses de potássio dentro da dose de nitrogênio de  $462 \text{ mg L}^{-1}$ . Constatou-se também que na dose de potássio de  $19,5 \text{ mg L}^{-1}$  a concentração de potássio nas raízes esteve entre  $1,98 \text{ g kg}^{-1}$  (quando o nitrogênio era de  $28 \text{ mg L}^{-1}$ ) e  $0,18 \text{ g kg}^{-1}$  (em nitrogênio de  $462 \text{ mg L}^{-1}$ ). A mais baixa concentração de potássio no tecido radicular foi observada na mais alta dose de nitrogênio associada à mais baixa dose de potássio na solução, enquanto a mais alta concentração de potássio nesse tecido foi obtida com a combinação das doses de nitrogênio e de potássio, respectivamente, de  $28$  e  $429 \text{ mg L}^{-1}$ .

Pereira (2001) verificou aumentos significativos ( $P < 0,01$ ) na concentração de potássio nas raízes do capim-Mombaça com a elevação das doses de potássio na solução nutritiva, ajustando-se à equação de primeiro grau, o que evidencia a possibilidade de aumento na concentração de potássio no tecido caso tivessem sido adicionadas doses mais elevadas que as utilizadas. Constatou também que a concentração de potássio nas raízes variou

de 1,8 a 13,0 g kg<sup>-1</sup> quando as doses variaram de 9,75 a 468 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente, o que está de acordo com os resultados do presente estudo.



$$Y = 1,6973 - 0,0103N + 0,03013K + 0,00001213N^2 - 0,00003323NK - 0,00001188K^2 \quad (R^2 = 0,89)$$

Figura 35 - Concentração de potássio nas raízes do capim-Mombaça, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva.

#### 4.9 Concentração de cálcio nas lâminas de folhas recém-expandidas

Verificou-se que na ocasião do primeiro corte do capim-Mombaça as doses de nitrogênio e 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 36). 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 37).

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<sup>-1</sup>, 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.

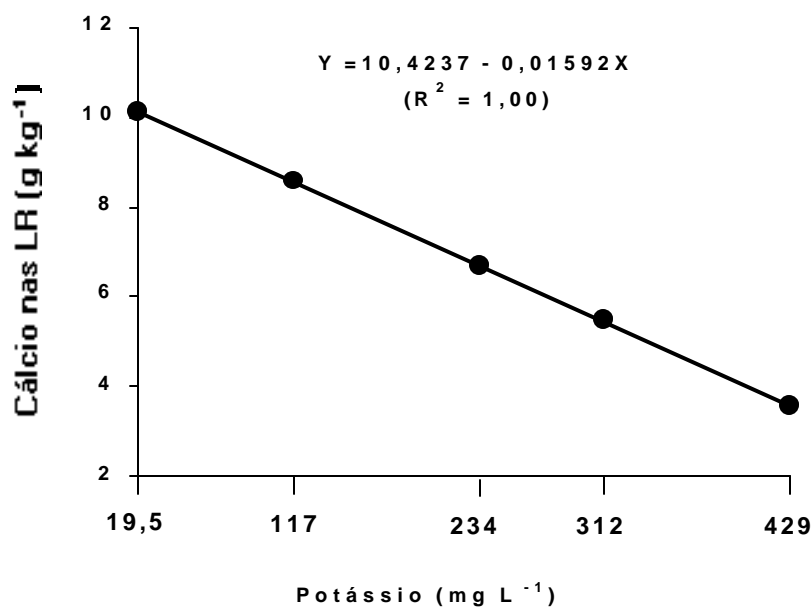
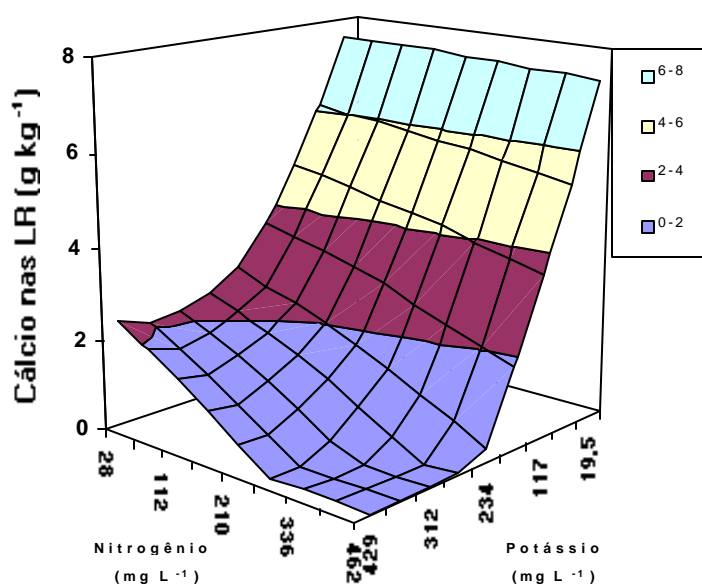


