

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Características produtivas, nutricionais e metabólicas do capim-  
marandu submetido a doses de nitrogênio e magnésio**

**Tiago Barreto Garcez**

**Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Ciências. Área de concentração: Solos e  
Nutrição de Plantas**

**Piracicaba  
2009**

**Tiago Barreto Garcez  
Engenheiro Agrônomo**

**Características produtivas, nutricionais e metabólicas do capim-marandu  
submetido a doses de nitrogênio e magnésio**

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

**Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Ciências. Área de concentração: Solos e  
Nutrição de Plantas**

**Piracicaba  
2009**

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

Garcez, Tiago Barreto

Características produtivas, nutricionais e metabólicas do capim-marandu submetido a doses de nitrogênio e magnésio / Tiago Barreto Garcez. - - Piracicaba, 2009.  
79 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2009.  
Bibliografia.

1. Capim marandu 2. Diagnose foliar 3. Gramíneas forrageiras 4. Magnésio 5. Nitrogênio  
6. Nutrição vegetal 7. Sistema radicular I. Título

CDD 633.2  
G215c

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

Aos meus pais **João e Célia**,  
pelo imenso amor transmitido durante toda a minha vida.  
Vocês são exemplos do amor de Deus.

Aos meus **Avôs e Avós**,  
que em todos os momentos me mostraram o sentido da vida,  
sendo exemplos de perseverança e humildade.

Às minhas irmãs **Carol e Flávia**,  
que mesmo estando tão longe sempre estiveram tão perto.  
Amo vocês.

À minha antes namorada e noiva, agora esposa, **Juliane**,  
você me ensinou a amar, mostrando que o amor está além da distância,  
do tempo e das dificuldades.

A todos os **Tios, Tias, Primos e Primas**  
que sempre estiveram comigo durante esta caminhada.  
Agradeço por todos vocês fazerem parte de minha vida.

**DEDICO**



## AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre me guiar e me proporcionar condição e motivação para seguir em frente, trilhando o meu caminho;

Ao Professor Francisco Antonio Monteiro, pela simpatia e amizade demonstradas desde a primeira vez em que nos conhecemos. Muito obrigado por ter me tornado um profissional mais dedicado e apaixonado pela profissão;

A todos os professores da pós-graduação, que mesmo às vezes não tendo muito contato, me proporcionaram exemplos e ensinamentos que pretendo levar para minha vida;

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, bem como ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade de realização do curso de Mestrado;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos, dando a condição para realização do curso de Mestrado;

Aos professores Reinaldo B. Cantarutti e Dilermando M. da Fonseca, da Universidade Federal de Viçosa, orientadores na graduação. Vocês contribuíram muito para o meu desenvolvimento profissional e pessoal;

Às funcionárias do Departamento de Ciência do Solo: Edinéia C. S. Mondoni, Lúcia H. S. P. Forti, Lurdes A. Dário de González, Nivanda M. Moura Ruiz e Sueli M. A. C. Bovi, pela ajuda, atenção e carinho;

Aos colegas de pós-graduação, por toda ajuda, companheirismo, partilha dos conhecimentos e horas de descontração. Meus sinceros agradecimentos a: Adriana Guirado Artur, Adna Dutra, Ana Paula Neto, Cristiane Prezotto Silveira, Elisângela Dupas, Emídio Cantídio Almeida de Oliveira, Fabiana Schmidt, Fabiano Daniel de Bona, Geraldo José da Silva Junior, Jorge Nunes Portela, Kelly Justin da Silva, Lucíola Ellen Calió Martins, Marcio Mahmoud Megda, Roberta Corrêa Nogueirol e Salim Jacaúna de Souza Junior;

Ao grupo de estagiários da Nutrição Mineral de Plantas, em especial a Arlete, Carolina, Dayane, Pedro e Rafael, pelo apoio e amizade durante a condução do experimento;

Às pessoas que contribuíram, direta ou indiretamente, para realização desta dissertação.

**“Você pode levar um homem ao conhecimento,  
mas não pode fazê-lo pensar.”**

JERRI SHINNAMAN



## SUMÁRIO

RESUMO .....	11
ABSTRACT .....	12
1 INTRODUÇÃO .....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	15
2.1 Importância das pastagens .....	15
2.2 <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu .....	15
2.3 Nitrogênio .....	16
2.4 Nitrogênio em plantas forrageiras .....	17
2.5 Magnésio .....	20
2.6 Magnésio em plantas forrageiras .....	20
2.7 Interações nitrogênio x magnésio em plantas .....	22
2.8 Atividade da glutamina sintetase .....	23
Referências .....	23
3 PARTE AÉREA DO CAPIM-MARANDU: CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS, NUTRICIONAIS E METABÓLICAS .....	29
Resumo .....	29
Abstract .....	30
3.1 Introdução .....	31
3.2 Material e métodos .....	32
3.3 Resultados e discussão .....	35
3.4 Conclusões .....	53
Referências .....	53
4 SISTEMA RADICULAR DO CAPIM-MARANDU: CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS E NUTRICIONAIS .....	59
Resumo .....	59
Abstract .....	59
4.1 Introdução .....	60
4.2 Material e métodos .....	61
4.3 Resultados e discussão .....	64
4.4 Conclusões .....	75

Referências ..... 76

5 CONCLUSÕES GERAIS..... 79

## RESUMO

### **Características produtivas, nutricionais e metabólicas do capim-marandu submetido a doses de nitrogênio e magnésio**

A variação na disponibilidade de nitrogênio e magnésio pode alterar as características produtivas, nutricionais e metabólicas das plantas forrageiras. O objetivo foi de avaliar o efeito das combinações de doses de nitrogênio e de magnésio na produção da parte aérea e das raízes, nas concentrações dos nutrientes nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) e nas raízes, na atividade da glutamina sintetase, nas concentrações das formas inorgânicas de nitrogênio e na relação nitrogênio:magnésio nas LR do capim-marandu. O experimento foi realizado em casa de vegetação, em Piracicaba – SP, com a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Foram estudadas cinco doses de nitrogênio (2; 9; 16; 23 e 30 mmol L<sup>-1</sup>) e cinco doses de magnésio (0,05; 0,70; 1,35; 2,00 e 2,65 mmol L<sup>-1</sup>) em solução nutritiva, em esquema fatorial 5<sup>2</sup> fracionado, perfazendo treze combinações: 2/0,05; 2/1,35; 2/2,65; 9/0,70; 9/2,00; 16/0,05; 16/1,35; 16/2,65; 23/0,70; 23/2,00; 30/0,05; 30/1,35 e 30/2,65. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. As plantas tiveram dois períodos de crescimento, nos quais foram avaliadas as produções de massa seca, contados perfilhos e folhas, coletado material fresco para determinação da atividade da glutamina sintetase, determinada a área foliar e determinada as concentrações dos nutrientes e nitrato e amônio nas lâminas das folhas recém-expandidas. Após o segundo corte as raízes foram separadas da parte aérea sendo determinada a massa seca das raízes, o comprimento e superfície radiculares e as concentrações dos nutrientes nas raízes. As combinações de altas doses de nitrogênio e magnésio resultaram em alta produção de massa seca, número de folhas e perfilhos, área foliar, massa seca das raízes, e comprimento e superfície radicular do capim-marandu. As concentrações de nitrogênio (segundo corte) e cálcio (nos dois cortes) nas LR e a concentração de nitrogênio nas raízes aumentaram com as combinações de elevadas doses de nitrogênio e de magnésio. A concentração de potássio nas LR, nos dois cortes, e nas raízes da gramínea foi mais baixa quando se utilizaram combinações de elevadas doses de nitrogênio e magnésio. De forma isolada, o incremento nas doses de nitrogênio resultou em reduzidos comprimento e superfície específicos das raízes, mais alta concentração de nitrogênio nas LR e mais alta concentração de cálcio nas raízes e o incremento das doses de magnésio proporcionou pequenos comprimento e superfície específicos das raízes, mais alta concentração de magnésio nas LR e nas raízes e mais baixa concentração de cálcio nas raízes do capim. A concentração de nitrato nas folhas diagnósticas foi influenciada pelas combinações de doses de nitrogênio e magnésio enquanto a concentração de amônio aumentou com o incremento das doses de nitrogênio. A atividade da glutamina sintetase foi mais baixa em altas doses de nitrogênio, nos dois crescimentos da gramínea. A relação de 6,3:1 entre as concentrações de nitrogênio e de magnésio nas LR correspondeu à máxima produção de massa seca no primeiro corte do capim.

Palavras-chave: *Brachiaria brizantha*; Folha diagnóstica; Glutamina sintetase; Nutriente; Parte aérea; Raiz; Solução nutritiva

## ABSTRACT

### **Productive, nutritional and metabolic characteristics of marandu palisadegrass grown with nitrogen and magnesium rates**

Productive, nutritional and metabolic characteristics of the forage plants may be changed by the nitrogen and magnesium availability. The objective was to study the effects of nitrogen and magnesium rates on marandu palisadegrass growth, by evaluating the shoot and root yield, leaf and root concentrations of nutrients and leaf concentration of inorganic forms of nitrogen, glutamine synthetase activity and nitrogen:magnesium ratio in recently expanded leaf laminae (RL). The experiment was carried out in a greenhouse at Piracicaba, State of São Paulo, Brazil, with the *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Five nitrogen rates (2, 9, 16, 23 and 30 mmol L<sup>-1</sup>) and five magnesium rates (0.05, 0.70, 1.35, 2.00 and 2.65 mmol L<sup>-1</sup>) were used in nutrient solutions, in a factorial 5<sup>2</sup> factorial, resulting in the following combinations: 2/0.05, 2/1.35, 2/2.65, 9/0.70, 9/2.00, 16/0.05, 16/1.35, 16/2.65, 23/0.70, 23/2.00, 30/0.05, 30/1.35 and 30/2.65. A randomized block design, with four replications was used. Plants had a growth and regrowth period. After the second harvest it was evaluated the dry mass yield, number of tillers and leaves, sampled fresh material to assay the glutamine synthetase activity, measured the leaf area, and determined the concentrations of nutrients, nitrate and ammonium in the recently expanded leaf laminae (diagnostic leaves). After the second harvest the roots were separated from the tops and was determined the root dry mass, total length and surface, specific length and surface, and concentrations of nutrients in such plant tissue. High nitrogen and magnesium rates resulted in high dry mass yield, leaf area, number of leaves and tillers, in both growth periods of the grass, as well as in roots dry mass, length and surface. Nitrogen (at the second harvest) and calcium (both harvests) concentrations in diagnostic leaves and nitrogen concentration in the roots was high when high rates of nitrogen were combined with high rates of magnesium. Diagnostic leaves, in the two grown periods, and roots sampled had low potassium concentrations in plants growth with high rates of both nitrogen and magnesium. Increases in nitrogen rates increased nitrogen concentration in the diagnostic leaves and calcium concentration in the roots, and decreased root specific length and surface. Increases in magnesium rates increased magnesium concentration in the diagnostic leaves and roots, but decreased root calcium concentration and root specific length and surface. Ammonium concentration was increased by nitrogen rates and nitrate concentration was higher under magnesium deficiency. Glutamine synthetase, determined at the two growth periods, decreased with increasing nitrogen rates. Maximum dry mass yield in the first harvest of the grass was found when the nitrogen and magnesium concentrations ratio was 6.3:1 in the diagnostic leaves.

Keywords: *Brachiaria brizantha*; Diagnostic leaf; Glutamine synthetase; Nutrient; Nutrient solution; Root; Shoot

## 1 INTRODUÇÃO

A maior parte do rebanho bovino brasileiro é manejado de forma extensiva, tendo como principal alimento as gramíneas forrageiras. O manejo praticado caracteriza-se por não respeitar a fisiologia da planta, sendo a não reposição de nutrientes ao ambiente produtivo o principal fator de degradação do pasto. Entretanto, antes da aplicação de adubos de forma aleatória, é necessário conhecer como os nutrientes afetam as respostas morfofisiológicas das plantas forrageiras.

O gênero *Brachiaria* vem se destacando no país por sua rusticidade e boa produtividade. A *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (capim-marandu) está entre as gramíneas mais cultivadas do Brasil, particularmente sendo uma alternativa para a substituição a *Brachiaria decumbens* (capim-braquiária) que é suscetível à cigarrinha das pastagens. Além disso, o capim-marandu tem maior eficiência de resposta à adubação nitrogenada em comparação ao capim-braquiária, por meio da produção de mais massa seca para mesma dose do nutriente. O conhecimento das exigências nutricionais dessa gramínea forrageira proporciona mais alta eficiência do sistema de produção.

O nitrogênio é o nutriente absorvido em maior quantidade pelo capim, sendo primordial para elevar a produtividade do pasto. Ele pode ser absorvido como nitrato e amônio e incorporado com auxílio das enzimas nitrato redutase, nitrito redutase, glutamina sintetase e glutamato sintase. Por outro lado, o magnésio é absorvido como cátion divalente e incorporado em compostos orgânicos ou ficando livre para atuar em reações do metabolismo da planta.

O nitrogênio e o magnésio estão diretamente ligados no crescimento do capim, assumindo importante papel em sua nutrição, por participarem diretamente do processo fotossintético, pois são constituintes da molécula de clorofila, além de participarem de outras funções fisiológicas e metabólicas (como ativação de enzimas e síntese protéica).

Com base na hipótese de que as doses de nitrogênio e as doses de magnésio podem afetar os atributos morfogenéticos, produtivos e nutricionais da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, objetivou-se estudar: a) combinações de doses de nitrogênio e

doses de magnésio na produção da parte aérea e das raízes do capim; b) avaliar as concentrações de nitrogênio, magnésio, cálcio, potássio, nitrato e amônio e a relação nitrogênio:magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas, para fins de diagnose foliar; c) avaliar as concentrações de nitrogênio, magnésio, cálcio e potássio nas raízes e d) determinar a atividade da enzima glutamina sintetase nas lâminas de folhas recém-expandidas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Importância das pastagens

As pastagens naturais ou cultivadas constituem a principal fonte de alimentação do rebanho bovino brasileiro. Em comparação ao Censo Agropecuário de 1996, em 2006 o rebanho bovino brasileiro aumentou em 12,1%. O maior rebanho bovino encontrava-se em Mato Grosso do Sul (20,4 milhões de cabeças), seguido por Minas Gerais (19,9 milhões) e Mato Grosso (19,8 milhões), entretanto o Pará registrou o maior crescimento (CENSO AGROPECUÁRIO, 2006).

A produção de bovinos de corte tem destacado o Brasil entre os maiores produtores de carne, sendo, em 2008, o líder da exportação de carne bovina no mundo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE - ABIEC, 2009). A sustentabilidade dessa produção está relacionada as pastagens por serem a forma mais econômica e prática de alimentação de bovinos. Com isso, torna-se prioridade aumentar a utilização dos pastos, com mais eficiente uso, via otimização do uso dos nutrientes.

### 2.2 *Brachiaria brizantha* cv. Marandu

A *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, conhecida como braquiarião, é uma espécie perene originária de uma região vulcânica da África, onde os solos geralmente apresentam boa fertilidade (BOGDAN, 1977). É descrita como planta cespitosa e muito robusta, e tem efetuado boa cobertura do solo, com alta produção de massa verde, alta produção de sementes viáveis e pleno domínio sobre plantas invasoras (SOARES FILHO, 1994), além de alta produção e volume de raízes, que proporcionam maior área ocupada, facilitando a absorção de água e nutrientes (KANNO et al., 1999). O metabolismo fisiológico C<sub>4</sub> confere a essas plantas alta eficiência no uso da radiação solar, nutrientes e água (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Essa gramínea forrageira foi fornecida para a Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande, MS, tendo sido incluída no processo de avaliação de plantas

forrageiras. Após anos de estudo e avaliações foi lançado em 1984 como cultivar alternativo para a diversificação das áreas de pastagens (NUNES; BOOCK; PENTEADO, 1985). A sua grande representatividade nas pastagens cultivadas está relacionada à substituição das pastagens de *Brachiaria decumbens* devido à sua resistência à cigarrinha das pastagens e à excelente resposta quando recebe fertilizantes (SOARES FILHO, 1994).

### 2.3 Nitrogênio

A maior parte do nitrogênio existente na biosfera não se encontra diretamente acessível às plantas. O nitrogênio molecular ( $N_2$ ), apesar de ser o gás mais abundante da atmosfera (78%), não pode ser utilizado pelas plantas para a construção de suas biomoléculas por ser uma molécula estável e pouco reativa. As principais fontes de nitrogênio no solo para as plantas são: os materiais de origem vegetal e animal (matéria orgânica), fertilizantes industriais, sais de amônio e nitrato trazidos da atmosfera pelas chuvas e a fixação biológica de nitrogênio (TAIZ; ZEIGER, 2004).

O nitrato e o amônio são as formas inorgânicas de nitrogênio absorvidas pelas plantas superiores, e a maior absorção de uma forma em relação à outra é acompanhada por variações de pH do meio (MARSCHNER, 1995). A absorção de nitrato é ativa e ocorre contra o potencial eletroquímico. Para manter a eletroneutralidade na planta, a absorção é regulada pela entrada de cátions ( $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ) associada à entrada de prótons. Nesse processo, a excreção de ânions ( $OH^-$  ou  $HCO_3^-$ ) aumenta o pH externo, sendo movida pelo gradiente de prótons criado pela célula ao absorver o nitrato. O nitrato absorvido pode permanecer no sistema radicular ou ser translocado para a parte aérea, e em ambos os locais, o nitrato pode ser armazenado no vacúolo ou ser reduzido pela nitrato redutase e nitrito redutase para ser assimilado via sistema glutamina sintetase/glutamato sintase (GS/GOGAT). O amônio é absorvido pelas células das raízes por processo ativo, acompanhado pela extrusão de prótons, o que diminui o pH externo. O amônio absorvido é assimilado via sistema GS/GOGAT, uma vez que o amônio não pode ser armazenado, pois pode resultar em intoxicação das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

O nitrogênio é constituinte indispensável de componentes orgânicos da planta, como: aminoácidos, proteínas, bases nitrogenadas, ácidos nucleicos e componentes do metabolismo secundário como os alcalóides (MENGEL; KIRKBY, 2001).

A deficiência de nitrogênio rapidamente inibe o crescimento vegetal, ocasionando primeiro clorose das folhas mais velhas. Folhas jovens podem não mostrar inicialmente os sintomas, pois o nitrogênio é mobilizado das folhas mais velhas para as mais novas. Assim, plantas deficientes em nitrogênio podem ter folhas superiores verde-clara e folhas inferiores amarelas ou castanhas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

## 2.4 Nitrogênio em plantas forrageiras

O nitrogênio é extremamente importante para a produtividade de gramíneas forrageiras, pois é responsável por características como o tamanho das folhas e dos colmos, e aparecimento e desenvolvimento dos perfilhos, fatores que estão diretamente relacionados à produção de massa seca pela planta forrageira (CORSI, 1984; WERNER, 1986).