Figura 36 - Concentração de cálcio nas lâminas de folhas recém-expandidas no primeiro corte do capim-Mombaça, em função das doses de potássio na solução nutritiva.

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<sup>-1</sup> com o incremento do fornecimento das doses de potássio de 19,5 para a dose de 429 mg L<sup>-1</sup> combinadas com a dose de nitrogênio de 28 mg L<sup>-1</sup>. Essa redução foi mais acentuada quando as combinações de nitrogênio e de

potássio variaram, respectivamente de 28 mg L<sup>-1</sup> e 19,5 mg L<sup>-1</sup> para 462 mg L<sup>-1</sup> e 429 mg L<sup>-1</sup>, evidenciando desse modo um efeito negativo do potássio na concentração de cálcio no tecido vegetal. Verificou-se redução de 91,10% na concentração de cálcio no tecido vegetal quando as 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<sup>-1</sup> com potássio em 429 mg L<sup>-1</sup>.



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

Figura 37 - Concentração de cálcio nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Mombaça no segundo corte, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva.

Andrade (1997) constatou que as concentrações de cálcio nas lâminas foliares não variaram com as doses de nitrogênio e potássio na ocasião do primeiro corte das plantas. Por ocasião do segundo corte, observou uma redução nas concentrações de cálcio nas lâminas foliares com a aplicação do

adubo nitrogenado, atribuindo esse fenômeno ao efeito de diluição devido ao rápido crescimento da planta forrageira.

Ferragine (1998) constatou, no capim-braquiária, que a interação entre as doses de nitrogênio e potássio não foi significativa 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 42, 120 e 238 mg L<sup>-1</sup> de nitrogênio e na mais alta dose de potássio (390 mg L<sup>-1</sup>) foi obtida a mais baixa concentração de cálcio nas lâminas de folhas novas, sendo portanto limitantes para a nutrição da planta.

#### **4.10 Concentração de magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas**

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.

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 mg L<sup>-1</sup> correspondendo a 5,27 g kg<sup>-1</sup>, enquanto que a mais baixa concentração foi obtida com a dose de potássio de 315 mg L<sup>-1</sup> (Figura 38).

No estudo dos efeitos das doses de potássio, observou-se que as concentrações de magnésio nas LR do capim-Mombaça, no segundo corte das plantas foi representada por modelo quadrático (Figura 39). Através da equação de regressão, pode-se constatar que as concentrações de magnésio decresceram à medida 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 g kg<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>. Resultados semelhantes também foram encontrados por Andrade (1997) com o capim-Napier e Ferragine (1998) com o capim-braquiária.

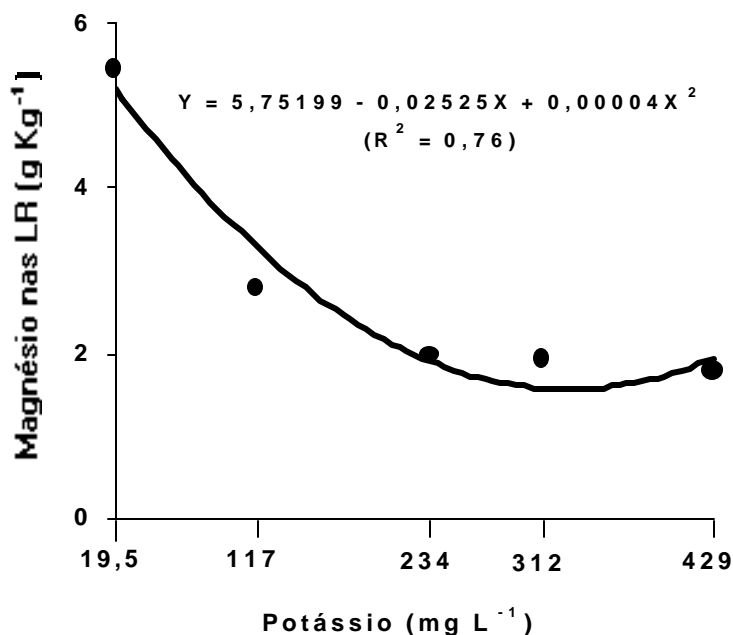


Figura 38 - Concentração de magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas no primeiro corte do capim-Mombaça, em função das doses de potássio na solução nutritiva.