Santos Junior e Monteiro (2003), avaliando cinco doses de nitrogênio (2; 8; 15; 21 e 27 mmol L<sup>-1</sup>) e idades de crescimento (21; 28; 35; 42; 49 e 56 dias após a emergência) no capim-marandu, constataram que doses de nitrogênio de 18,36 a 21,71 mmol L<sup>-1</sup>, na solução nutritiva, maximizaram a produção de massa seca da parte aérea do capim. Silveira e Monteiro (2007), combinando cinco doses de nitrogênio (2; 9; 16; 23 e 30 mmol L<sup>-1</sup>) com cinco doses de cálcio (0,5; 1,75; 3,0; 4,25 e 5,5 mmol L<sup>-1</sup>) para o primeiro crescimento do *Panicum maximum* cv. Tanzânia, constataram que a dose de nitrogênio influenciou a produção de massa seca do capim, sendo a dose de 25,46 mmol L<sup>-1</sup> que maximizou a produção.

Lavres Junior et al. (2004) com *Panicum maximum* cv. Aruana, Silveira e Monteiro (2007) utilizando capim-tanzânia e Batista e Monteiro (2006) com capim-marandu, observaram que para aumentar o número de folhas dos capins era preciso fornecer doses de nitrogênio entre 24,34 e 25,60 mmol L<sup>-1</sup> no primeiro crescimento e 23,93 a 27,07 mmol L<sup>-1</sup> no segundo crescimento na solução nutritiva. O que comprova o papel determinante do nitrogênio na produção de folhas com conseqüente aumento na

produção de massa seca do capim (RUGGIERI; FAVORETTO; MALHEIROS, 1994; LAVRES JUNIOR; MONTEIRO, 2002).

Como demonstrado por Colozza et al. (2000), Lavres Junior e Monteiro (2003), Fagundes et al. (2006) e Silveira e Monteiro (2007), o aumento na disponibilidade de nitrogênio para os capins proporciona, também, aumento do número de perfilhos nas plantas. Nabinger e Medeiros (1995) relataram que a disponibilidade de nitrogênio controla os processos de crescimento e desenvolvimento da planta, devido à maior rapidez de formação das gemas axilares e de iniciação dos perfilhos correspondentes. Entretanto, essa iniciação só se manifesta enquanto o índice de área foliar não for maior que um valor crítico, no qual altera a quantidade de luz que atinge as gemas mais tardias.

Além do número de folhas, é necessário o conhecimento do seu tamanho e espessura, dado pela área foliar da gramínea. Santos Junior e Monteiro (2003) constataram que as doses de nitrogênio necessárias para a maximização da área foliar no capim-marandu variaram de 19,36 a 21,14 mmol L<sup>-1</sup>. Lavres Junior e Monteiro (2003) avaliaram os efeitos das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na área foliar do *Panicum maximum* cv. Mombaça e verificaram a máxima área foliar da gramínea no intervalo das doses de nitrogênio de 24 a 33 mmol L<sup>-1</sup>.

Manarin e Monteiro (2002), trabalhando com capim-mombaça, também constataram aumento da área foliar com o aumento da disponibilidade de nitrogênio na solução nutritiva. Chapman e Lemaire (1993) apontaram que o nitrogênio influenciou na alongação foliar, resultando em maior área foliar da gramínea.

A faixa de suficiência do nutriente nas folhas diagnósticas do capim tem sido apontada como a que melhor define o estado nutricional dessas plantas (BATAGLIA, 1991), e este critério caracteriza os nutrientes individualmente (MONTEIRO, 2005). A importância da faixa de suficiência do nutriente nas folhas diagnósticas é que a partir dela pode-se desenvolver métodos mais precisos para diagnose foliar e posterior recomendação de adubação para gramíneas forrageiras.

Lavres Junior e Monteiro (2006) observaram, em experimento com capim-aruaçu submetido a doses de nitrogênio, que a concentração de nitrogênio nas folhas diagnósticas dessa gramínea variou de 14,42 a 26,93 g kg<sup>-1</sup> no primeiro corte e de

16,40 a 27,15 g kg<sup>-1</sup> no segundo corte do capim. Monteiro (2005), compilando resultados de vários trabalhos, propôs faixas de suficiência para os macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio para o capim-braquiária, o capim-marandu, o capim-mombaça e o capim-tanzânia. Para o capim-marandu, a faixa de suficiência em nitrogênio seria de 19 a 23 g kg<sup>-1</sup> nas folhas diagnósticas.

Em estudo com doses de nitrogênio e de enxofre na recuperação de pasto de capim-marandu, em Neossolo Quartzarênico, Oliveira et al. (2005) verificaram aumento da concentração de nitrogênio na parte aérea da planta à medida que aumentaram o fornecimento de nitrogênio. Resultados similares foram encontrados por Corrêa (1996) para três cultivares de *Panicum maximum*, Costa et al. (2005) para o capim-tanzânia e Batista e Monteiro (2007) para o capim-marandu.

Em relação ao crescimento das raízes, Marschner (1995) relatou que o suprimento de nutrientes altera fortemente o desenvolvimento das raízes, acrescentando que o efeito é mais marcante para o fornecimento de nitrogênio. Quando a planta se encontra em ambiente com baixa concentração de nitrogênio, ela aloca grande parte massa seca total nas raízes (HILL et al., 2006), o que ocasiona mudanças na forma do sistema radicular. A situação de mudança da morfologia é comum em plantas que estão em estresse por falta de nutrientes (SCHIPPERS; OLFF, 2000).

Corroborando os resultados apresentados anteriormente, Lavres Junior e Monteiro (2003), em estudo com capim-mombaça submetido a doses de nitrogênio e potássio, observaram que o nitrogênio foi o principal nutriente modulador das respostas para o atributo produtivo das raízes da gramínea. Batista e Monteiro (2006), constataram que em baixas doses de nitrogênio a superfície radicular do capim-marandu foi menor do que quando as plantas foram submetidas a altas doses de nitrogênio.

Segundo Fitter (1999) e Lavres Junior e Monteiro (2003), em condição de baixo fornecimento de nutriente a planta produz raízes muito finas, o que resulta em maior comprimento específico, reduzindo a massa seca e o volume de raízes do sistema.

## 2.5 Magnésio

O magnésio é abundante na natureza, principalmente, em minerais de rocha como dolomita, olivina, magnesita e serpentina. Encontra-se também na água do mar, em águas salinas subterrâneas e em leitos salinos. As plantas absorvem esse nutriente na forma do cátion bivalente  $Mg^{2+}$  (MENGEL; KIRKBY, 2001) e, de acordo com Marschner (1995), quando ocorre em baixa concentração, sua absorção poderá ser inibida competitivamente por outros cátions (potássio, cálcio e amônio) .

O magnésio é o elemento central do anel da molécula de clorofila, pigmento especializado na captação de energia luminosa (CASTRO; KLUGE; PERES, 2005), e está envolvido também no transporte de carboidratos, na síntese de DNA e RNA e ativação enzimática (MARSCHNER, 1995). Grande parte do magnésio presente nas plantas está envolvido na regulação do pH celular e no balanço catiônico, podendo ser acumulado no vacúolo celular para que a homeostase seja mantida. É elemento fundamental para a agregação de ribossomos onde ocorre a síntese de proteínas (MARSCHNER, 1995).

O sintoma característico da deficiência de magnésio é a clorose entre as nervuras das folhas, ocorrendo, primeiro, nas folhas mais velhas por causa da mobilidade do elemento. Esse padrão de clorose ocorre porque a clorofila nos feixes vasculares permanece inalterada por períodos mais longos do que a clorofila das células entre os feixes (TAIZ; ZEIGER, 2004). A clorose acontece devido à foto-oxidação dos constituintes das tilacóides por meio da produção de espécies reativas de oxigênio (CAKMAK; MARSCHNER, 1992). Se a deficiência for mais intensa as folhas podem tornar-se amarelas ou brancas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

## 2.6 Magnésio em plantas forrageiras

Pouco se sabe sobre o efeito do magnésio na produção das plantas forrageiras. Monteiro et al. (1995), ao trabalharem com omissões de macronutrientes em solução nutritiva, observaram aumento da produção de massa seca do capim-marandu de

aproximadamente 180%, quando compararam a omissão de magnésio à concentração 2,00 mmol L<sup>-1</sup> de magnésio na solução nutritiva.

Consolmagno Neto, Monteiro e Dechen (2007) trabalharam com combinações de potássio e magnésio em solução nutritiva e não encontraram resposta ao magnésio para produção de massa seca do capim-tanzânia. Rodrigues (2002) observou significância da interação doses de nitrogênio x doses de calcário para área foliar no primeiro corte do capim-braquiária recebendo doses elevadas de nitrogênio.

Meiri, Silk e Läuchli (1992), avaliando o crescimento de folhas de milho (*Zea mays*) com relação às doses de magnésio, ressaltaram a necessidade de altas concentrações do nutriente nas células em divisão, para resultar em maior expansão e crescimento foliar. Smith, Cornforth e Henderson (1985), ao trabalharem com azevém (*Lolium perenne*) submetido a doses de magnésio na solução nutritiva, observaram que a concentração de magnésio na planta aumentou com o incremento das doses de magnésio, além do aumento na produção de massa seca da gramínea.

Pereira (2001) observou que a concentração de magnésio de 4,2 g kg<sup>-1</sup> na folha diagnóstica foi suficiente para o capim-mombaça atingir 90% da produção máxima de massa seca.

Segundo Marschner (1995), a absorção, translocação e assimilação de cátions e ânions pelas plantas dependem da concentração do nutriente na solução e também da presença na solução de outros cátions e ânions. O efeito antagônico entre os cátions resulta na ocorrência de desequilíbrios entre as concentrações de cátions na planta, o que conduz a alterações no metabolismo, pois a soma total de cátions é pouco variável (MENGEL; KIRKBY, 2001). A maior disponibilidade de potássio aumenta sua concentração na planta e diminui as concentrações de cálcio e magnésio em quantidades equivalentes (MATTOS et al., 2002; PRIMAVESI, 2006). O uso de potássio em doses elevadas pode resultar na deficiência de magnésio (MARSCHNER, 1995), devido ao efeito antagônico existente entre esses cátions.

A pesquisa sobre o crescimento radicular de plantas forrageiras é escassa e, particularmente, quando se relaciona com o suprimento de magnésio. Monteiro e Consolmagno Neto (2008), em experimento com capim-tanzânia para avaliar combinações de doses de potássio com doses de magnésio, constataram que o

aumento na dose de magnésio resultou em incrementos na produção de massa seca de raízes, bem como no comprimento e na superfície radiculares.

## 2.7 Interação nitrogênio x magnésio em plantas

Corrêa (1996), trabalhando com três doses de nitrogênio (3, 15 e 27 mmol L<sup>-1</sup>) e duas de magnésio (0,2 e 2 mmol L<sup>-1</sup>) em três cultivares de *Panicum maximum* observou que o nitrogênio aumentou a produção de massa seca dos capins enquanto o magnésio, em sua menor dose, limitou a produção de massa seca do capim quando foram fornecidas doses elevadas de nitrogênio. Isto indica que para se obter produções elevadas, torna-se necessário fornecer maior quantidade de magnésio para o capim.

Choudhury e Khanif (2001) combinaram doses de nitrogênio e doses de magnésio para arroz (*Oryza sativa*) e observaram que o uso do fertilizante nitrogenado teve maior eficiência quando acompanhado da fertilização com magnésio. Mulder (1956), observou melhoria na eficiência de utilização do nitrogênio quando combinado com magnésio em plantas de trigo (*Triticum vulgare*).

Para maior crescimento do capim é necessária a maximização da fotossíntese, que ocorre por meio da ativação da enzima ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase (rubisco). A luz induz a entrada de prótons nas membranas das tilacóides e em contrabalanço a saída de magnésio para o estroma, sendo que a mudança na concentração de magnésio no estroma resulta na ativação dessa enzima (MARSCHNER, 1995). Devido aos mecanismos concentradores de CO<sub>2</sub>, que operam em gramíneas (C<sub>4</sub>), a concentração de CO<sub>2</sub> nos sítios de carboxilação em cloroplastos C<sub>4</sub> é frequentemente saturadora da atividade da rubisco. Como resultado, as plantas com metabolismo C<sub>4</sub> necessitam menos rubisco do que as de metabolismo C<sub>3</sub> para alcançar uma certa taxa de fotossíntese e exigem menos nitrogênio para crescer (GHANNOUM et al., 2000).

Cakmak e Marschner (1992) relataram que quando a planta é submetida a elevada intensidade de luz e há estresse por deficiência de magnésio, a fotorespiração acontece mais intensamente. Medici et al. (2004) relataram que a planta possui diversos mecanismos para evitar a acumulação de ROS (espécies reativas de oxigênio), ao

evitar a absorção de excesso de nitrogênio, por meio da defesa auxiliar com enzimas e dos antioxidantes ascorbato e glutathione (CAKMAK; MARSCHNER, 1992).

## 2.8 Atividade da glutamina sintetase

A glutamina sintetase combina glutamato e amônio para formar a glutamina. A reação necessita da hidrólise da molécula de ATP e envolve cátions bivalentes, como o magnésio, manganês e cobalto, como cofator (TAIZ; ZEIGER, 2004). Em organismos vivos, três tipos de glutamina sintetase estão descritas na literatura (GSI, GSII e GSIII). Em plantas superiores foram descritas duas isoformas da GSII a GS<sub>1</sub> que está presente no citoplasma e a GS<sub>2</sub> nos plastídeos. A quantidade de uma ou outra isoforma depende do órgão em que ela se encontra na planta e também da espécie. Em plantas C<sub>4</sub> a quantidade da GS<sub>1</sub> em relação à GS<sub>2</sub> é muito maior que em plantas com metabolismo C<sub>3</sub> (BERNARD; HABASH, 2009).

Estudos com gramíneas forrageiras tem demonstrado que a atividade da glutamina sintetase nas raízes aumentou com alto fornecimento de amônio (ANDRADE, 1994). Segundo Corrêa (1996), combinando doses de nitrogênio com magnésio em três cultivares de *Panicum maximum*, o incremento da dose de nitrogênio resultou em diminuição na atividade da enzima nas lâminas das folhas dos capins.

## Referências

ANDRADE, S.R.M. **Efeito da proporção de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na composição da fração nitrogenada e na atividade das enzimas de redução e assimilação de nitrogênio em plantas de capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq.).** 1994. 49 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE. **Mercado mundial de carne bovina.** Disponível em: <<http://www.abiec.com.br>>. Acesso em: 01 out. 2009.

BATAGLIA, O.C. Análise química de plantas. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Ed.). **Micronutrientes na agricultura.** Jaboticabal: POTAFOS; CNPQ, 1991. p. 289-308.

BATISTA, K.; MONTEIRO, F.A. Respostas morfológicas e produtivas do capim-marandu adubado com doses combinadas de nitrogênio e enxofre. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, p. 1281-1288, 2006.

\_\_\_\_\_. Nitrogen and sulphur in Marandu grass: relationship between supply and concentration in leaf tissues. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, p. 44-51, 2007.

BERNARD, S.M.; HABASH, D.Z. The importance of cytosolic glutamine synthetase in nitrogen assimilation and recycling. **New Phytologist**, Oxford, v. 182, p. 608-620, 2009.

BOGDAN, A.V. **Tropical pasture and fodder plants**. London: Longman, 1977. 475p.

CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves. **Plant Physiology**, New York, v. 98, p. 1222-1227, 1992.

CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A.; PERES, L.E.P. **Manual de fisiologia vegetal: teoria e prática**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2005. 650 p.

CENSO AGROPECUÁRIO. [2006]. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 01 out. 2009.

CHAPMAN, D.F.; LEMAIRE, G. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 17., 1993, Palmerston North. **Proceedings...** Palmerston North: New Zealand Grassland Association, 1993. p. 95-104.

CHOUDHURY, T.M.A.; KHANIF, Y.M. Evaluation of effects of nitrogen and magnesium fertilization on rice yield and fertilizer nitrogen efficiency using <sup>15</sup>N tracer technique. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 24, p. 855-871, 2001.

COLOZZA, M.T.; KIEHL, J.C.; WERNER, J.C.; SCHAMMASS, E.A. Respostas de *Panicum maximum* cultivar Aruana a doses de nitrogênio. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 57, p. 21-32, 2000.

CONSOLMAGNO NETO, D.; MONTEIRO, F.A.; DECHEN, A.R. Características produtivas do capim-tanzânia cultivado com combinações de potássio e de magnésio. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 29, p. 459-467, 2007.

CORSI, M. **Effects of nitrogen rates and harvesting intervals on dry matter production, tillering and quality of the tropical grass *Panicum maximum* Jacq.** 1984. 125 p. Thesis (PhD) - The Ohio State University, Ames, 1984.

CORRÊA, B.D. **Doses de nitrogênio e de magnésio afetando aspectos produtivos e bioquímicos dos capins Colonião, Tanzânia-1 e Vencedor**. 1996. 76 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

COSTA, K.A.P.; FRANÇA, A.F.S.; OLIVEIRA, I.P.; MONTEIRO, F.A.; BARIGOSSO, J.A.F. Produção de massa seca, eficiência e recuperação do nitrogênio e enxofre pelo capim-tanzânia adubado com nitrogênio, potássio e enxofre. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, p. 598-603, 2005.

FAGUNDES, J.L.; FONSECA, D.M.; MORAIS, R.V.; MISTURA, C.; VITOR, C.M.T.; GOMIDE, J.A.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; SANTOS, M.E.R.; LAMBERTUCCI, D.M. Avaliação das características estruturais do capim-braquiária em pastagens adubadas com nitrogênio nas quatro estações do ano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, p. 30-37, 2006.

FITTER, A.H. Characteristics and functions of root systems. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Ed.). **Plant roots: the hidden half**. New York: Marcel Dekker, 1996. chap. 1, p. 1- 20.

GHANNOUM, O.; VON CAEMMERER, S.; ZISKA, L.H.; CONROY, J.P. The growth response of C4 plants to rising atmospheric CO<sub>2</sub> partial pressure: a reassessment. **Plant, Cell and Environment**, Logan, v. 33, p. 931-942, 2000.

HILL, J.O., SIMPSON, R.J., MOORE, A.D.; CHAPMAN, D.F. Morphology and response of roots of pasture species to phosphorus and nitrogen nutrition. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 286, p. 7-19, 2006.

KANNO, T.; MACEDO, M.C.M.; EUCLIDES, V.P.B.; BONO, J.A.; SANTOS JUNIOR, J.D.G.; ROCHA, M.C.; BERETTA, L.G.R. Root biomass of five tropical grass pastures under continuous grazing in Brazilian Savannas. **Grassland Science**, Nasushiobara, v. 45, p. 9-14, 1999.

LAVRES JUNIOR, J.; MONTEIRO, F.A. Combinações de doses de nitrogênio e potássio para a produção e nutrição do capim-mombaça. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 59, p. 101-114, 2002.

\_\_\_\_\_. Perfilhamento, área foliar e sistema radicular do capim-mombaça submetido a combinações de doses de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, p. 1068-1075, 2003.

\_\_\_\_\_. Diagnose nutricional de nitrogênio no capim-aruaana em condições controladas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 829-837, 2006.

LAVRES JUNIOR, J.; FERRAGINE, M.D.C.; GERDES, L.; RAPOSO, R.W.C.; COSTA, M.N.X.; MONTEIRO, F.A. Yield components and morphogenesis of Aruaana grass in response to nitrogen supply. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, p. 632-639, 2004.

MANARIN, C.A.; MONTEIRO, F.A. Nitrogênio na produção e diagnose foliar do capim-mombaça. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 59, p. 115-123, 2002.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2<sup>nd</sup> ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

MATTOS, W.T.; SANTOS, A.R.; ALMEIDA, A.A.S.; CARREIRO, B.D.C.; MONTEIRO, F.A. Aspectos produtivos e diagnose nutricional do capim-tanzânia submetido a doses de potássio. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 14, p. 37-44, 2002.

MEDICI, L.O.; AZEVEDO, R.A.; SMITH, R.J.; LEA, P.J. The influence of nitrogen supply on antioxidant enzymes in plant roots. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 31, p. 1-9, 2004.

MEIRI, A.; SILK, W.K.; LÄUCHLI, A. Growth and deposition of inorganic nutrient in developing leaves of *Zea mays* L. **Plant Physiology**, New York, v. 99, p. 972-978, 1992.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 5<sup>th</sup> ed. Dordrechth: Kluwer Academic, 2001. 849 p.

MONTEIRO, F.A. Amostragem de solo e de planta para fins de análises químicas: Métodos e interpretação de resultados. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 22., 2005, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2005. p. 151-179.

MONTEIRO, F.A.; CONSOLMAGNO NETO, D. Sistema radicular do capim-tanzânia adubado com potássio e magnésio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, p. 810-818, 2008.

MONTEIRO, F.A.; RAMOS, A.K.B.; CARVALHO, D.D., ABREU, J.B.R.; DAIUB, J.A.S.; SILVA, J.E.P.; NATALE, W. Cultivo de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em solução nutritiva com omissões de macronutrientes. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 52, p. 135-141, 1995.

MULDER, E.G. Nitrogen-magnesium relationships in crop plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 7, p. 341-376, 1956.

NABINGER, C.; MEDEIROS, R.B. Produção de sementes de *Panicum maximum*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 14., 1992, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1995. p. 59-128.

NUNES, S.G.; BOOCK, A.; PENTEADO, M.I.O. **Brachiaria brizantha** cv. Marandu. 2. ed. Campo Grande: Embrapa, CNPGC, 1985. 31 p. (Embrapa.NPCC. Documento 21).

OLIVEIRA, P.P.A.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, W.S.; CORSI, M. Fertilização com nitrogênio e enxofre na recuperação de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em Neossolo quartzarênico. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, p. 1121-1129, 2005.

PEREIRA, W.L.M. **Doses de potássio e de magnésio em solução nutritiva para o capim-mombaça**. 2001. 128p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A.; SILVA, A.G., CANTARELLA, H. Nutrientes na fitomassa de capim-marandu em função de fontes e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, p. 562-568, 2006.

RODRIGUES, R.C. **Calcário, nitrogênio e enxofre para a recuperação do capim-braquiária cultivado em solo proveniente de uma pastagem degradada**. 2002. 141 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2002.

RUGGIERI, A.C.; FAVORETTO, V.; MALHEIROS, E.B. Características de crescimento e produção de matéria seca da *Brachiaria brizantha* (Hochst) cv. Marandu em função de níveis de nitrogênio e regimes de corte. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 51, p. 149-155, 1994.

SANTOS JUNIOR, J.D.G.; MONTEIRO, F.A. Nutrição em nitrogênio do capim-marandu submetido a doses de nitrogênio e idades de crescimento. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 60, p. 139-146, 2003.

SCHIPPERS, P.; OLFF, H. Biomass partitioning, architecture and turnover of six herbaceous species from habitats with different nutrient supply. **Plant Ecology**, Dordrecht, v. 149, p. 219–231, 2000.

SILVEIRA, C.P.; MONTEIRO, F.A. Morfogênese e produção de biomassa do capim-tanzânia adubado com nitrogênio e cálcio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, p. 335-342, 2007.

SMITH, G.S.; CORNFORTH, I.S.; HENDERSON, H.V. Critical leaf concentration for deficiencies of nitrogen, potassium, phosphorus, sulphur and magnesium in perennial ryegrass. **New Phytologist**, Oxford, v. 101, p. 393-409, 1985.

SOARES FILHO, C. V. Recomendações de espécies e variedades de *Brachiaria* para diferentes condições. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 11., Piracicaba, 1994. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 25-48.

WERNER, J.C. **Adubação de pastagens**. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1986. 49p. (IZ. Boletim Técnico, 18).

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3<sup>rd</sup> ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2004. 102 p.



### 3 PARTE AÉREA DO CAPIM-MARANDU: CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS, NUTRICIONAIS E METABÓLICAS

#### Resumo

O aumento na produção de gramíneas tropicais pode estar relacionado ao fornecimento conjunto de nitrogênio e magnésio. Objetivou-se testar o efeito de doses de nitrogênio e magnésio no desenvolvimento do capim-marandu, por meio da avaliação da produção de massa seca, número de folhas e perfilhos, área foliar, concentrações dos nutrientes, formas inorgânicas de nitrogênio, atividade da glutamina sintetase e a relação nitrogênio:magnésio nas lâminas das folhas recém-expandidas (LR). O experimento foi realizado em casa de vegetação, em Piracicaba – SP, com a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Foram estudadas cinco doses de nitrogênio (2; 9; 16; 23 e 30 mmol L<sup>-1</sup>) e cinco doses de magnésio (0,05; 0,70; 1,35; 2,00 e 2,65 mmol L<sup>-1</sup>) em solução nutritiva, em esquema fatorial 5<sup>2</sup> fracionado, perfazendo as seguintes combinações: 2/0,05; 2/1,35; 2/2,65; 9/0,70; 9/2,00; 16/0,05; 16/1,35; 16/2,65; 23/0,70; 23/2,00; 30/0,05; 30/1,35 e 30/2,65. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. As plantas tiveram dois períodos de crescimento, nos quais foram avaliadas as produções de massa seca, contados perfilhos e folhas, coletado material fresco para determinação da atividade da glutamina sintetase, determinação da área foliar e determinação das concentrações de nitrogênio, magnésio, cálcio, potássio, nitrato e amônio nas lâminas das folhas recém-expandidas. As combinações de altas doses de nitrogênio e magnésio resultaram em alta produção de massa seca, dos números de folhas e perfilhos e da área foliar, nos dois crescimentos do capim-marandu. As concentrações de nitrogênio (segundo corte) e cálcio (nos dois cortes) nas folhas diagnósticas foram altas com as combinações de elevadas doses de nitrogênio e de magnésio. A concentração de potássio nas folhas diagnósticas amostradas nos dois cortes da gramínea foi mais baixa quando se utilizou combinação de elevadas doses de nitrogênio e de magnésio. De forma isolada, o incremento nas doses de nitrogênio e de magnésio resultou em mais alta concentração de nitrogênio e de magnésio nas folhas recém-expandidas do capim. A concentração de nitrato nas folhas diagnósticas aumentou em deficiência de magnésio e a de amônio foi elevada com o incremento das doses de nitrogênio. A atividade da glutamina sintetase diminuiu em altas doses de nitrogênio nos dois crescimentos do capim. A relação de 6,3:1 entre as concentrações de nitrogênio e de magnésio nas LR correspondeu à máxima produção de massa seca no primeiro crescimento do capim-marandu.

Palavras-chave: *Brachiaria brizantha*; Diagnose foliar; Folha; Glutamina sintetase; Macronutriente; Perfilho; Produção

## Abstract

The increase in tropical grasses yield may be related to supply of both nitrogen and magnesium. The objective was to study the effects of nitrogen and magnesium rates on marandu palisadegrass growth, by evaluating the above-ground dry mass yield, number of tillers and leaves, leaf area, leaf concentrations of nutrients, inorganic nitrogen forms, glutamine synthetase activity and nitrogen:magnesium ratio in recently expanded leaf laminae (RL). The experiment was carried out in a greenhouse at Piracicaba, State of São Paulo, Brazil, with the *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Five nitrogen rates (2, 9, 16, 23 and 30 mmol L<sup>-1</sup>) and five magnesium rates (0.05, 0.70, 1.35, 2.00 and 2.65 mmol L<sup>-1</sup>) were used in nutrient solutions, in a factorial 5<sup>2</sup> factorial, resulting in the following combinations: 2/0.05, 2/1.35, 2/2.65, 9/0.70, 9/2.00, 16/0.05, 16/1.35, 16/2.65, 23/0.70, 23/2.00, 30/0.05, 30/1.35 and 30/2.65. A randomized block design, with four replications was used. Plants had a growth and regrowth period, when it was evaluated the dry mass yield, counted the tillers and leaves, sampled fresh material to assay the glutamine synthetase activity, measured the leaf area, and determined the concentrations of nitrogen, magnesium, calcium, potassium, nitrate and ammonium in the recently expanded leaf laminae. High nitrogen and magnesium rates resulted in high dry mass yield and leaf area, as well as in the number of leaves and tillers in the two growth periods of the grass. Nitrogen (at the second harvest) and calcium (both harvests) concentrations in diagnostic leaves were high when high rates of nitrogen and magnesium were combined with high rates of magnesium. Diagnostic leaves sampled in the two growth periods had low potassium concentrations in plants grown with high rates of both nitrogen and magnesium. Increases in nitrogen and magnesium rates increased nitrogen and magnesium concentration in the diagnostic leaves, respectively. Ammonium concentration was increased by nitrogen rates and nitrate concentration was higher under magnesium deficiency. Glutamine synthetase, determined at the two growth periods, decreased with the increasing nitrogen rates. Maximum dry mass yield in the first harvest of the grass was found when the nitrogen and magnesium concentrations ratio was 6.3:1 in the diagnostic leaves.

Keywords: *Brachiaria brizantha*; Glutamine synthetase; Leaf; Macronutrient; Production; Tiller; Tissue analysis

### 3.1 Introdução

Atualmente, no estudo de pastagens são enfatizados os capins do gênero *Brachiaria* por apresentarem vantagens em relação a outros gêneros, como: fácil estabelecimento e boa produção de massa seca. O conhecimento das características produtivas, nutricionais e metabólicas dos capins, quando submetidos a doses de nutrientes, é extremamente importante para uso mais eficiente dos nutrientes e diagnose foliar das gramíneas.

O efeito do nitrogênio no aumento da produção de massa seca da parte aérea, no número de perfilhos e de folhas e na área foliar de plantas forrageiras tem sido destacado na literatura (COLOZZA et al., 2000; LAVRES JUNIOR; MONTEIRO, 2003; FAGUNDES et al., 2006; SILVEIRA; MONTEIRO, 2007). Entretanto, pouco se sabe sobre quanto o magnésio contribui para a maximização da produção do capim-marandu. Corrêa (1996), trabalhando com três doses de nitrogênio e duas de magnésio em três cultivares de *Panicum maximum*, observou que o incremento nas doses de nitrogênio resultou em aumento na produção de massa seca dos capins, sendo que o magnésio, em sua mais baixa dose, limitou a produção de massa seca do capim.

Choudhury e Khanif (2001), trabalhando com arroz (*Oryza sativa*) em Kedah, Malásia, onde os solos possuem baixa disponibilidade de magnésio, observaram que com o uso do fertilizante nitrogenado combinado com a fertilização com magnésio elevou a eficiência da adubação nitrogenada. A melhoria na eficiência da adubação nitrogenada ocorreu em razão do nitrogênio e o magnésio participarem da molécula de clorofila, nas reações metabólicas, na ativação enzimática e na produção de compostos da planta (CASTRO; KLUGE; PERES, 2005), sendo necessário o equilíbrio entre os dois nutrientes para manter o metabolismo normal da gramínea.

Como as plantas respondem de forma diferente ao suprimento combinado de nitrogênio e de magnésio, há a demanda por pesquisas para avaliar as características produtivas, nutricionais e metabólicas do capim. Assim, objetivou-se testar o suprimento combinado de nitrogênio e magnésio no desenvolvimento do capim-marandu, por meio da avaliação da produção de massa seca, número de folhas e perfilhos, área foliar, concentrações de nitrogênio, magnésio, cálcio, potássio, relação nitrogênio:magnésio,

concentrações de nitrato e amônio e a atividade da glutamina sintetase nas lâminas das folhas recém-expandidas do capim.

### 3.2 Material e métodos

O experimento foi realizado em casa de vegetação localizada em Piracicaba, Estado de São Paulo, estudando-se a gramínea forrageira *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Foram utilizados vasos plásticos com capacidade de 3,6 L, contendo quartzo moído como substrato, o qual foi lavado com água corrente e depois com água desionizada.

As sementes do capim foram germinadas em bandejas plásticas irrigadas com água desionizada e o transplante das mudas ocorreu 15 dias após a semeadura, quando as mudas apresentavam altura de aproximadamente 5 cm. Foram transplantadas 15 mudas para cada vaso, realizaram-se desbastes sucessivos até permanecerem cinco plantas por vaso. Nos primeiros cinco dias após o transplante as mudas foram mantidas em solução nutritiva diluída a 20% das combinações definitivas de doses de nitrogênio e magnésio. As soluções foram circuladas três vezes durante o dia, foram drenadas para recipientes de 1 L no início da noite, tiveram os volumes completados com água desionizada pela manhã e foram renovadas a cada 14 dias.

Foram estudadas cinco doses de nitrogênio (2; 9; 16; 23 e 30 mmol L<sup>-1</sup>) e cinco doses de magnésio (0,05; 0,70; 1,35; 2,00 e 2,65 mmol L<sup>-1</sup>) na solução nutritiva, em um esquema fatorial 5<sup>2</sup> fracionado, de acordo com Littell e Mott (1975), perfazendo o total de 13 combinações, a saber: 2/0,05; 2/1,35; 2/2,65; 9/0,70; 9/2,00; 16/0,05; 16/1,35; 16/2,65; 23/0,70; 23/2,00; 30/0,05; 30/1,35 e 30/2,65. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições.

A solução nutritiva foi preparada com base naquela completa de Hoagland e Arnon (1950), modificada para atender as doses de nitrogênio e doses de magnésio desse experimento (Tabela 1). Considerando os resultados apresentados por Abreu (1994), Monteiro et al. (1995) e Santos (2003) com gramíneas forrageiras, foi utilizada a proporção de 70%:30% de nitrato:amônio nas doses de nitrogênio. A concentração de potássio nas soluções nutritivas foi de 8 mmol L<sup>-1</sup>, em razão dos relatos de Ferragine

(1998), Pereira (2001), Mattos et al. (2002) e Consolmagnó Neto, Monteiro e Dechen (2007).

Tabela 3.1 – Volumes das soluções estoque empregados no preparo das soluções nutritivas para as doses de nitrogênio e magnésio

<b>Nitrogênio (mmol L<sup>-1</sup>)</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>
<b>Magnésio (mmol L<sup>-1</sup>)</b>	<b>0,05</b>	<b>1,35</b>	<b>2,65</b>	<b>0,7</b>	<b>2</b>	<b>0,05</b>	<b>1,35</b>	<b>2,65</b>	<b>0,7</b>	<b>2</b>	<b>0,05</b>	<b>1,35</b>	<b>2,65</b>
Solução estoque	Volume (mL L <sup>-1</sup> )												
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
MgCl <sub>2</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	0,05	1,35	2,65	0,7	2	0,05	1,35	2,65	0,7	2	0,05	1,35	2,65
KNO <sub>3</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	0,8	0,8	0,8	3,6	3,6	6,4	6,4	6,4	7	7	7	7	7
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	0,6	0,6	0,6	2,7	2,7	4,8	4,8	4,8	6,9	6,9	9	9	9
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	1,1	2,5	2,5	2,5
CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O (0,01 mol L <sup>-1</sup> )	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
CaCl <sub>2</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	3	3	3	3	3	3	3	3	1,9	1,9	0,5	0,5	0,5
KCl (1 mol L <sup>-1</sup> )	6,2	6,2	6,2	3,4	3,4	0,6	0,6	0,6	-	-	-	-	-
Micro *	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

\* Composição da solução estoque de micronutrientes (g L<sup>-1</sup>): H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> = 2,86; MnCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O = 1,81; ZnCl<sub>2</sub> = 0,10; CuCl<sub>2</sub> = 0,10 e H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>.4H<sub>2</sub>O = 0,02.

\*\* Dissolveram-se 26,1 g de EDTA dissódico em 286 mL de NaOH 1 mol L<sup>-1</sup>, foram adicionados 24,0 g de FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, sendo arejado por uma noite e tendo o seu volume completado a 1 L com água desionizada.

O capim foi cultivado em dois períodos de crescimento, sendo o primeiro período de 35 dias após o transplante das mudas e o segundo 28 dias após o primeiro corte das plantas (efetuado à altura de 5 cm do nível do substrato). O acompanhamento do aparecimento de folhas e perfilhos foi realizado nos dois períodos de crescimento, a cada 3 dias, sendo as folhas marcadas a caneta com tinta de secagem rápida e resistente a água e à umidade e os perfilhos com arames coloridos. Ao final de cada período de crescimento a parte aérea foi cortada e separada em folhas recém-expandidas (LR ou folhas diagnósticas), demais lâminas foliares (DF) e colmos+bainhas. A área foliar total do capim foi determinada com o auxílio do aparelho integrador de área foliar LI-COR®, modelo LI 3100. A parte aérea (LR, DF e colmos+bainhas) foi seca a 70°C e teve a massa seca total determinada pela soma das massas dessas três partes.

A atividade da glutamina sintetase foi determinada nas folhas diagnósticas coletadas aos 33 e 26 dias do primeiro e segundo crescimentos do capim, respectivamente. O método utilizado foi o de Elliott (1953), com modificações. Foi

coletado 0,5 g de material verde que foi macerado em nitrogênio líquido e logo após colocado 1,5 mL do tampão de extração (50 mmol L<sup>-1</sup> de tris-HCl a pH 7,5; 2 mmol L<sup>-1</sup> de mercaptoetanol e 1 mmol L<sup>-1</sup> de EDTA) e levado à centrífuga de 10.000 rpm por 10 min a 4°C. Foi retirado 0,3 mL do sobrenadante da amostra, sendo adicionado 0,5 mL de tris-HCl (200 mmol L<sup>-1</sup> a pH 7,5), 0,2 mL de ATP (50 mmol L<sup>-1</sup> a pH 7), 0,5 mL de ácido glutâmico (500 mmol L<sup>-1</sup> a pH 7,5), 0,1 mL de sulfato de magnésio (1 mol L<sup>-1</sup>), 0,3 mL de hidroxilamina (100 mmol L<sup>-1</sup>) e 0,1 mL de cisteína (100 mmol L<sup>-1</sup>), totalizando 2 mL. Para cada amostra foi utilizado um branco contendo a amostra e todos os reagentes menos o ATP e o ácido glutâmico, sendo o restante do volume completado com água desionizada. O branco e a amostra foram colocados em banho maria à 30°C por 30 min. A reação foi interrompida pela adição de 2 mL do reagente contendo FeCl<sub>3</sub> (10%), TCA (24%) e HCl (1 mol L<sup>-1</sup>) na proporção de 1:1:1. Em seguida a mistura foi centrifugada a 5000 rpm e no sobrenadante foi realizada a leitura a 540 nm em espectrofotômetro para detectar a formação de  $\gamma$ -glutamilhidroxamato, empregando-se a curva padrão previamente preparada. A atividade da glutamina foi calculada realizando-se a subtração amostra – branco e o resultado expresso em  $\gamma$ -glutamilhidroxamato/g de material fresco/hora.