Segundo Marschner (1995) o potássio e o cálcio competem efetivamente com o magnésio e diminuem a sua absorção à medida que aumenta o fornecimento de potássio e cálcio para as plantas. Destacou também que o requerimento de magnésio para um ótimo crescimento do vegetal estaria na faixa de 1,5 a 3,5 g kg<sup>-1</sup> na massa seca das plantas.

Neste mesmo sentido, porém levando-se em consideração situações com alto fornecimento de nitrogênio Fernandes & Rossiello (1995) destacaram que a elevada adubação nitrogenada em pastagens pode ocasionar a tetania

das pastagens, como conseqüência do elevado teor de nitrogênio no solo promovendo uma maior absorção do potássio e menor absorção de cálcio e magnésio, conseqüentemente elevando-se a relação K : (Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>).

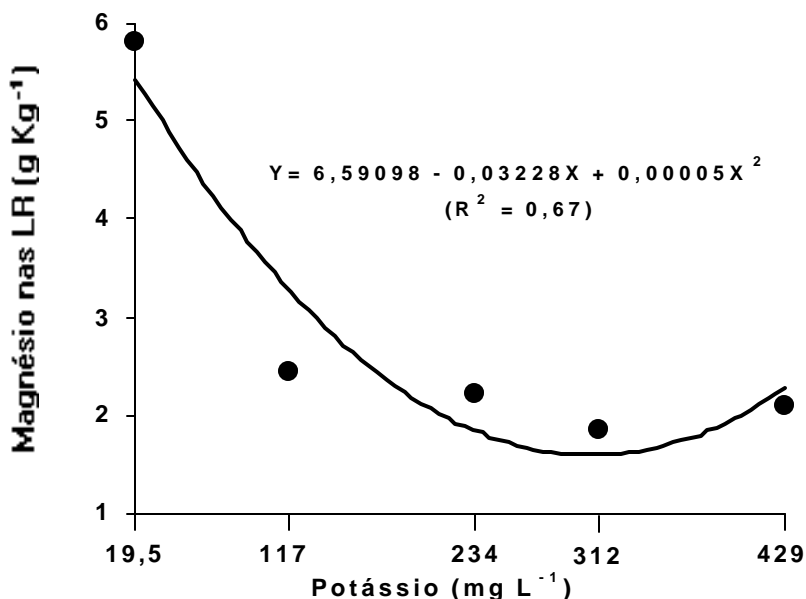


Figura 39 - Concentração de magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas no segundo corte do capim-Mombaça, em função das doses de potássio na solução nutritiva.

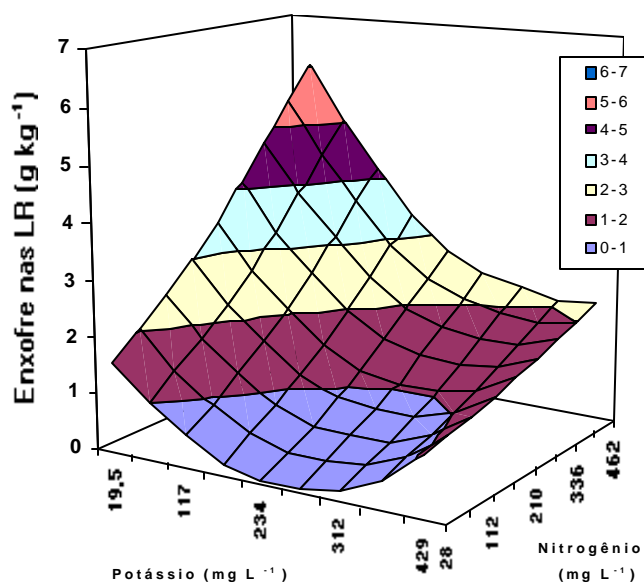
#### 4.11 Concentração de enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas

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 40 e 41).