Após os cortes as folhas diagnósticas foram moídas em moinho tipo Wiley e acondicionadas em sacos plásticos. Para a determinação da concentração de nitrogênio, as folhas recém-expandidas foram inicialmente submetidas à digestão sulfúrica enquanto para a determinação da concentração dos cátions magnésio, potássio e cálcio realizou-se a digestão nítrico-perclórica. A determinação do nitrogênio foi completada com destilação e titulação, enquanto para o magnésio e cálcio empregou-se a espectrofotometria de absorção atômica e para o potássio efetuou-se a leitura em fotômetro de chama (SARRUGE; HAAG, 1974).

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa “SAS” (SAS, 2000). Inicialmente utilizou-se o teste F e, nos casos de significância da interação doses de nitrogênio x doses de magnésio, efetuou-se a análise de regressão polinomial (superfície de resposta) por meio do procedimento RSREG. Nos casos em que a interação doses de nitrogênio x doses de magnésio não foi significativa, foi utilizada a análise de regressão com modelos de primeiro e segundo grau para as doses

individuais desses nutrientes, por meio do comando GLM. Adotou-se o nível de significância de 5% para todos os casos analisados.

### 3.3 Resultados e discussão

A interação doses de nitrogênio x doses de magnésio foi significativa para a produção de massa seca, nos dois cortes do capim-marandu (Figura 3.1). As doses que promoveram a máxima produção foram de 27,30 e 2,60 mmol L<sup>-1</sup>, nitrogênio e magnésio, respectivamente, para o primeiro corte (Figura 3.1a). No segundo corte (Figura 3.1b) esse máximo foi atingido com nitrogênio de 26,30 mmol L<sup>-1</sup>, enquanto a mais alta dose de magnésio foi insuficiente para maximizar a produção de massa seca do capim.

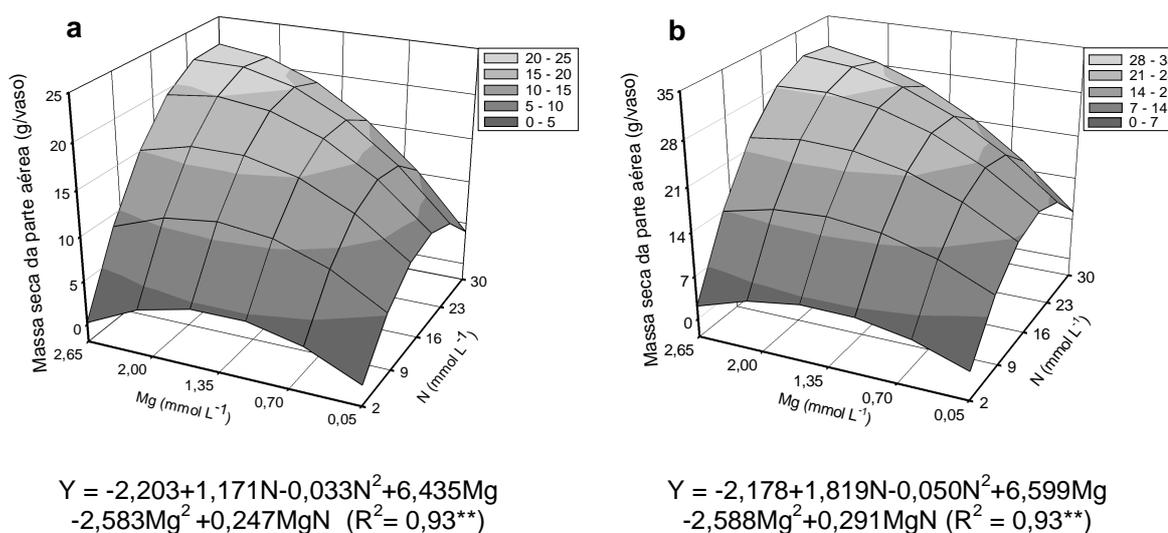


Figura 3.1 – Produção de massa seca da parte aérea no primeiro (a) e segundo (b) cortes do capim-marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio (N) com doses de magnésio (Mg)

Com o incremento da dose de magnésio de 0,70 mmol L<sup>-1</sup> para 2,65 mmol L<sup>-1</sup>, em presença de nitrogênio de 30 mmol L<sup>-1</sup>, a produção de massa seca aumentou, aproximadamente, 180% no primeiro corte e de 150% no segundo corte. O efeito positivo do magnésio na produção de massa seca do capim-marandu foi observado por Monteiro et al. (1995), em solução nutritiva, com aumento de 180% de produção do

tratamento com omissão de magnésio para o tratamento de solução completa com magnésio de 2,00 mmol L<sup>-1</sup>.

Santos Junior e Monteiro (2003), avaliando doses de nitrogênio e idades de crescimento do capim-marandu, constataram que doses de nitrogênio de 18,36 a 21,71 mmol L<sup>-1</sup> maximizaram a produção de massa seca da parte aérea da gramínea. Silveira e Monteiro (2007), trabalhando com doses de nitrogênio e cálcio no *Panicum maximum* cv. Tanzânia, constataram que no primeiro crescimento a dose de nitrogênio de 25,46 mmol L<sup>-1</sup> maximizou a produção de massa seca do capim. Estes resultados assemelham-se aos encontrados neste experimento (Figuras 3.1a e 3.1b), porém a dose de magnésio utilizada nos dois trabalhos citados foi de 2,00 mmol L<sup>-1</sup>, o que pode ter proporcionado menor produção de massa seca dos capins do que as que poderiam ser encontradas se fosse usada mais alta dose de magnésio.

Consolmagno Neto, Monteiro e Dechen (2007) trabalharam com combinações de doses de potássio e de magnésio, em solução nutritiva, e não encontraram resposta ao magnésio para produção de massa seca do capim-tanzânia, em dose de 21 mmol L<sup>-1</sup> de nitrogênio. Entretanto, Corrêa (1996), trabalhando com três doses de nitrogênio (3, 15 e 27 mmol L<sup>-1</sup>) e duas de magnésio (0,2 e 2 mmol L<sup>-1</sup>) em três cultivares de *Panicum maximum*, observou que as doses de nitrogênio incrementaram a produção de massa seca dos capins enquanto a dose de 0,2 mmol L<sup>-1</sup> de magnésio limitou a produção de massa seca da gramínea quando em presença de elevadas doses de nitrogênio, indicando que para elevadas produções torna-se necessário fornecer mais alta dose de magnésio.

Segundo Choudhury e Khanif (2001), ao combinarem doses de nitrogênio e de magnésio para a cultura do arroz, foi possível verificar que o uso do fertilizante nitrogenado teve maior eficiência quando combinado com a aplicação de magnésio resultando em aumento na produção de massa seca e grãos da gramínea.

Com relação ao número de folhas, a interação doses de nitrogênio x doses de magnésio foi significativa nos dois crescimentos do capim (Figura 3.2). As doses de nitrogênio e magnésio que promoveram o máximo aparecimento de folhas foram de 24,50 e 2,31 mmol L<sup>-1</sup>, para o primeiro crescimento (Figura 3.1a) e de 27,17 e 2,36 mmol L<sup>-1</sup>, para o segundo crescimento (Figura 3.1b).

Lavres Junior et al. (2004) com capim-aruaana, Batista e Monteiro (2006) para o capim-marandu e Silveira e Monteiro (2007) utilizando capim-tanzânia, observaram que o máximo aparecimento de folhas dos capins ocorreu quando foram fornecidas doses de nitrogênio entre 24,34 e 25,60 mmol L<sup>-1</sup> no primeiro crescimento e 23,93 a 27,07 mmol L<sup>-1</sup> no segundo crescimento.

Vale ressaltar que neste experimento a menor produção de folhas ocorreu quando um dos dois nutrientes estava em baixa concentração na solução nutritiva (Figuras 3.2a e 3.2b). Isto mostra que além do nitrogênio ter papel determinante na produção de folhas, como também mostrado por Ruggieri, Favoretto e Malheiros (1994), Lavres Junior e Monteiro (2002) e Batista e Monteiro (2006), a deficiência de magnésio evita a maximização da produção de folhas do capim.

O nitrogênio e o magnésio participam em conjunto do anel da molécula de clorofila, que são pigmentos especializados na captação da energia luminosa, com atuação destacada, principalmente, nas folhas de plantas C<sub>4</sub> (CASTRO; KLUGE; PERES, 2005). O equilíbrio estabelecido entre os dois nutrientes no capim maximizou a taxa fotossintética e aumentou a produção de folhas.

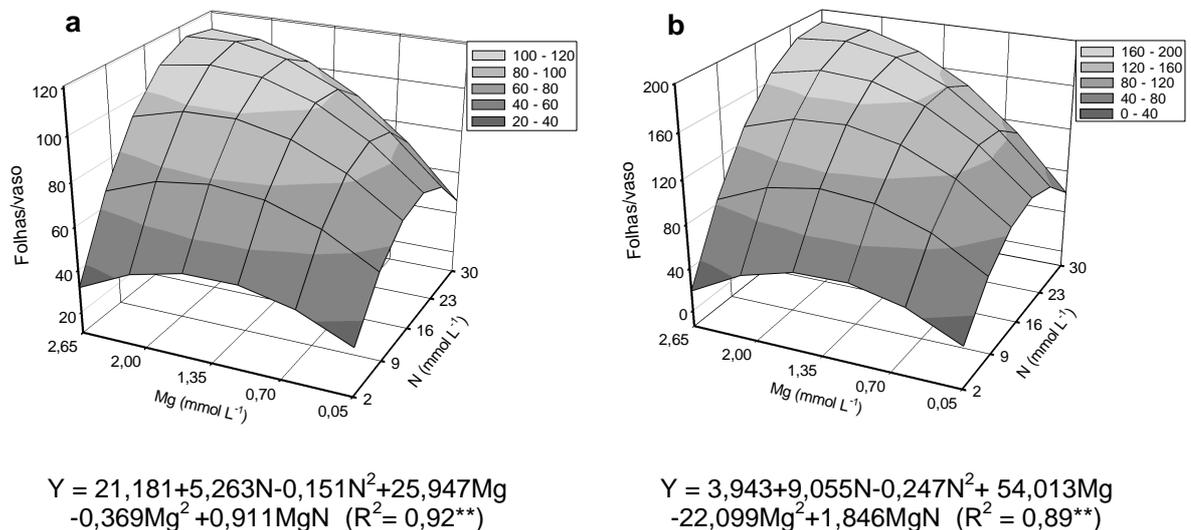


Figura 3.2 – Número de folhas no primeiro (a) e segundo (b) crescimentos do capim-marandu, em função de combinações das doses de nitrogênio (N) com doses de magnésio (Mg)

A resposta do capim em número de perfilhos seguiu o mesmo padrão daquele da massa seca, sendo a interação doses de nitrogênio x doses de magnésio significativa nos dois crescimentos da gramínea (Figura 3.3). As doses de nitrogênio e magnésio que promoveram o máximo número de perfilhos foram de 23,98 e 2,21 mmol L<sup>-1</sup>, para o primeiro crescimento (Figura 3.3a) e de 25,45 e 2,29 mmol L<sup>-1</sup>, para o segundo crescimento (Figura 3.3b). Essas doses assemelham-se às encontradas para os outros parâmetros produtivos no presente trabalho.

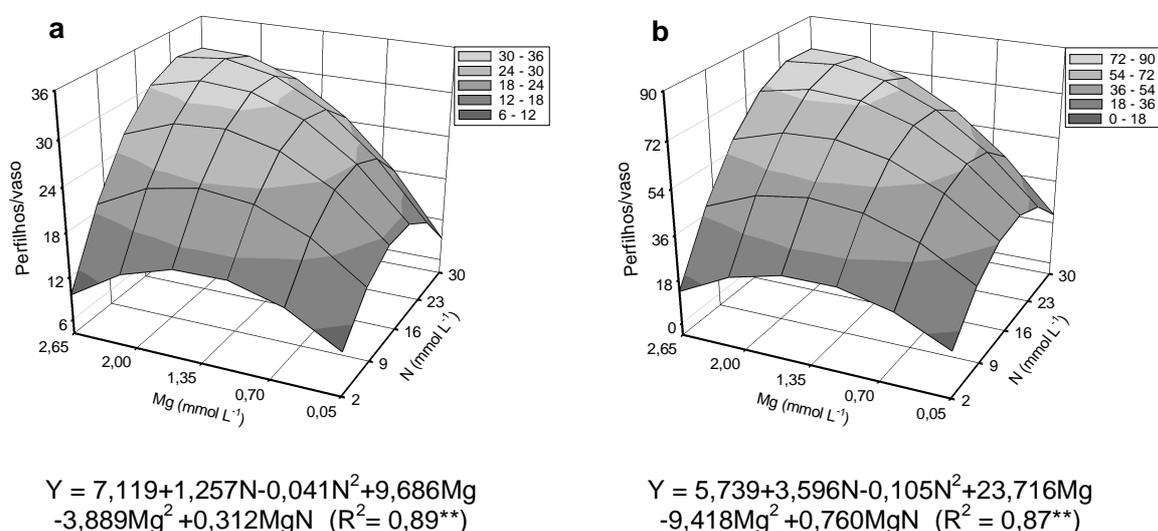


Figura 3.3 – Número de perfilhos no primeiro (a) e segundo (b) crescimentos do capim-marandú, em função de combinações das doses de nitrogênio (N) com doses de magnésio (Mg)

O aumento na disponibilidade de nitrogênio para o capim proporcionou incremento no número de perfilhos (COLOZZA et al., 2000; LAVRES JUNIOR; MONTEIRO, 2003; FAGUNDES et al., 2006; SILVEIRA; MONTEIRO, 2007). Contudo, a respeito do efeito de doses de magnésio relacionadas ao perfilhamento das gramíneas, pouco se sabe, mas verificou-se que alta dose desse nutriente maximiza o número de perfilhos quando combinada com alta dose de nitrogênio (Figuras 3.3a e 3.3b), em razão dos dois macronutrientes serem componentes da molécula captadora de energia solar, estarem envolvidos na ativação enzimática (reações da respiração), na síntese de DNA e RNA e na produção de compostos essenciais (aminoácidos e proteínas) para as plantas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Assim, a importância do magnésio é ressaltada quando são utilizadas elevadas doses de nitrogênio. Consolmagno Neto, Monteiro e Dechen (2007), fornecendo dose de nitrogênio de  $21 \text{ mmol L}^{-1}$  para o capim-tanzânia submetido a combinações de doses de potássio e magnésio, mostraram que o perfilhamento do capim não foi alterado pelas doses de magnésio. Entretanto, como mostrado neste trabalho (Figuras 3.3a e 3.3b), por outros autores como Lavres Junior e Monteiro (2003) e Silveira e Monteiro (2007), foram necessárias doses de nitrogênio mais altas do que  $21 \text{ mmol L}^{-1}$  para maximizar o número de perfilhos do capim. Em síntese essas gramíneas responderam às doses de magnésio em termos de perfilhamento, quando a dose de nitrogênio for elevada.

As doses máximas de nitrogênio e de magnésio utilizadas no experimento não foram as que resultaram em maior produção de perfilhos. Isto se deve evolução da área foliar, que intercepta boa parte da radiação, impedindo que chegue à base da touceira da gramínea. A disponibilidade de nitrogênio que controla os processos de crescimento e desenvolvimento da planta, devido à maior rapidez de formação das gemas axilares e de iniciação dos perfilhos correspondentes. Entretanto essa iniciação só se manifesta enquanto o índice de área foliar não altera a quantidade de luz que atinge as gemas mais tardias (NABINGER; MEDEIROS, 1995).

Os números de perfilhos do capim-marandu no segundo crescimento das plantas (Figura 3.3b) tiveram valores superiores ao encontrado no primeiro (Figura 3.3a). 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 no segundo período de crescimento a planta já estava estabelecida e com maior volume radicular para absorver maior quantidade de nutrientes, bem como pelo fato do primeiro corte promover a indução das gemas basais, originando novos perfilhos.

A interação doses de nitrogênio x doses de magnésio foi significativa para a área foliar nos dois períodos de crescimentos do capim (Figura 3.4). As respectivas doses de nitrogênio e magnésio que promoveram a máxima área foliar foram de 26,21 e  $2,52 \text{ mmol L}^{-1}$  no primeiro crescimento (Figura 3.4a) e de 22,97 e  $2,39 \text{ mmol L}^{-1}$  no segundo crescimento (Figura 3.4b). Santos Junior e Monteiro (2003) constataram que doses as de nitrogênio necessárias para a maximização da área foliar no capim-

marandu estariam entre 19,36 a 21,14 mmol L<sup>-1</sup>, quando o magnésio estava na dose de 2 mmol L<sup>-1</sup>.

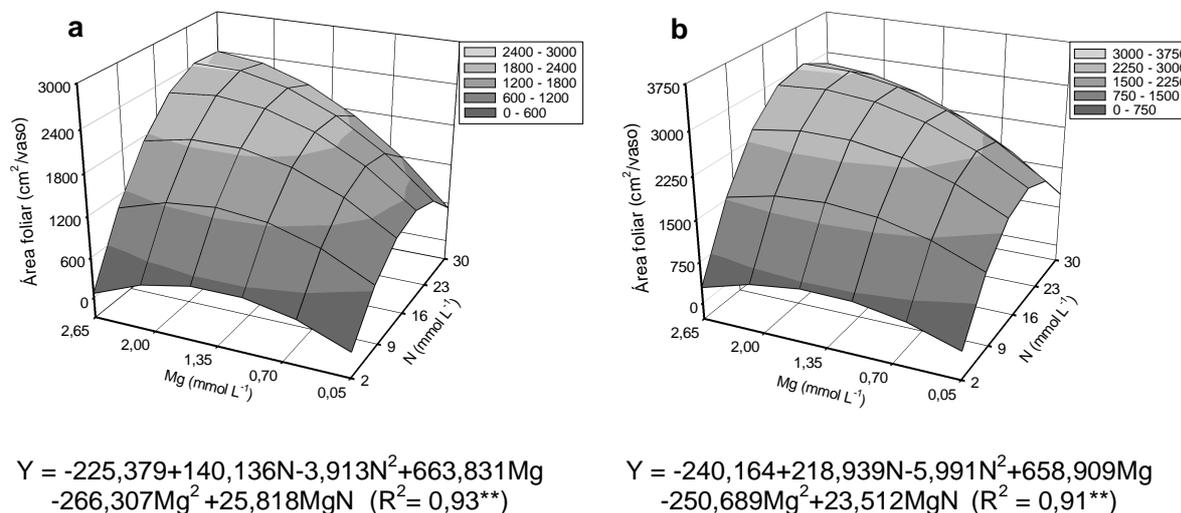


Figura 3.4 – Área foliar no primeiro (a) e segundo (b) cortes do capim-marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio (N) com doses de magnésio (Mg)

Manarin e Monteiro (2002) constataram aumento da área foliar com o aumento da disponibilidade de nitrogênio na solução nutritiva, em dois períodos de crescimento do *Panicum maximum* cv. Mombaça. Lavres Junior e Monteiro (2003) avaliaram os efeitos de combinações de doses de nitrogênio e de potássio na área foliar do capim-mombaça e verificaram que no intervalo das doses de nitrogênio de 24 a 33 mmol L<sup>-1</sup> foi obtida a máxima área foliar nos dois cortes da gramínea.

Rodrigues (2002) observou significância da interação doses de nitrogênio x doses de calcário na área foliar, no primeiro corte da *Brachiaria decumbens*. Uma hipótese para tal significância pode ter sido pela presença do magnésio, pois Silveira e Monteiro (2007), em pesquisa com *Panicum maximum* cv. Tanzânia submetido a combinações de doses de nitrogênio e cálcio, observaram que somente o incremento das doses de nitrogênio resultou em aumento da área foliar. Observou-se que o emprego de alta dose de magnésio, combinada com alta dose de nitrogênio, resultou em maior área foliar do capim-marandu do que a combinação de baixas doses desses nutrientes, nos dois cortes do capim (Figuras 3.4a e 3.4b).

A folha é responsável pela captação de energia solar, de tal forma que mais área foliar proporciona maior exposição à luz, o que por sua vez, é importante fator para a produtividade do capim. Chapman e Lemaire (1993) apontaram que o nitrogênio influi na alongação foliar, resultando em maior área foliar. Meiri, Silk e Läuchli (1992), avaliando o crescimento de folhas de milho (*Zea mays*) com relação às doses de magnésio, ressaltaram a necessidade de altas concentrações do nutriente nas células em divisão, para resultar em maior expansão e crescimento foliar.

Para maior crescimento do capim é necessário a maximização da fotossíntese, e esta, se dá por meio da ativação da enzima ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase (rubisco). A luz induz a entrada de prótons nas membranas das tilacóides e em contrabalanço a saída de magnésio para o estroma, o aumento do pH e a mudança na concentração de magnésio no estroma resulta na ativação da enzima (MARSCHNER, 1995). Devido aos mecanismos concentradores de CO<sub>2</sub> que operam em gramíneas C<sub>4</sub>, a concentração de CO<sub>2</sub> nos sítios de carboxilação em cloroplastos C<sub>4</sub> é frequentemente saturadora da atividade da rubisco. Como resultado, as plantas com metabolismo C<sub>4</sub> necessitam de menos rubisco do que as C<sub>3</sub> para alcançar uma certa taxa de fotossíntese e exigem menos nitrogênio para crescer (GHANNOUM et al., 2000). Com isso, o aumento da área foliar da planta forrageira com o fornecimento de nitrogênio e magnésio aumentou a eficiência do uso do nitrogênio pela planta, o que resultou em mais alta produção de folhas e perfilhos do capim.

A interação doses de nitrogênio x doses de magnésio não foi significativa para a concentração de nitrogênio nas folhas recém-expandidas (folhas diagnósticas) no primeiro corte do capim-marandu. Somente a adubação nitrogenada mostrou resposta significativa, que resultou em incremento linear na concentração de nitrogênio nas folhas diagnósticas (Figura 3.5a). No segundo corte, a interação doses de nitrogênio x doses de magnésio foi significativa para a concentração de nitrogênio nas folhas diagnósticas (Figura 3.5b).

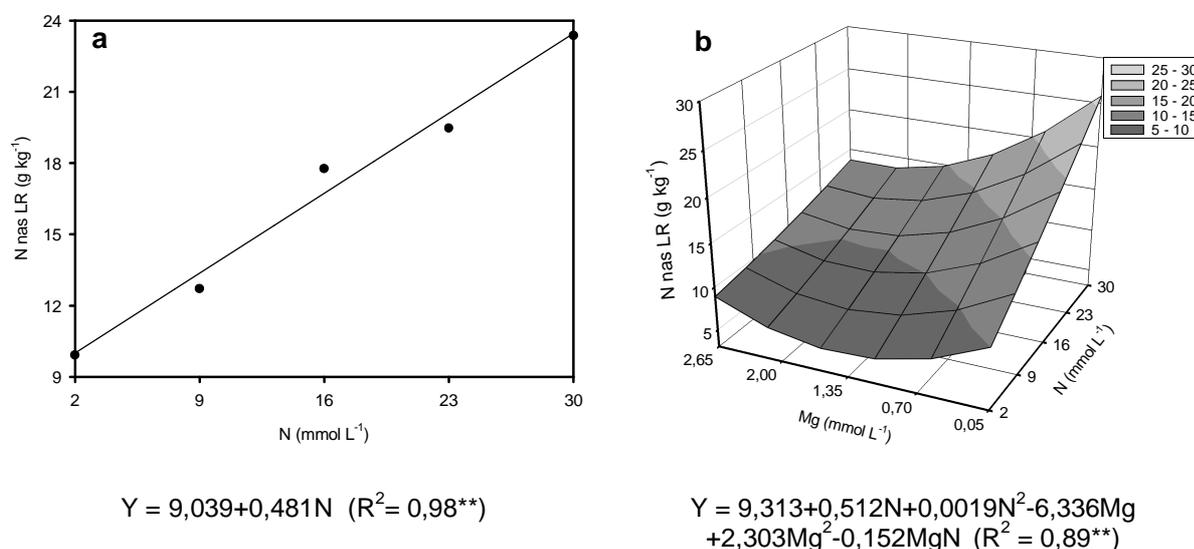


Figura 3.5 – Concentração de nitrogênio (N) nas folhas recém-expandidas (LR) do capim-marandu, no primeiro crescimento em função de doses de nitrogênio (a) e no segundo crescimento em função das combinações de doses de nitrogênio com doses de magnésio (b)

A concentração de nitrogênio nas folhas recém-expandidas variou de 10 a 21,7 g kg<sup>-1</sup> no primeiro corte e de 8 a 27 g kg<sup>-1</sup> no segundo corte da gramínea. Monteiro (2005), ao compilar resultados de vários trabalhos, verificou que a faixa de suficiência em nitrogênio nas folhas diagnósticas para capim-marandu foi 19 a 23 g kg<sup>-1</sup>. Lavres Junior e Monteiro (2006) observaram, em experimento com capim-aruaana submetido a doses de nitrogênio, que a concentração de nitrogênio nas folhas diagnósticas dessa gramínea variou de 14,42 a 26,93 g kg<sup>-1</sup> no primeiro corte e de 16,40 a 27,15 g kg<sup>-1</sup> no segundo corte do capim. De acordo com essa faixa observa-se que no segundo corte da gramínea, mesmo não sendo atingido o ponto de máxima produção de massa seca do capim (Figura 3.1b), este valor seria abaixo da faixa de suficiência proposta pelo autor, indicando deficiência de nitrogênio (Figura 3.5b). É importante observar que no segundo corte as altas concentrações de nitrogênio nas folhas diagnósticas resultaram da deficiência de magnésio, demonstrando fragilidade desse método ao se avaliar os nutrientes separadamente.

Em estudo com doses de nitrogênio e de enxofre na recuperação de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, em solo Neossolo Quartzarênico, Oliveira et al. (2005) verificaram aumento na concentração de nitrogênio na parte aérea da planta à

medida que ocorreu o incremento no fornecimento de nitrogênio. Resultados similares foram encontrados por Corrêa (1996) para três cultivares de *Panicum maximum*, Costa et al. (2005) para o capim-tanzânia e Batista e Monteiro (2007) para o capim-marandu.

A combinação dose alta de nitrogênio com dose baixa de magnésio resultou em elevado acúmulo de nitrogênio nas folhas recém-expandidas (Figura 3.5b). Normalmente na planta acontece fotoredução da molécula de  $O_2$  resultando em espécies reativas de oxigênio (ROS) no cloroplasto e no citoplasma (ROBINSON, 1988). Em plantas que não estão em estresse as ROS são formadas normalmente em mais baixa concentração (BADGER, 1985). A fotorespiração acontece mais intensamente quando a planta é submetida à elevada intensidade de luz e ao estresse por deficiência de magnésio (CAKMAK; MARSCHNER, 1992). Segundo Medici et al. (2004), a planta possui diversos mecanismos para evitar a acumulação de ROS, ao evitar a absorção de excesso de nitrogênio, por meio da defesa auxiliar com enzimas e por meio dos antioxidantes ascorbato e glutatona (CAKMAK; MARSCHNER, 1992).

A interação doses de nitrogênio x doses de magnésio foi significativa para as concentrações de nitrato (Figuras 3.6a e 3.6b). Doses mais altas que  $2 \text{ mmol L}^{-1}$  em nada alterou a concentração de amônio nas lâminas das folhas recém-expandidas no primeiro corte do capim (Figura 3.6c) e o incremento da dose de nitrogênio resultou em aumento na concentração de amônio nas folhas diagnósticas coletadas na ocasião do segundo corte do capim-marandu (Figura 3.6d).

A concentração de nitrato (Figuras 3.6a e 3.6b) comportou-se de forma similar à concentração de nitrogênio nas folhas recém-expandidas na segundo corte do capim (Figura 3.5b). Ocorreu acúmulo de nitrato nas folhas diagnósticas em altas doses de nitrogênio combinadas às baixas a doses de magnésio, sendo a deficiência de magnésio prejudicial ao desenvolvimento do capim, além de resultar em acúmulo de nitrato no tecido vegetal.

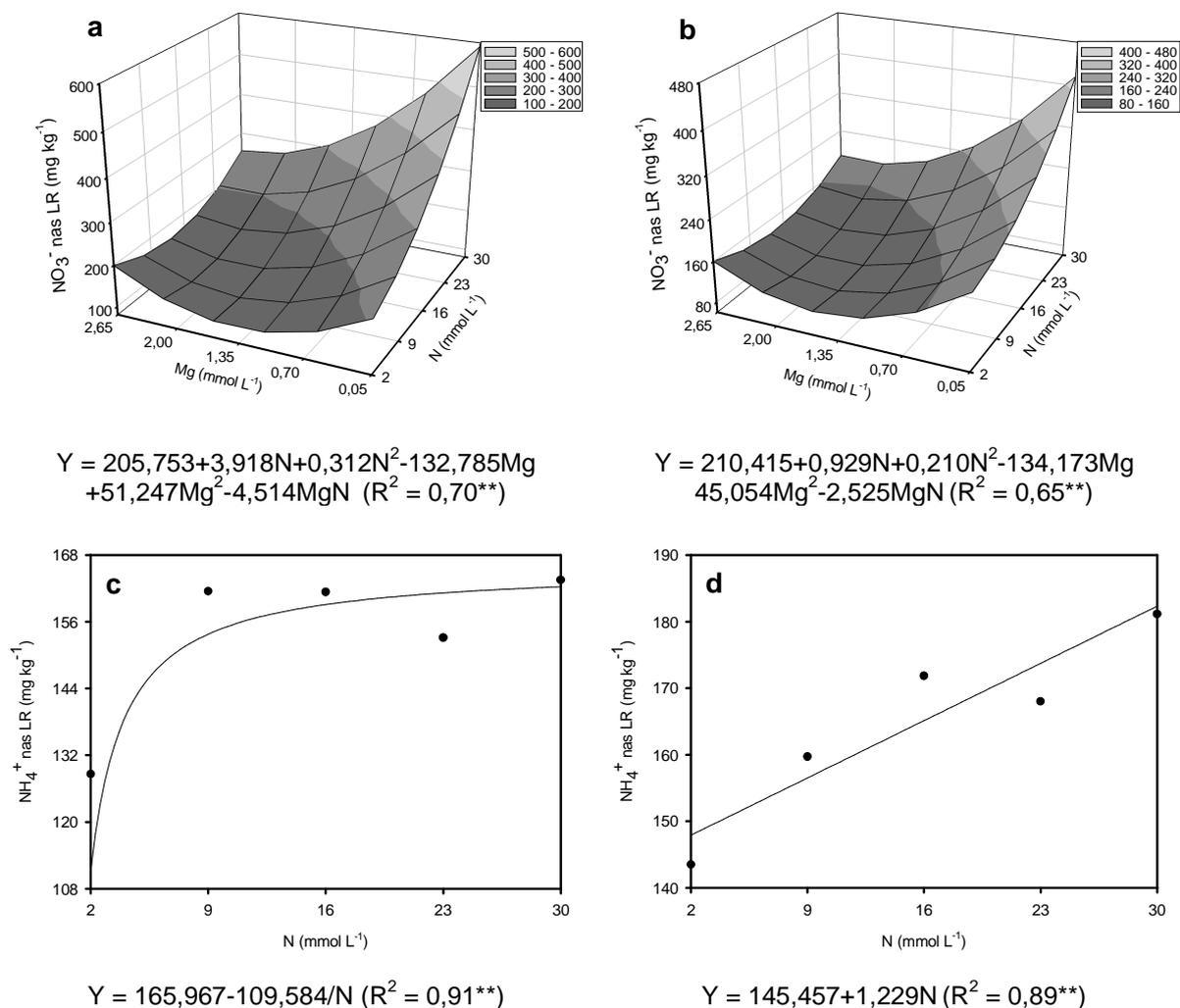


Figura 3.6 – Concentração de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) nas folhas recém-expandidas (LR) em função das combinações de doses de nitrogênio (N) com doses de magnésio (Mg) e concentração de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) nas folhas recém-expandidas (LR) em função das doses de nitrogênio (N), nas ocasiões do primeiro (a e c) e segundo (b e d) cortes do capim-marandu

As concentrações de nitrato variaram de 100 a 600  $\text{mg kg}^{-1}$  e de 80 a 480  $\text{mg kg}^{-1}$ , no tecido vegetal coletado no primeiro e segundo cortes do capim, respectivamente. A menor concentração de nitrato no segundo corte em relação à concentração no primeiro corte ocorreu devido à mais alta produção de massa seca da gramínea, tendo ocorrido maior utilização do nitrato armazenado para a produção de folhas e perfilhos do capim-marandu.

As concentrações de amônio variam de 130 a 160 mg kg<sup>-1</sup> e de 143 a 180 mg kg<sup>-1</sup> no primeiro e segundo cortes da gramínea. A concentração de amônio permaneceu constante e em menores valores do que os de nitrato nas folhas diagnósticas nos dois cortes do capim em razão da elevada concentração de amônio ser tóxico à planta. O amônio pode estar sendo oxidado a nitrato, por ser uma espécie menos reativa para o capim, ou este amônio poderá estar sendo incorporado a aminoácidos essenciais por meio da atividade sequencial da glutamina sintetase e glutamato sintase (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A atividade da glutamina sintetase (GS) mostrou valores mais baixos com o incremento da dose de nitrogênio nos dois crescimentos do capim (Figura 3.7). Corrêa (1996), trabalhando com combinações de doses de nitrogênio com doses de magnésio em três cultivares de *Panicum maximum*, também constatou a diminuição na atividade da glutamina sintetase em doses mais elevadas de nitrogênio.

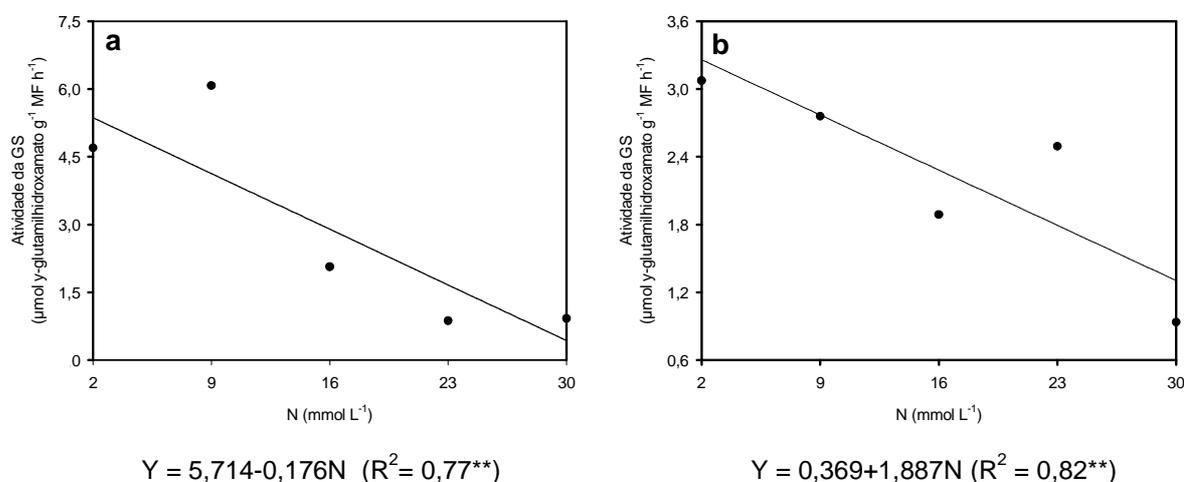


Figura 3.7 – Atividade da glutamina sintetase (GS) nas folhas recém-expandidas (LR) no primeiro (a) e segundo (b) crescimentos do capim-marandu, em função das doses de nitrogênio (N)

Analisando simultaneamente a concentração de amônio (Figuras 3.6c e 3.6d) e a atividade da glutamina sintetase (Figuras 3.7a e 3.7b), observa-se que a atividade da enzima diminuiu à medida que a concentração de amônio permaneceu constante (Figura 3.6c) ou aumentou (Figura 3.6d) nas folhas diagnósticas, com o incremento da dose de nitrogênio. Este resultado pode estar ligado à idade da folha, pois alta dose de

nitrogênio proporcionou maior e mais rápido crescimento das plantas em comparação às baixas doses e conseqüentemente a folha pode senescer mais rápido.

Segundo Berger et al. (1985), em folhas de trigo (*Triticum aestivum*) a atividade da glutamina sintetase foi mais baixa em folhas mais velhas. Nestas folhas a concentração da isoforma GS<sub>2</sub> (localizada no estroma) da glutamina sintetase foi menor do que em folhas mais novas (KAMACHI et al., 1991) e existem indícios que a isoforma GS<sub>1</sub> (localizada no citosol) é transportada via floema das folhas mais velhas para os demais órgãos da planta (TANAKA et al., 2009), o que pode ter diminuído a atividade da enzima.