Para o primeiro corte das plantas, pode-se verificar que as concentrações de enxofre variaram de 1,62 a 2,14 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente na combinação das mais baixas para as mais altas doses de nitrogênio e de potássio. Nas doses de nitrogênio de 210 mg L<sup>-1</sup> e potássio de 234 mg L<sup>-1</sup> a concentração foi 27% mais baixa em relação à concentração obtida nas mais

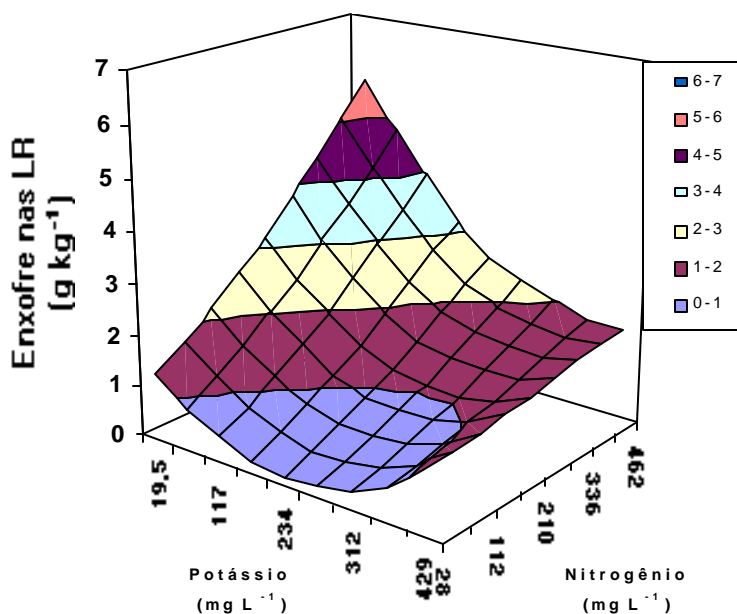
baixas doses de nitrogênio e de potássio. A mais baixa concentração de enxofre foi verificada na dose de nitrogênio de 28 mg L<sup>-1</sup> combinada com potássio em 234 mg L<sup>-1</sup>, enquanto que a mais alta concentração de enxofre nas LR foi constatada na combinação da mais alta dose de nitrogênio com a dose mais baixa de potássio, evidenciando assim o efeito positivo do nitrogênio na concentração de enxofre nesse tecido vegetal e o efeito negativo do potássio.

Nas LR coletadas por ocasião do segundo corte constatou-se que a concentração de enxofre variou de 1,33 a 1,82 g kg<sup>-1</sup>, 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<sup>-1</sup>, sendo aproximadamente 77% mais alta que a concentração obtida com o fornecimento das mais baixas doses de nitrogênio e potássio.



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

Figura 40 - Concentração de enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Mombaça no primeiro corte, 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 41 - Concentração de enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Mombaça no segundo corte, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva.

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 aplicadas. Concluiu que a concentração máxima de enxofre nesse tecido, no primeiro corte, ocorreu com a dose de nitrogênio de 334 mg kg<sup>-1</sup> 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.

Ferragine (1998), trabalhando com o capim-braquiária, verificou que a concentração de enxofre nas LR apresentou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de potássio, no primeiro (P<0,05) e no segundo corte (P<0,01).

## 5 CONCLUSÕES

- ✓ As doses de nitrogênio e potássio interagiram nos dois cortes do capim-Mombaça para a produção de massa seca da parte aérea e das raízes e para a área foliar total;
- ✓ A máxima superfície total e comprimento total das raízes do *Panicum maximum* cv. Mombaça ocorreriam com o fornecimento de doses de nitrogênio e de potássio superiores às propostas por Sarruge;
- ✓ No primeiro crescimento das plantas a atividade da redutase do nitrato e a quantidade de clorofila (em unidade de valor SPAD) no tecido das lâminas de folhas recém-expandidas mostrou significância para a interação entre o suprimento de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva;
- ✓ As concentrações de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e enxofre nos tecidos vegetais foram influenciadas pelo fornecimento das doses de nitrogênio e potássio na solução nutritiva;