As folhas diagnósticas, cujas plantas estavam em solução de mais alta dose de nitrogênio, poderiam estar próximas de senescer, devido à rapidez de renovação da área foliar, podendo a enzima ter sido transportada para outros órgãos da planta. Isto explicaria a diminuição na atividade da glutamina sintetase com conseqüente acúmulo de amônio no segundo corte dessas folhas. Com isso, folhas mais novas poderiam ser melhores indicadoras do pico de atividade da atividade da glutamina sintetase quando utilizadas doses de nitrogênio, e talvez o magnésio possa ter influência como cofator.

A interação doses de nitrogênio x doses de magnésio não foi significativa para a concentração de magnésio nas lâminas das folhas recém-expandidas do capim-marandu. Com o incremento das doses de magnésio ocorreu aumento linear na concentração de magnésio nas folhas diagnósticas coletadas nos dois cortes da gramínea (Figura 3.8). As concentrações de magnésio nas folhas diagnósticas variaram de 0,54 a 4,10 g kg<sup>-1</sup> para o primeiro corte (Figura 3.8a) e de 0,37 a 5,40 g kg<sup>-1</sup> para o segundo corte (Figura 3.8b) do capim.

Na amostra coletada no primeiro corte a concentração crítica de magnésio na folha diagnóstica do capim-marandu foi de 3,7 g kg<sup>-1</sup>. Pereira (2001) observou que a concentração de magnésio de 4,2 g kg<sup>-1</sup> na folha diagnóstica era suficiente para o *Panicum maximum* cv. Mombaça atingir 90% da produção máxima de massa seca.

Smith, Cornforth e Henderson (1985), ao analisarem as concentrações críticas de magnésio na parte aérea do azevém (*Lolium perenne*) submetido a doses de magnésio na solução nutritiva, observaram que a concentração de magnésio na planta

aumentou com o incremento da dose de magnésio. Resultados similares foram encontrados neste experimento (Figura 3.8).

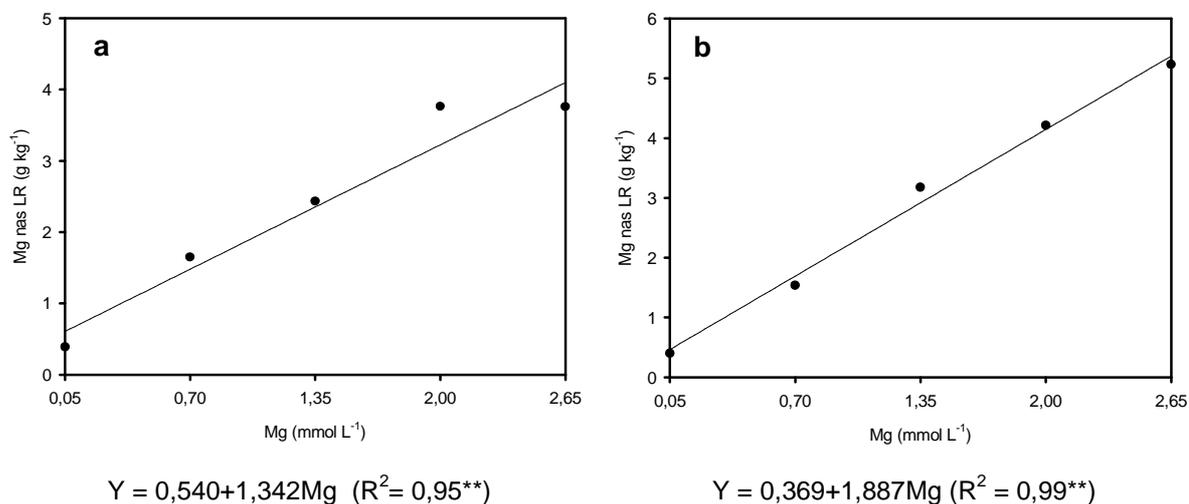


Figura 3.8 – Concentração de magnésio (Mg) nas folhas recém-expandidas (LR) do capim-marandu coletadas na ocasião do primeiro (a) e do segundo (b) cortes em função das doses de magnésio

A interação doses de nitrogênio x doses de magnésio foi significativa para a relação nitrogênio:magnésio nas folhas recém-expandidas do capim (Figura 3.9). Nas folhas coletadas no primeiro corte do capim-marandu (Figura 3.9a), a relação de 6,3:1 (nitrogênio:magnésio) proporcionou a máxima produção de massa seca do capim. No material amostrado no segundo corte do capim as doses de magnésio utilizadas não foram suficientes para atingir a máxima produção de massa seca da gramínea (Figura 3.9b).

A faixa de concentração tem sido apontada por alguns autores como a que melhor define o estado nutricional das plantas (BATAGLIA, 1991), porém este critério caracteriza os nutrientes individualmente (MONTEIRO, 2005). O que a torna importante é que a partir dela pode-se aperfeiçoar métodos mais completos de diagnose e recomendação, como o DRIS (Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação).

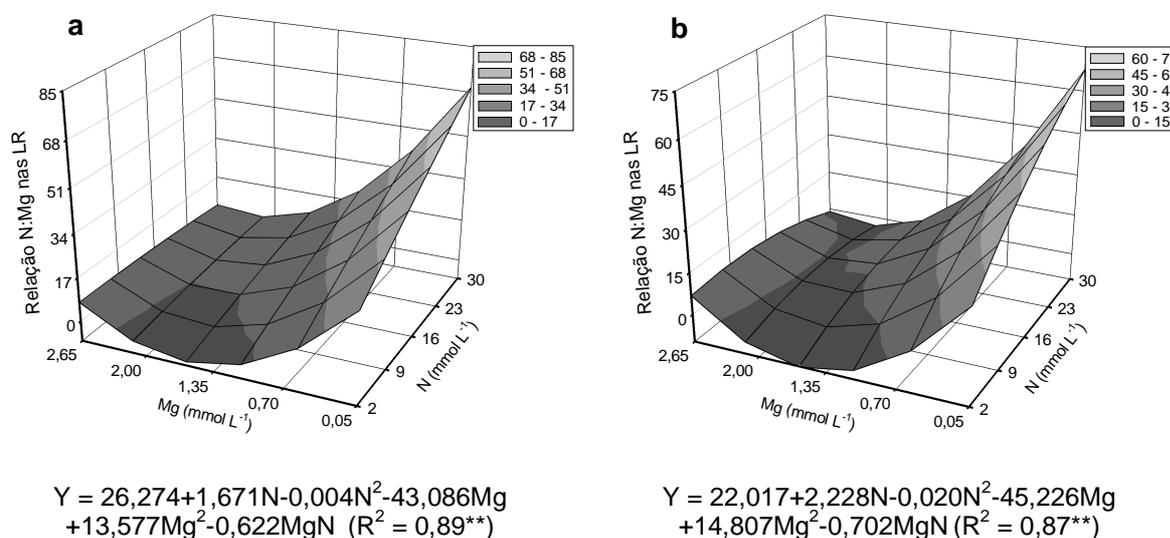


Figura 3.9 – Relação nitrogênio:magnésio (N:Mg) nas folhas recém-expandidas (LR) no primeiro (a) e segundo (b) crescimentos do capim-marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio (N) com doses de magnésio (Mg)

A interação doses de nitrogênio x doses de magnésio foi significativa para a concentração de cálcio nas folhas diagnósticas do capim-marandu (Figura 3.10). Alta dose de nitrogênio combinada com alta dose de magnésio, resultou em alta concentração de cálcio nas folhas diagnósticas e baixa ou alta dose de magnésio com baixa dose de nitrogênio resultou em baixa concentração de cálcio.

Silveira (2005), em experimento com doses de nitrogênio combinadas com doses de cálcio para capim-tanzânia, observou, dentro da mais alta dose de cálcio ( $5,5 \text{ mmol L}^{-1}$ ), aumento da concentração de cálcio nas lâminas das folhas recém-expandidas com o incremento da dose de nitrogênio, em dois cortes do capim. Entretanto, a mais alta concentração de cálcio encontrada nas folhas diagnósticas do capim-tanzânia, no experimento de Silveira (2005), foi de aproximadamente  $8,5 \text{ g kg}^{-1}$  no terceiro corte da gramínea, tendo os outros dois cortes concentrações mais baixas de cálcio no tecido foliar.

No presente experimento, as concentrações de cálcio atingiram valores próximos a  $15 \text{ g kg}^{-1}$  nas folhas diagnósticas no segundo corte do capim-marandu. Monteiro et al. (1995) relataram concentração de cálcio de  $8,5 \text{ g kg}^{-1}$  na parte aérea dessa gramínea e

Batista (2002) observou concentrações de cálcio próximas a  $9 \text{ g kg}^{-1}$  nas folhas diagnósticas desse capim submetido a combinações de doses de nitrogênio e enxofre.

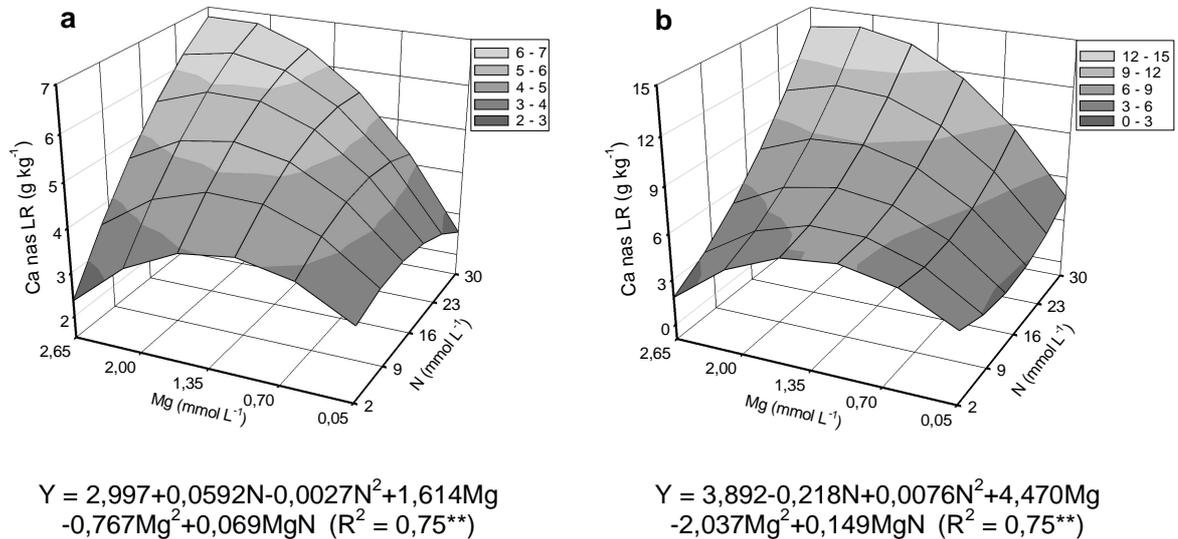


Figura 3.10 – Concentração de cálcio (Ca) nas folhas recém-expandidas (LR) coletadas no primeiro (a) e segundo (b) cortes do capim-marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio (N) com doses de magnésio (Mg)

De conformidade com Malavolta (1976), a deficiência de magnésio geralmente ocorre sob condições onde a deficiência de cálcio também é problema, devido a soma total dos cátions em uma planta ser pouco variável (MENGEL; KIRKBY, 2001) e o desequilíbrio entre cátions ocasionou alterações no metabolismo do capim e mudança das concentrações de cálcio nas folhas diagnósticas do capim.

Para a concentração de potássio nas lâminas das folhas recém-expandidas do capim-marandu, foi significativa a interação doses de nitrogênio x doses de magnésio (Figura 3.11). O incremento da dose de nitrogênio, em alta dose de magnésio, resultou em mais baixa concentração de potássio na folhas diagnósticas. Ferragine e Monteiro (1999), constataram que as mais altas doses de nitrogênio proporcionaram as mais baixas concentrações de potássio na *Bracharia decumbens*, fato explicado pelo efeito de diluição do potássio na planta e o equilíbrio entre os cátions.

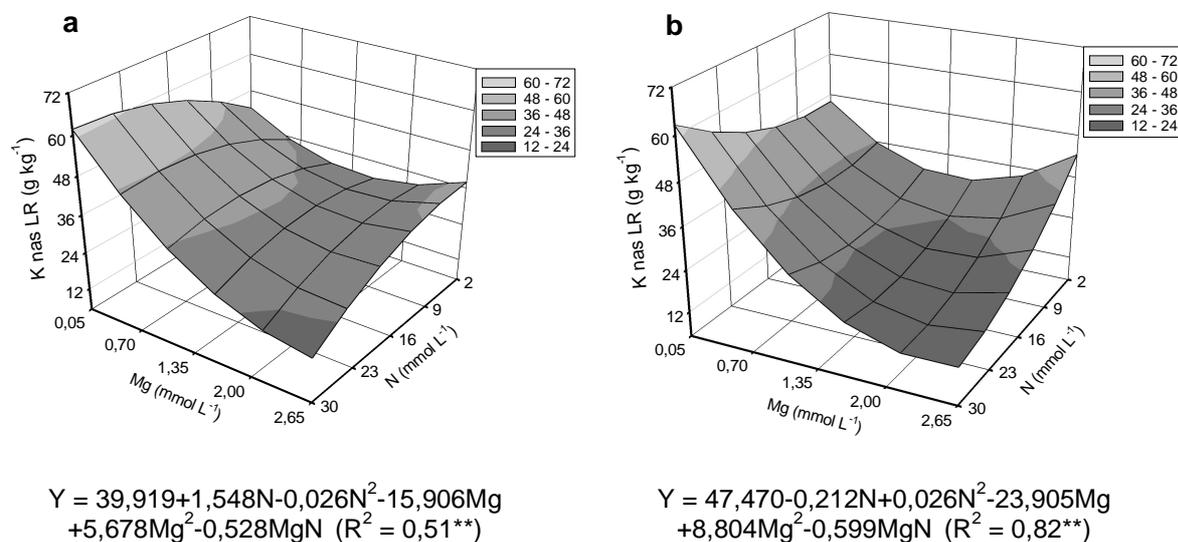


Figura 3.11 – Concentração de potássio (K) nas folhas recém-expandidas (LR) coletadas no primeiro (a) e segundo (b) cortes do capim-marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio (N) com doses de magnésio (Mg)

Segundo Monteiro (2005), a faixa de suficiência de 22 a 29 g kg<sup>-1</sup> é a adequada para concentração de potássio nas folhas diagnósticas. Entretanto foi observado que as concentrações de potássio não atingiram esta faixa no material amostrado nos dois cortes do capim, sugerindo possível deficiência deste nutriente. Primavesi et al. (2005), verificaram que o capim-marandu demandou elevadas quantidades de nutrientes, principalmente o potássio, quando recebeu doses altas de nitrogênio.

Nos sistemas de alta produção de forragem, que são aplicadas elevadas doses de nitrogênio, tem-se encontrado concentrações de potássio necessárias à máxima produção de massa seca na ordem de 35 g kg<sup>-1</sup> (MATTOS; MONTEIRO, 1998;) e 30 g kg<sup>-1</sup> (MEGDA, 2009), para o capim-marandu.

Segundo Primavesi (2005), doses de nitrogênio propiciaram aumentos nas concentrações de potássio, cálcio e magnésio no capim-coastcross, o que não foi encontrado neste experimento para magnésio e potássio (Figuras 3.8 e 3.11, respectivamente)

A mais alta disponibilidade de potássio aumentou a concentração desse nutriente no capim e diminuiu as concentrações de cálcio e magnésio em quantidades equivalentes (MATTOS et al., 2002; PRIMAVESI et al., 2006). O uso de potássio em

doses elevadas pode resultar na deficiência de magnésio (MARSCHNER, 1995), devido ao efeito antagônico existente entre esses cátions (Figura 3.9).

O sintoma característico da deficiência de magnésio é a clorose entre as nervuras das folhas (Figura 3.12a), ocorrendo, primeiro, nas folhas mais velhas devido à mobilidade de tal elemento. Este padrão de clorose ocorre porque a clorofila nos feixes vasculares permanece inalterada por períodos mais longos que a clorofila das células entre os feixes (TAIZ; ZEIGER, 2004). A clorose é resultado da foto-oxidação dos constituintes das tilacóides por meio da produção de espécies reativas de oxigênio (CAKMAK; MARSCHNER, 1992). Quando a deficiência é muito severa (Figura 3.12b) as folhas podem tornar-se amarelas ou brancas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A utilização da dose de nitrogênio de  $2 \text{ mmol L}^{-1}$  combinada com  $0,05$  ou  $2,65 \text{ mmol L}^{-1}$  (Figuras 3.12c e 3.12d, respectivamente) de magnésio na solução nutritiva, em nada alterou o desenvolvimento da planta. Porém, a gramínea só produziu adequadamente quando foi fornecida  $30 \text{ mmol L}^{-1}$  de nitrogênio combinada com  $2,65 \text{ mmol L}^{-1}$  de magnésio (Figura 3.12e), pois ocorreu melhor utilização do nitrogênio pelo capim.

Ao manter na solução nutritiva a dose de magnésio de  $0,05 \text{ mmol L}^{-1}$  e aumentar a dose de nitrogênio de  $16 \text{ mmol L}^{-1}$  (Figura 3.12f) para  $30 \text{ mmol L}^{-1}$  (Figura 3.12g), foi observado menor número de folhas e perfilhos à medida para o capim-marandu. A deficiência de magnésio somada ao excesso de nitrogênio (Figuras 3.12f e 3.12g) pode ter resultado na produção de apreciável quantidade de espécies reativas de oxigênio (CAKMAK; MARSCHNER, 1992).

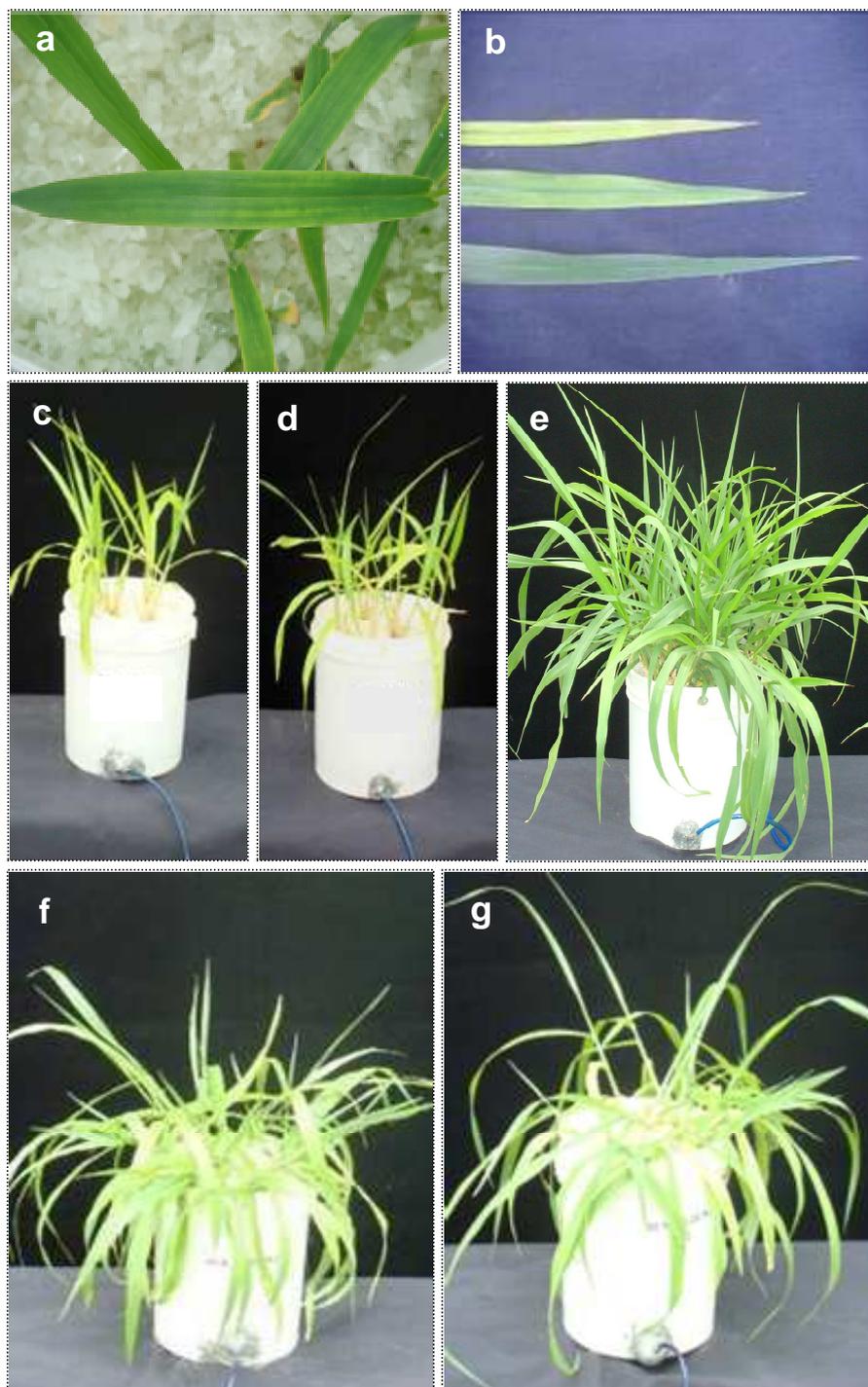


Figura 3.12 – Magnésio (Mg) e nitrogênio (N) em capim-marandu: lâminas foliares com deficiência de magnésio (a), estágios da deficiência de Mg (b), plantas supridas com as combinações: 2 mmol L<sup>-1</sup> de N e 0,05 mmol L<sup>-1</sup> de Mg (c), 2 mmol L<sup>-1</sup> de N e 2,65 mmol L<sup>-1</sup> de Mg (d), 30 mmol L<sup>-1</sup> de N com 2,65 mmol L<sup>-1</sup> de Mg (e), 16 mmol L<sup>-1</sup> de N com 0,05 mmol L<sup>-1</sup> de Mg (f) e 30 mmol L<sup>-1</sup> de N com 0,05 mmol L<sup>-1</sup> de Mg (g)

### 3.4 Conclusões

As combinações de altas doses de nitrogênio e magnésio resultaram em alta produção de massa seca, do número de folhas e perfilhos e da área foliar, nos dois crescimentos do capim-marandu. As concentrações de nitrogênio (segundo corte) e cálcio (nos dois cortes) nas folhas diagnósticas aumentaram com as combinações de elevadas doses de nitrogênio e de magnésio. As concentrações de potássio nas folhas diagnósticas da gramínea, nos dois cortes, foram mais baixas quando utilizaram-se combinações de elevadas doses de nitrogênio e de magnésio. De forma isolada, o incremento nas doses de nitrogênio e magnésio resultou em mais altas concentrações de nitrogênio e de magnésio nas folhas recém-expandidas do capim. A concentração de nitrato nas folhas diagnósticas aumentou em deficiência de magnésio e a de amônio foi elevada com o incremento da dose de nitrogênio. A atividade da glutamina sintetase foi mais baixa em altas do que em baixas doses de nitrogênio, nos dois crescimentos do capim. A relação de 6,3:1 entre as concentrações de nitrogênio e de magnésio nas folhas diagnósticas correspondeu à máxima produção de massa seca no primeiro crescimento do capim-marandu.

### Referências

- ABREU, J.B.R. **Níveis de nitrogênio e proporções de nitrato e amônio afetando a produção, atividade da redutase do nitrato e composição de três gramíneas forrageiras**. 1994. 109 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.
- BADGER, M.R. Photosynthetic oxygen exchange. **Plant Physiology**, New York, v. 36, p. 27-53, 1985.
- BATAGLIA, O.C. Análise química de plantas. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Ed.). **Micronutrientes na agricultura**. Jaboticabal: POTAFOS; CNPQ, 1991. p. 289-308.
- BATISTA, K. **Respostas do capim-marandu a combinações de doses de nitrogênio e enxofre**. 2002. 104 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

BATISTA, K.; MONTEIRO, F.A. Respostas morfológicas e produtivas do capim-marandu adubado com doses combinadas de nitrogênio e enxofre. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, p. 1281-1288, 2006.

\_\_\_\_\_. Nitrogen and sulphur in Marandu grass: relationship between supply and concentration in leaf tissues. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, p. 44-51, 2007.

BERGER, M.G.; WOO, K.C.; WONG, S.C.; FOCK, H.P. Nitrogen metabolism in senescent flag leaves of wheat (*Triticum aestivum* L.) in the light. **Plant Physiology**, New York, v. 78, p. 779-783, 1985.

CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves. **Plant Physiology**, New York, v. 98, p. 1222-1227, 1992.

CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A.; PERES, L.E.P. **Manual de fisiologia vegetal: teoria e prática**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2005. 650 p.

CHAPMAN, D.F.; LEMAIRE, G. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 17., 1993, Palmerston North. **Proceedings...** Palmerston North: New Zealand Grassland Association, 1993. p. 95-104.

CHOUDHURY, T.M.A.; KHANIF, Y.M. Evaluation of effects of nitrogen and magnesium fertilization on rice yield and fertilizer nitrogen efficiency using  $^{15}\text{N}$  tracer technique. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 24, p. 855-871, 2001.

COLOZZA, M.T.; KIEHL, J.C.; WERNER, J.C.; SCHAMMASS, E.A. Respostas de *Panicum maximum* cultivar Aruana a doses de nitrogênio. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 57, p. 21-32, 2000.

CONSOLMAGNO NETO, D.; MONTEIRO, F.A.; DECHEN, A.R. Características produtivas do capim-tanzânia cultivado com combinações de potássio e de magnésio. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 29, p. 459-467, 2007.

CORRÊA, B.D. **Doses de nitrogênio e de magnésio afetando aspectos produtivos e bioquímicos dos capins Colômbio, Tanzânia-1 e Vencedor**. 1996. 76 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

COSTA, K.A.P.; FRANÇA, A.F.S.; OLIVEIRA, I.P.; MONTEIRO, F.A.; BARIGOSI, J.A.F. Produção de massa seca, eficiência e recuperação do nitrogênio e enxofre pelo capim-tanzânia adubado com nitrogênio, potássio e enxofre. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, p. 598-603, 2005.

ELLIOTT, W.H. Isolation of glutamine synthetase and glutamotransferase from green peas. **The Journal of Biological Chemistry**, Baltimore, v. 201, p. 59-66, 1973.

FAGUNDES, J.L.; FONSECA, D.M.; MORAIS, R.V.; MISTURA, C.; VITOR, C.M.T.; GOMIDE, J.A.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; SANTOS, M.E.R.; LAMBERTUCCI, D.M. Avaliação das características estruturais do capim-braquiária em pastagens adubadas com nitrogênio nas quatro estações do ano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, p. 30-37, 2006.

FERRAGINE, M.C. **Combinações de doses de nitrogênio e potássio na nutrição mineral de capim-braquiária**. 1998. 84 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

FERRAGINE, M.C.; MONTEIRO, F.A. Combinação de doses de nitrogênio e potássio na nutrição mineral de capim-braquiária. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 56, p. 25-33, 1999.

GHANNOUM, O.; VON CAEMMERER, S.; ZISKA, L.H.; CONROY, J.P. The growth response of C4 plants to rising atmospheric CO<sub>2</sub> partial pressure: a reassessment. **Plant, Cell and Environment**, Logan, v. 33, p. 931-942, 2000.

HOAGLAND, D.; ARNON, D.I. **The water culture method for growing plants without soil**. Ona: California Agriculture Experimental Station, 1950. 347 p. (Circular, 347).

KAMACHI, K.; YAMAYA, T.; MAE, T.; OJIMA, K. A role for glutamine synthetase in the remobilization of leaf nitrogen during natural senescence in rice leaves. **Plant Physiology**, New York, v. 96, p. 411-417, 1991.

LAVRES JUNIOR, J.; MONTEIRO, F.A. Combinações de doses de nitrogênio e potássio para a produção e nutrição do capim-mombaça. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 59, p. 101-114, 2002.

\_\_\_\_\_. Perfilhamento, área foliar e sistema radicular do capim-mombaça submetido a combinações de doses de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, p. 1068-1075, 2003.

\_\_\_\_\_. Diagnose nutricional de nitrogênio no capim-aruaana em condições controladas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 829-837, 2006.

LAVRES JUNIOR, J.; FERRAGINE, M.D.C.; GERDES, L.; RAPOSO, R.W.C.; COSTA, M.N.X.; MONTEIRO, F.A. Yield components and morphogenesis of Aruana grass in response to nitrogen supply. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, p. 632-639, 2004.

LITTELL, R.C.; MOTT, G.O. Computer assisted design and analysis of response surface experiments in agronomy. **Soil and Crop Society of Florida Proceedings**, Ona, v. 34, p. 94-97, 1975.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola, nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo: Ave Maria, 1976. 528 p.

MANARIN, C.A.; MONTEIRO, F.A. Nitrogênio na produção e diagnose foliar do capim-mombaça. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 59, p. 115-123, 2002.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2<sup>nd</sup> ed. London: Academic Press. 1995. 889 p.

MATTOS, W.T.; MONTEIRO, F.A. Respostas de *Brachiaria brizantha* a doses de potássio. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, p. 428-437, 1998.

MATTOS, W.T.; SANTOS, A.R.; ALMEIDA, A.A.S.; CARREIRO, B.D.C.; MONTEIRO, F.A. Aspectos produtivos e diagnose nutricional do capim-tanzânia submetido a doses de potássio. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 14, p. 37-44, 2002.

MEDICI, L.O.; AZEVEDO, R.A.; SMITH, R.J.; LEA, P.J. The influence of nitrogen supply on antioxidant enzymes in plant roots. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 31, p. 1-9, 2004.

MEGDA, M.M. **Suprimento de nitrogênio e de potássio e características morfológicas, nutricionais e produtivas do capim-marandu**. 2009. 85 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 5<sup>th</sup> ed. Dordrechth: Kluwer Academic, 2001. 849 p.

MEIRI, A.; SILK, W.K.; LÄUCHLI, A. Growth and deposition of inorganic nutrient in developing leaves of *Zea mays* L. **Plant Physiology**, New York, v. 99, p. 972-978, 1992.

MONTEIRO, F.A. Amostragem de solo e de planta para fins de análises químicas: Métodos e interpretação de resultados. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 22., 2005, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2005. p. 151-179.

MONTEIRO, F.A.; RAMOS, A.K.B.; CARVALHO, D.D., ABREU, J.B.R.; DAIUB, J.A.S.; SILVA, J.E.P.; NATALE, W. Cultivo de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em solução nutritiva com omissões de macronutrientes. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 52, p. 135-141, 1995.

NABINGER, C.; MEDEIROS, R.B. Produção de sementes de *Panicum maximum*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 14., 1992, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1995. p. 59-128.

OLIVEIRA, P.P.A.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, W.S.; CORSI, M. Fertilização com nitrogênio e enxofre na recuperação de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em Neossolo quartzarênico. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, p. 1121-1129, 2005.

PEREIRA, W.L.M. **Doses de potássio e de magnésio em solução nutritiva para o capim-mombaça**. 2001. 128 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A.; CANTARELLA, H.; SILVA, A.G. Absorção de cátions e ânions pelo capim-Coastcross adubado com uréia e nitrato de amônio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 247-253, 2005.

PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A.; SILVA, A.G., CANTARELLA, H. Nutrientes na fitomassa de capim-marandu em função de fontes e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, p. 562-568, 2006.

ROBINSON, J.M. Does O<sub>2</sub> photoreduction occur within chloroplasts in vivo? **Plant Physiology**, New York, v. 72, p. 666-680, 1988.

RODRIGUES, R.C. **Calcário, nitrogênio e enxofre para a recuperação do capim-braquiária cultivado em solo proveniente de uma pastagem degradada**. 2002. 141 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2002.

RUGGIERI, A.C.; FAVORETTO, V.; MALHEIROS, E.B. Características de crescimento e produção de matéria seca da *Brachiaria brizantha* (Hochst) cv. Marandu em função de níveis de nitrogênio e regimes de corte. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 51, p. 149-155, 1994.

SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56 p.

SANTOS JUNIOR, J.D.G.; MONTEIRO, F.A. Nutrição em nitrogênio do capim-marandu submetido a doses de nitrogênio e idades de crescimento. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 60, p. 139-146, 2003.

SANTOS, J.H.S. **Proporção de nitrato e amônio na nutrição e produção dos capins Aruana e Marandu**. 2003. 81 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT**: user's guide, version 8.0. Cary, 2000.

SILVEIRA, C.P. **Produção e nutrição mineral do capim-tanzânia com variável disponibilidade de nitrogênio e cálcio**. 2005. 88 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SILVEIRA, C.P.; MONTEIRO, F.A. Morfogênese e produção de biomassa do capim-tanzânia adubado com nitrogênio e cálcio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, p. 335-342, 2007.

SMITH, G.S.; CORNFORTH, I.S.; HENDERSON, H.V. Critical leaf concentration for deficiencies of nitrogen, potassium, phosphorus, sulphur and magnesium in perennial ryegrass. **New Phytologist**, Oxford, v. 101, p. 393-409, 1985.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3<sup>rd</sup> ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2004. 102 p.

TANAKA, T.; SUZUI, N.; HAYASHI, H.; YAMAYA, T.; YONEYAMA, T. Cytosolic glutamine synthetase is present in the phloem sap of rice (*Oryza sativa* L.). **Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition**. Tokyo, v. 55, p. 102-106, 2009.

## 4 SISTEMA RADICULAR DO CAPIM-MARANDU: CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS E NUTRICIONAIS

### Resumo

O desenvolvimento do sistema radicular de gramíneas forrageiras tem sido influenciado pelo fornecimento de nutrientes minerais às plantas. O objetivo foi de testar o efeito de doses de nitrogênio e de magnésio na produção de massa seca, comprimento e superfície totais, comprimento e superfície específicos e concentrações de nitrogênio, magnésio, cálcio e potássio nas raízes da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. O experimento foi realizado em casa de vegetação, em Piracicaba – SP. Foram estudadas cinco doses de nitrogênio (2; 9; 16; 23 e 30 mmol L<sup>-1</sup>) e cinco doses de magnésio (0,05; 0,70; 1,35; 2,00 e 2,65 mmol L<sup>-1</sup>) em solução nutritiva, em esquema fatorial 5<sup>2</sup> fracionado, perfazendo as seguintes combinações: 2/0,05; 2/1,35; 2/2,65; 9/0,70; 9/2,00; 16/0,05; 16/1,35; 16/2,65; 23/0,70; 23/2,00; 30/0,05; 30/1,35 e 30/2,65. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. As plantas tiveram dois períodos de crescimento e após o segundo corte as raízes foram separadas da parte aérea. As combinações de altas doses de nitrogênio e de magnésio resultaram em sensíveis aumentos na produção de massa seca de raízes, e no comprimento e na superfície radicular do capim-marandu. De forma isolada, altas doses de nitrogênio e de magnésio resultaram em reduzidos comprimento e superfície específicos das raízes. As combinações de elevadas doses de nitrogênio e de magnésio proporcionaram aumento na concentração de nitrogênio e diminuição na concentração de potássio das raízes. A concentração de cálcio foi incrementada com as doses de nitrogênio e reduzida com as doses de magnésio. As doses de magnésio resultaram em aumento na concentração de magnésio das raízes do capim-marandu.

Palavras-chave: *Brachiaria brizantha*; Comprimento radicular; Macronutriente; Raiz; Solução nutritiva; Superfície radicular

### Abstract

The development of root system of forage grasses has been influenced by the supply of mineral nutrients to the plants. The objective was to study the effects of nitrogen and magnesium rates on dry mass, total length and surface, specific length and surface, and concentrations of nitrogen, magnesium, calcium and potassium in the root of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. The experiment was carried out in a greenhouse at Piracicaba, State of São Paulo, by using five rates of nitrogen (2, 9, 16, 23 and 30 mmol L<sup>-1</sup>) combined with five rates of magnesium (0.05, 0.70, 1.35, 2.00 and 2.65 mmol L<sup>-1</sup>) in nutrient solutions in an fractional 5<sup>2</sup> factorial, which resulted in 13 combinations among nitrogen and magnesium rates, in mmol L<sup>-1</sup>: 2/0.05, 2/1.35, 2/2.65, 9/0.70, 9/2.00, 16/0.05, 16/1.35, 16/2.65, 23/0.70, 23/2.00, 30/0.05, 30/1.35 and 30/2.65. The experimental design was a randomized block with four replications. Plants had two

growth periods, and the roots were separated from the tops after the second harvest. Combination of high rates of both nitrogen and magnesium resulted in expressive increases in Marandu palisadegrass roots dry mass, length and surface. High rates of each nitrogen and magnesium resulted in low root specific length and surface. Combinations of high rates of nitrogen and magnesium increased nitrogen concentration and decreased potassium concentration in the roots of the grass. Calcium concentration in the roots was increased by nitrogen rates and decreased by magnesium rates. Magnesium rates resulted in increases in magnesium concentration in the roots of the forage grass.

Keywords: *Brachiaria brizantha*; Macronutrient; Nutrient solution; Root; Root length; Root surface

#### 4.1 Introdução

No Brasil, as pastagens ocupam cerca de 172 milhões, superando em muito a área dedicada ao cultivo de grãos que é de 77 milhões de hectares (CENSO AGROPECUÁRIO, 2006). A maior parte da área de pastagens no país é ocupada por capins do gênero *Brachiaria* e atualmente a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu vem ocupando o espaço anteriormente usado com outras gramíneas, devido a sua boa capacidade produtiva.

De modo geral, pesquisas envolvendo o sistema radicular de plantas forrageiras são escassas. Entretanto, sabe-se que existe interdependência do sistema radicular com a parte aérea do pasto, onde as raízes suprem a planta com água e nutrientes, recebendo em troca produtos fotossintetizados e reguladores de crescimento (CECATO et al., 2004).