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, J.B.R. Níveis de nitrogênio e proporções de nitrato e amônio afetando produção, atividade da redutase do nitrato e composição de três gramíneas forrageiras. Piracicaba, 1994. 103p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- 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.
- ANDRADE, S.R.M. Efeito da proporção  $\text{NH}_4^+$  :  $\text{NO}_3^-$  na composição da fração nitrogenada na atividade de enzimas de redução e assimilação de nitrogênio em plantas de capim-Colonião (*Panicum maximum* Jacq.). Viçosa, 1994. 49p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
- ANURADHA, K.; SARMA, P.S. Effect of moisture stress and applied potassium on yield and biochemical parameters of soybean in vertisols. **Journal of Oilseeds Research**, v.12, p.275-278, 1995.
- ARONOVICH, S. O capim-Colonião e outros cultivares de *Panicum maximum* Jacq.: introdução e evolução do uso no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12., Piracicaba, 1995. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1995. p.1 - 20.

- BENETTI, I.; MONTEIRO, F.A. Doses de potássio na produção e composição química do capim-Vencedor. In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 7., Piracicaba, 1999. **Anais**. Piracicaba: ESALQ, 1999. p.314.
- BRADY, N.C. **Natureza e propriedade dos solos**. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos. 1989. 898 p.
- BROWN, R.H.; BLASER, R.E. Leaf area index in pasture growth. **Herbage Abstract**, v.38, p.1-9, 1968.
- CAMPBELL, W.H. Nitrate reductase structure, function and regulation: bridging the gap between biochemistry and physiology. **Annual Reviews of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.50, p.277-303, 1999.
- 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.
- CHAPMAN, D.F.; LAMAIRE, G. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 17., New Zealand, 1993. **Proceedings**. New Zealand, 1993. p.95-104.
- 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.
- CORRÊA, B.D. Doses de nitrogênio e magnésio afetando aspectos produtivos e bioquímicos dos capins Colômbio, Tanzânia-1 e Vencedor. Piracicaba, 1996. 76p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

- CORRÊA, B.D.; SANTOS, A.R.; MATTOS, W.T. et al. Rendimento de matéria seca, concentração de nitrogênio e perfilhamento do capim-Vencedor (*Panicum maximum*) sob doses de nitrogênio. (compact disc). In: CONGRESSO LATIOAMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13, Águas de Lindóia, 1996. **Resumos**. Águas de Lindóia: SBCS, 1996.
- CORRÊA, L.A.; FREITAS, A.R. Adubação fosfatada na produção e teor de fósforo em quatro cultivares de *Panicum maximum*. I - Efeitos de cortes. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34., Juiz de Fora, 1997. **Anais**. Juiz de Fora: SBZ, 1997. p.157-159.
- CORSI, M. Effects of nitrogen rates and harvesting intervals on dry matter production, tillering and quality of the tropical grass *Panicum maximum* Jacq. Ames, 1984. 125p. Thesis (Ph. D) - The Ohio State University.
- 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.
- CRESTANA, S.; GUIMARÃES, M.S.; JORGE, L.A.C. et al. Avaliação da distribuição de raízes no solo auxiliada por processamento de imagens digitais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.365-371, 1994.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte. **Mombaça**. Campo Grande: Embrapa, CNPGC, 1993. 5p.
- EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas**. São Paulo: EDUSP, 1975. 341p.

- FAVORETTO, V. Adaptações de plantas forrageiras ao pastejo. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 2., Jaboticabal, 1993. **Anais**. Jaboticabal: FUNEP, 1993. p.31-42.
- FEIL, B.; GARIBAY, S.V.; AMMON, H.U. et al. Maize production in a grass mulch system - seasonal patterns of indicators of the nitrogen status of maize. **European Journal of Agronomy**, v.7, p.171-179, 1997.
- FERNANDES, M.S.; ROSSIELLO, O.P. Mineral nitrogen in plant physiology and plant nutrition. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.14, p.111-148, 1995.
- FERRAGINE, M.D.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.
- FERRAGINE, M.D.C.; MONTEIRO, F.A.; SILVA, S.C. Leaf appearance rate in *Brachiaria decumbens* grow in nitrogen and potassium rates. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., São Pedro, 2001. **Proceedings**. Piracicaba: FEALQ, 2001. p.69-70.
- FERRARI NETO, J.; FAQUIN, V.; VALE, F.R. do. et al. Limitações nutricionais do colônio ( *Panicum maximum*, Jacq.) e da braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.), em amostras de um latossolo do noroeste do Paraná: I. produção de matéria seca e perfilhamento. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.23, p.538 - 551, 1994.
- FITTER, A. Characteristics and functions of root systems. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Ed.) **Plant roots: the ridden half**. New York: Marcel Dekker, 1996. cap. 1, p.1 - 20.

- 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.
- FRANÇA, A.F.S.; HAAG, H.P. Nutrição mineral de gramíneas tropicais. I. Carências nutricionais de capim-Tobiatã (*Panicum maximum* Jacq.). **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.62, p.83-95, 1985.
- GOMIDE, J.A. Morfogênese e análise de crescimento de gramíneas tropicais. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO. Viçosa, 1997. **Anais**. Viçosa, 1997. p.411-430.
- HACKER, J.B.; JANK, L. Breeding tropical and subtropical grasses. In: CHERNEY, J.H.; CHERNEY, D.J.R. (Ed.) **Grass for dairy cattle**. Cambridge: CAB Publishing, 1998. cap. 3, p.49 - 71.
- 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 Publ., 1998. cap. 7, p.161 - 192.

- LANGER, R.H.M. Tillering in herbage grasses. **Herbage Abstracts**, v.33, p.141-148, 1963.
- LANGER, R.H.M. **How grasses grow**. 2. ed. London: Edward Arnold, 1979. 65p.
- LITTEL, 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.
- MACHADO, A.O.; CECATO, U.; MIRA, R.T. et al. Avaliação de genótipos de *Panicum maximum* (Jacq.) em duas alturas de corte. In; REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA,34., Juiz de Fora, 1997. **Anais**. Juiz de Fora: SBZ, 1997. p.219-221.
- MAIZLISH, N.A.; FRITTON, D.D.; KENDALL, W.A. Root morphology and early development of maize at varying levels of nitrogen. **Agronomy Journal**, v.72, p.25-31, 1980.
- 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.

- MARTIM, R.A. Doses de nitrogênio e de potássio para a produção e composição dos capins Coastcross-1 e Tifton 85 em um Latossolo Vermelho-Amarelo. Piracicaba, 1997. 109p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- MATTOS, H.B.; WERNER, J.C. Efeitos de nitrogênio mineral e de leguminosas sobre a produção de capim-Colonião (*Panicum maximum* Jacq.). **Boletim de Indústria Animal**, v.36, p.147-156, 1979.
- MATTOS, W.T. Diagnose nutricional de potássio em duas espécies de braquiárias. Piracicaba, 1997. 74p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- MATTOS, W.T. Avaliação de pastagem de capim-braquiária em degradação e sua recuperação com suprimento de nitrogênio e enxofre. Piracicaba, 2001. 97p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- MAYOL, R.M. Nutrição mineral e desenvolvimento de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.), cultivados em soluções nutritivas com diferentes concentrações de ferro. Piracicaba, 1996. 114p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- MENGEL, K; KIRKBY, E. **Principles of plant nutrition**. 4.ed. Bern: International Potash Institute, 1987. 687p.
- MINOLTA CAMARA Co. **Manual for chlorophyll meter Spad-502**. Osaka, 1989. 22p.
- 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. Adubação em áreas de *Cynodon* para pastejo e conservação. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 15., Piracicaba, 1998. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1998. p.173-202.
- MONTEIRO, F.A.; WERNER, J.C. Reciclagem de nutrientes em pastagens. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FORRAGEIRAS, Campinas, 1994. **Anais**. Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 1994. p.41-65.
- MONTEIRO, F.A.; WERNER, J.C. Reciclagem de nutrientes nas pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 14., Piracicaba, 1997. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1997. p.55 - 84.
- MONTEIRO, F.A.; LIMA, S.A.A.; WERNER, J.C. et al. Adubação potássica em leguminosas e em capim-Colonião (*Panicum maximum* Jacq.) adubado com níveis de nitrogênio ou consorciado com leguminosas. **Boletim de Indústria Animal**, v.37, p.127-148, 1980.
- MULDER, E.G.; BOXMA, R.; VAN VENN, W.L. The effect of molybdenum and nitrogen deficiencies on nitrate reduction in plant tissue. **Plant and Soil**, v.10, p. 335-355, 1959.
- 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.
- PACHECO, A.B.; NOGUEIRA, A.; PAULA, M.B. et al. Efeito de diferentes níveis de nitrogênio e fósforo na produção de matéria seca de três cultivares de gramíneas forrageiras. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 22., Manaus, 1996. **Resumos**. Manaus: Ed. da Universidade do Amazonas, 1996. p.391-392.



- 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.
- PIEKIELEK, W.P.; FOX, R.H. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. **Agronomy Journal**, v.84, p.59-65, 1992.
- PINTO, J.C.; GOMIDE, J.A.; MAESTRI, M. et al. Crescimento de folhas de gramíneas tropicais, cultivadas em vasos, com duas doses de nitrogênio. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.23, p.327-332, 1994.
- RAIJ, B. van **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p.
- ROBINSON, D.; RORISON, I.H. A quantitative analysis of the relationships between root distribution and nitrogen uptake from soil by two grass species. **Journal of Soil Science**, v.36, p.71-85, 1985.
- ROSSIELLO, R.O.P.; ARAÚJO, A.P.; MANZATTO, C.V. et al. Comparação dos métodos fotoelétrico e da interseção na determinação de área, comprimento e raio médio radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.30, p.633-638, 1995.
- 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.
- SANTOS, A.R.; CORRÊA, B.D.; MONTEIRO, F.A. Efeitos de níveis de nitrogênio sobre o rendimento de matéria seca, teor de nitrogênio e perfilhamento em *Panicum maximum* cultivar Vencedor. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. **Resumos**. Viçosa: SBCS; UFV, 1995. p.741-742.

- SANTOS JUNIOR, J.D.G.; KANNO, T.; MACEDO, M.C.M. et al. Mineral acquisition and utilization strategy of three tropical forages at different phosphorus and nitrogen supply. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., São Pedro, 2001. **Proceedings**. Piracicaba: FEALQ, 2001. p.188-189.
- 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.
- SCHARF, P.C. Soil and plant tests to predict optimum nitrogen rates for corn. **Journal of Plant Nutrition**, v.24, p.805-826, 2001.
- SCHIAVUZZO, P.F.; LAVRES JUNIOR, J.; MONTEIRO, F.A. Respostas fisiológicas do capim-Marandu ao suprimento de nitrogênio. In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 7., Piracicaba, 1999. **Anais**. Piracicaba: ESALQ, 1999. p.313.
- SILSBURY, J.H. Leaf growth in pasture grasses. **Tropical Grassland**, v.4, p.17-36, 1970.
- SILVA, A.A.; MATTOS, W.T.; MONTEIRO, F.A. Respostas de capim-Tanzânia-1 (*Panicum maximum* Jacq.) a níveis de potássio em solução nutritiva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995, **Resumos**. Viçosa: SBCS, 1995. p.1046-1047.
- SINGH, K.A.; RAI, P. Response of forage *Panicum* species to nitrogen fertilization on semi-arid lands. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v.54, p.382 - 386, 1984.

- SKINNER, R.H.; NELSON, C.J. Estimation of potential tiller production and site usage during tall fescue canopy development. **Annals of Botany**, v.70, p.493-499, 1992.
- SKINNER, R.H.; NELSON, C.J. Role of leaf appearance rate and coleoptile tiller in regulating tiller production. **Crop Science**, v.34, p.71-75, 1994.
- SONG, M.Z.; MAO, S.C.; YANG, H.Y. Effect of potassium on dry matter in cotton and physiological activity. **Acta Agriculturae Universitatis Henanensis**, v.30, p.191-194, 1996.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Sunderland: Sinauer Associates, 1998. 792 p.
- TURNER, F.T.; JUND, M.F. Chlorophyll meter to predict nitrogen requirement for semi-dwarf rice. **Agronomy Journal**, v.83, p.926-928, 1991.
- UMAR, S.; BANSAL, S.K. Potassium requirement of mustard (*Brassica juncea* L.) under moisture stress conditions. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.22, p.130-135, 1995.
- VICENTE-CHANDLER, J; PEARSON, R.W.; ABRUÑA, F. et al. Potassium fertilization of intensive managed grasses under humid tropical conditions. **Agronomy Journal**, v.54, p.450-453, 1962.
- VOORHEES, W.B.; CARLSON, V.A.; HALLAUER, E.A. Root length measurement with a computer-controlled digital scanning microdensitometer. **Agronomy Journal**, v.72, p.847-850, 1980.
- WERNER, J.C. **Adubação de pastagens**. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1986. 49p. (IZ. Boletim Técnico, 18).