É importante entender como os nutrientes afetam o desenvolvimento das raízes do capim. A mudança no fornecimento de nutrientes pode alterar o crescimento e a morfologia das raízes, o que resulta em maior densidade de raízes no local de maior disponibilidade do nutriente (MARSCHNER, 1995).

O nitrogênio é o nutriente modulador do desenvolvimento das plantas e estimula o crescimento radicular quando fornecido próximo às raízes (GARNETT et al., 2009). Batista e Monteiro (2006), aplicando doses de nitrogênio e enxofre para o capim-

marandu, observaram que ocorre mais alto crescimento radicular em altas doses de nitrogênio na solução nutritiva.

Pouco se sabe sobre a influência do magnésio no desenvolvimento radicular do capim-marandu. Monteiro e Consolmagnò Neto (2008), combinando doses de potássio com doses de magnésio, verificaram aumento do crescimento do sistema radicular desse capim em doses elevadas de potássio e de magnésio. Esse macronutriente, além de fazer parte da molécula de clorofila, é o nutriente mineral que está mais envolvido na ativação enzimática (EPSTEIN; BLOOM, 2005), estando sua resposta intimamente ligada à presença de nitrogênio.

Para entender como o nitrogênio e o magnésio conjuntamente podem afetar o desenvolvimento radicular do capim-marandu, objetivou-se testar o suprimento de combinações de doses de nitrogênio e de magnésio na gramínea, por meio da avaliação das raízes quanto a produção de massa seca, comprimento e superfície totais, comprimento e superfície específicos e concentrações de nitrogênio, magnésio, cálcio e potássio.

## **4.2 Material e métodos**

O experimento foi realizado em casa de vegetação localizada em Piracicaba, Estado de São Paulo, estudando-se a gramínea forrageira *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Foram utilizados vasos plásticos com capacidade de 3,6 L, contendo quartzo moído como substrato, o qual foi lavado com água corrente e depois com água desionizada.

As sementes do capim foram germinadas em bandejas plásticas irrigadas com água desionizada e o transplante das mudas ocorreu 15 dias após a semeadura, quando as mudas apresentavam altura de aproximadamente 5 cm. Foram transplantadas 15 mudas em cada vaso, realizando-se desbastes sucessivos até permanecerem cinco plantas por vaso. Nos primeiros cinco dias após o transplante, as mudas foram mantidas em solução nutritiva diluída a 20% das definidas com as combinações de doses de nitrogênio e magnésio. As soluções foram circuladas três vezes durante o dia, foram drenadas para recipientes de 1 L no início da noite, tiveram

os volumes completados com água desionizada pela manhã e foram renovadas a cada 14 dias.

Foram estudadas cinco doses de nitrogênio (2; 9; 16; 23 e 30 mmol L<sup>-1</sup>) e cinco doses de magnésio (0,05; 0,70; 1,35; 2,00 e 2,65 mmol L<sup>-1</sup>) na solução nutritiva, em um esquema fatorial 5<sup>2</sup> fracionado, de acordo com Littell e Mott (1975), perfazendo o total de 13 combinações, a saber: 2/0,05; 2/1,35; 2/2,65; 9/0,70; 9/2,00; 16/0,05; 16/1,35; 16/2,65; 23/0,70; 23/2,00; 30/0,05; 30/1,35 e 30/2,65. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições.

A solução nutritiva foi preparada de acordo com Hoagland e Arnon (1950), modificada para atender as doses de nitrogênio e doses de magnésio do experimento (Tabela 4.1). Considerando os resultados apresentados por Abreu (1994), Monteiro et al. (1995) e Santos (2003) com gramíneas forrageiras, foi utilizada a proporção de 70%:30% de nitrato:amônio nas doses de nitrogênio. A concentração de potássio nas soluções nutritivas foi de 8 mmol L<sup>-1</sup>, em razão dos relatos de Mattos et al. (2002) e Consolmagno Neto, Monteiro e Dechen (2007).

Tabela 4.1 – Volumes das soluções estoque empregados no preparo das soluções nutritivas para as doses de nitrogênio e magnésio

<b>Nitrogênio (mmol L<sup>-1</sup>)</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>
<b>Magnésio (mmol L<sup>-1</sup>)</b>	<b>0,05</b>	<b>1,35</b>	<b>2,65</b>	<b>0,7</b>	<b>2</b>	<b>0,05</b>	<b>1,35</b>	<b>2,65</b>	<b>0,7</b>	<b>2</b>	<b>0,05</b>	<b>1,35</b>	<b>2,65</b>
Solução estoque	Volume (mL L <sup>-1</sup> )												
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
MgCl <sub>2</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	0,05	1,35	2,65	0,7	2	0,05	1,35	2,65	0,7	2	0,05	1,35	2,65
KNO <sub>3</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	0,8	0,8	0,8	3,6	3,6	6,4	6,4	6,4	7	7	7	7	7
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	0,6	0,6	0,6	2,7	2,7	4,8	4,8	4,8	6,9	6,9	9	9	9
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	1,1	2,5	2,5	2,5
CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O (0,01 mol L <sup>-1</sup> )	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
CaCl <sub>2</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	3	3	3	3	3	3	3	3	1,9	1,9	0,5	0,5	0,5
KCl (1 mol L <sup>-1</sup> )	6,2	6,2	6,2	3,4	3,4	0,6	0,6	0,6	-	-	-	-	-
Micro *	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

\* Composição da solução estoque de micronutrientes (g L<sup>-1</sup>): H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> = 2,86; MnCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O = 1,81; ZnCl<sub>2</sub> = 0,10; CuCl<sub>2</sub> = 0,10 e H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>.4H<sub>2</sub>O = 0,02.

\*\* Dissolveram-se 26,1 g de EDTA dissódico em 286 mL de NaOH 1 mol L<sup>-1</sup>, foram adicionados 24,0 g de FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, sendo arejado por uma noite e tendo o seu volume completado a 1 L com água desionizada.

O capim foi cultivado em dois períodos de crescimento da parte aérea, tendo o primeiro período compreendido 35 dias após o transplante das mudas e o segundo 28

dias após o primeiro corte das plantas. Após o segundo corte da parte aérea, as raízes foram separadas do substrato, com auxílio de duas peneiras com malha de 0,25 mm e 1 mm e foram lavadas em água corrente e desionizada.

Visando as determinações de comprimento e superfície radiculares, tratou-se de coletar aproximadamente 20% do total do volume das raízes, de acordo com o método proposto por Rossiello et al. (1995). Essa fração foi acondicionada em recipientes plásticos com água desionizada e colorida com solução de violeta genciana a  $50 \text{ g L}^{-1}$ , no período de 24 horas, para que as partes mais finas das raízes fossem coloridas. Em seguida as raízes foram colocadas sobre folhas de plástico transparente, de modo que não ocorresse sobreposição durante a digitalização da imagem das raízes. As imagens digitalizadas foram submetidas ao aplicativo SIARCS (Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo), versão 3.0, para a determinação do comprimento e superfície radiculares (CRESTANA et al., 1994).

As raízes, tanto as digitalizadas quanto as que não foram utilizadas para tal, foram secas a  $70^{\circ}\text{C}$  e tiveram a massa seca determinada. Com base na massa seca da subamostra digitalizada foram calculados o comprimento e a superfície totais de raízes em cada unidade experimental. Pela divisão dos valores totais de comprimento e superfície pela massa seca total das raízes obtiveram-se o comprimento radicular específico e a superfície radicular específica das raízes do capim.

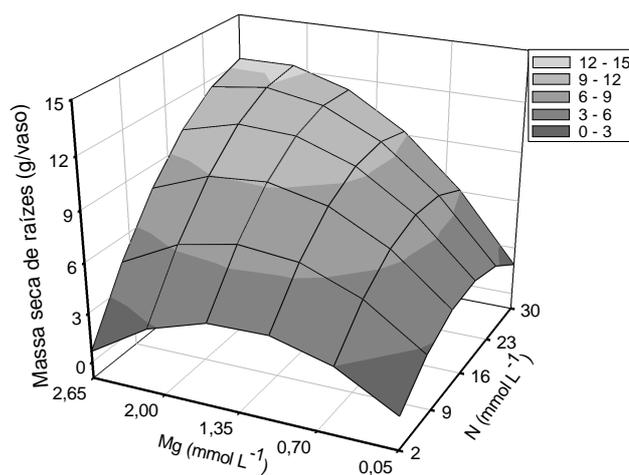
As raízes foram moídas em moinho tipo Wiley e acondicionadas em sacos plásticos. Para a determinação da concentração de nitrogênio, as amostras foram inicialmente submetidas à digestão sulfúrica enquanto para a determinação das concentrações dos cátions magnésio, potássio e cálcio realizou-se a digestão nítrico-perclórica. A determinação do nitrogênio foi completada com destilação e titulação, enquanto para o magnésio e cálcio empregou-se a espectrofotometria de absorção atômica e para o potássio efetuou-se a leitura em fotômetro de chama (SARRUGE; HAAG, 1974).

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa "SAS" (SAS, 2000). Inicialmente utilizou-se o teste F e, nos casos de significância da interação doses de nitrogênio x doses de magnésio, efetuou-se a análise de regressão polinomial (superfície de resposta) por meio do procedimento RSREG. Nos casos em que a

interação doses de nitrogênio x doses de magnésio não foi significativa, foi utilizada a análise de regressão com modelos de primeiro e segundo graus para as doses individuais desses nutrientes, por meio do comando GLM. Adotou-se o nível de significância de 5% para todos os casos analisados.

### 4.3 Resultados e discussão

Na produção de massa seca de raízes do capim-marandu foi significativa a interação doses de nitrogênio x doses de magnésio (Figura 4.1). A combinação nitrogênio de 30 mmol L<sup>-1</sup> com magnésio de 2,40 mmol L<sup>-1</sup> resultou na máxima produção de massa seca de raízes da gramínea.



$$Y = -0,046 + 0,426N - 0,013N^2 + 4,786Mg - 1,931Mg^2 + 0,147MgN$$

$$R^2 = 0,83^{**}$$

Figura 4.1 – Massa seca de raízes do capim-marandu submetido a combinações de doses de nitrogênio (N) e magnésio (Mg) na solução nutritiva

Com a utilização de doses elevadas de apenas um dos nutrientes (30 mmol L<sup>-1</sup> de nitrogênio ou 2,65 mmol L<sup>-1</sup> de magnésio) não foi possível maximizar a produção de massa seca de raízes do capim. Mesmo com doses medianas dos dois nutrientes, como nitrogênio de 16 mmol L<sup>-1</sup> e magnésio de 1,35 mmol L<sup>-1</sup>, a produção atingiu aproximadamente 80% da máxima. Batista e Monteiro (2006), estudando doses de nitrogênio (1; 9; 15; 24 e 33 mmol L<sup>-1</sup>) combinadas com doses de enxofre (0,1; 0,4; 1; 2

e  $2,5 \text{ mmol L}^{-1}$ ) no capim-marandu, observaram efeito positivo das doses de nitrogênio na produção de massa seca de raízes, porém as combinações das doses utilizadas não resultaram na máxima produção de massa seca de raízes do capim.

Corrêa (1996), em estudo com três cultivares de *Panicum maximum* (colonião, vencedor e tanzânia) para avaliação de três doses de nitrogênio ( $3, 15$  e  $27 \text{ mmol L}^{-1}$ ) combinadas com duas doses de magnésio ( $0,2$  e  $2 \text{ mmol L}^{-1}$ ), observou efeito significativo do suprimento de magnésio na produção de massa seca de raízes com a utilização de doses elevadas de nitrogênio. No presente experimento, quando foram utilizadas baixas doses de nitrogênio não houve resposta às doses de magnésio devido a deficiência de nitrogênio (Figura 4.1).

Monteiro e Consolmagno Neto (2008), em experimento com *Panicum maximum* cv. Tanzânia para a avaliação de combinações de doses de potássio com doses de magnésio, em presença de nitrogênio de  $21 \text{ mmol L}^{-1}$ , constataram que a combinação da dose de potássio de  $8,4 \text{ mmol L}^{-1}$  com magnésio de  $1,9 \text{ mmol L}^{-1}$  foi a que resultou na máxima produção de massa seca de raízes. Porém, no presente experimento (Figura 4.1) observou-se que nessas doses o capim-marandu não atingiu a máxima produção de massa seca de raízes, sendo necessária a utilização de doses mais elevadas de magnésio e, principalmente, nitrogênio para a maximização da produção. A dose de nitrogênio, no experimento de Monteiro e Consolmagno Neto (2008), pode não ter sido suficiente para o capim-tanzânia atingir a máxima produção de massa seca de raízes.

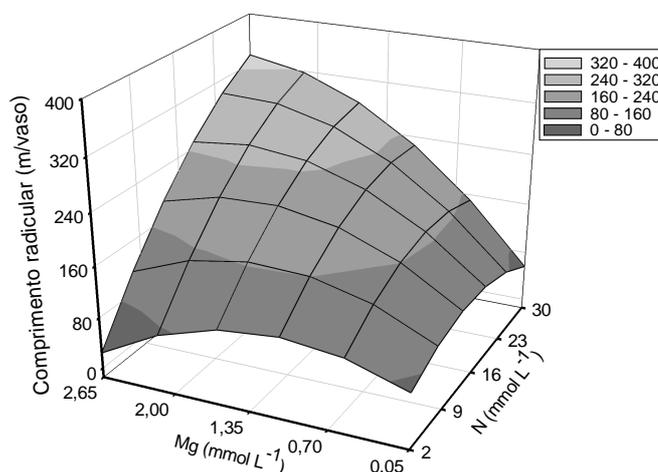
A produção de massa seca de raízes, considerada de forma isolada, não contribui para avaliação do crescimento e da nutrição da planta, pois raízes velhas e espessas tem apreciável contribuição de massa seca, mas pouco participam da absorção de água e nutrientes (MENGEL; KIRKBY, 2001). Para melhor avaliação do crescimento e nutrição do capim é preciso também conhecer o comprimento e a superfície radicular, os quais estão relacionados à absorção de água e nutrientes pela planta (ZONTA et al., 2006).

A interação doses de nitrogênio x doses de magnésio foi significativa para o comprimento radicular (Figura 4.2). As combinações das mais altas doses de nitrogênio e magnésio não foram suficientes para atingir o máximo comprimento radicular do

capim (Figura 4.2). As combinações das mais altas doses de nitrogênio e magnésio proporcionaram cinco vezes mais comprimento radicular do que as combinações das mais baixas doses desses macronutrientes.

Lavres Junior e Monteiro (2003), em estudo com *Panicum maximum* cv. Mombaça submetido a doses de nitrogênio e potássio observaram que o nitrogênio foi o principal nutriente modulador das respostas para o atributo produtivo das raízes, ainda que a mais alta dose de nitrogênio utilizada ( $33 \text{ mmol L}^{-1}$ ) não tenha sido suficiente para maximizar o comprimento radicular.

Monteiro e Consolmagno Neto (2008) constataram que o comprimento radicular do capim-tanzânia foi maximizado somente com o uso de alta dose de potássio ( $10,9 \text{ mmol L}^{-1}$ ) combinada com alta dose de magnésio ( $2,3 \text{ mmol L}^{-1}$ ), para dose de nitrogênio de  $21 \text{ mmol L}^{-1}$ . Assim, o não suprimento de mais alta dose de nitrogênio do que  $21 \text{ mmol L}^{-1}$  pode ter limitado o desenvolvimento do sistema radicular, pois Lavres Junior e Monteiro (2003), também com *Panicum maximum*, não obtiveram ponto de máxima produção do capim demonstrando a necessidade de doses de nitrogênio mais elevadas do que  $21 \text{ mmol L}^{-1}$  para a maximização da produção de raízes.

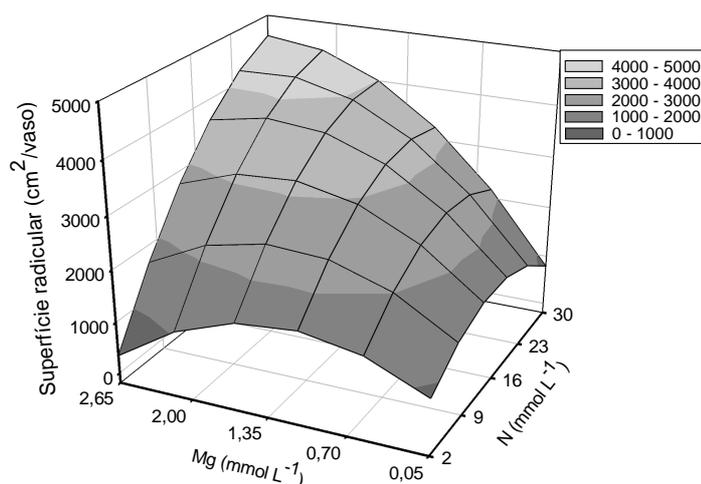


$$Y = 56,163 + 5,973N - 0,210N^2 + 70,434Mg - 36,052Mg^2 + 4,246MgN$$

$$R^2 = 0,75^{**}$$

Figura 4.2 – Comprimento radicular do capim-marandu submetido a combinações de doses de nitrogênio (N) e magnésio (Mg) na solução nutritiva

Na superfície radicular do capim-marandu foi significativa a interação doses de nitrogênio x doses de magnésio (Figura 4.3). As doses utilizadas não foram suficientes para obter a máxima superfície radicular do capim. Pode-se observar que as baixas doses de nitrogênio e de magnésio resultaram em menor superfície radicular do capim do que altas doses de nitrogênio e de magnésio. Estes resultados concordam com os relatados por Batista e Monteiro (2006), que, ao aplicarem doses de nitrogênio e enxofre no capim-marandu, observaram que baixas doses de nitrogênio resultaram em menor superfície radicular da gramínea do que altas doses de nitrogênio também estão de acordo com Monteiro e Consolmagno Neto (2008), que em baixas doses de magnésio obtiveram menor superfície radicular do capim-tanzânia em que altas doses de magnésio, quando este foi submetido a doses de potássio e de magnésio.



$$Y = 602,545 + 113,958N - 3,751N^2 + 1209,904Mg - 568,638Mg^2 + 59,651MgN$$

$$R^2 = 0,78^{**}$$

Figura 4.3 – Superfície radicular do capim-marandu submetido a combinações de doses de nitrogênio e magnésio na solução nutritiva

A interação doses de nitrogênio x doses de magnésio não foi significativa para o comprimento específico de raízes do capim-marandu, sendo verificados efeitos isolados para as doses de nitrogênio e doses de magnésio (Figuras 4.4a e 4.4b, respectivamente). As mais baixas doses de nitrogênio e de magnésio resultaram em maior comprimento específico de raízes do capim do que as mais altas doses de nitrogênio e magnésio. Os pontos de mínimo comprimento específico de raízes da

gramínea foram atingidos nas doses de 17,7 e 1,7 mmol L<sup>-1</sup> de nitrogênio e magnésio, respectivamente.

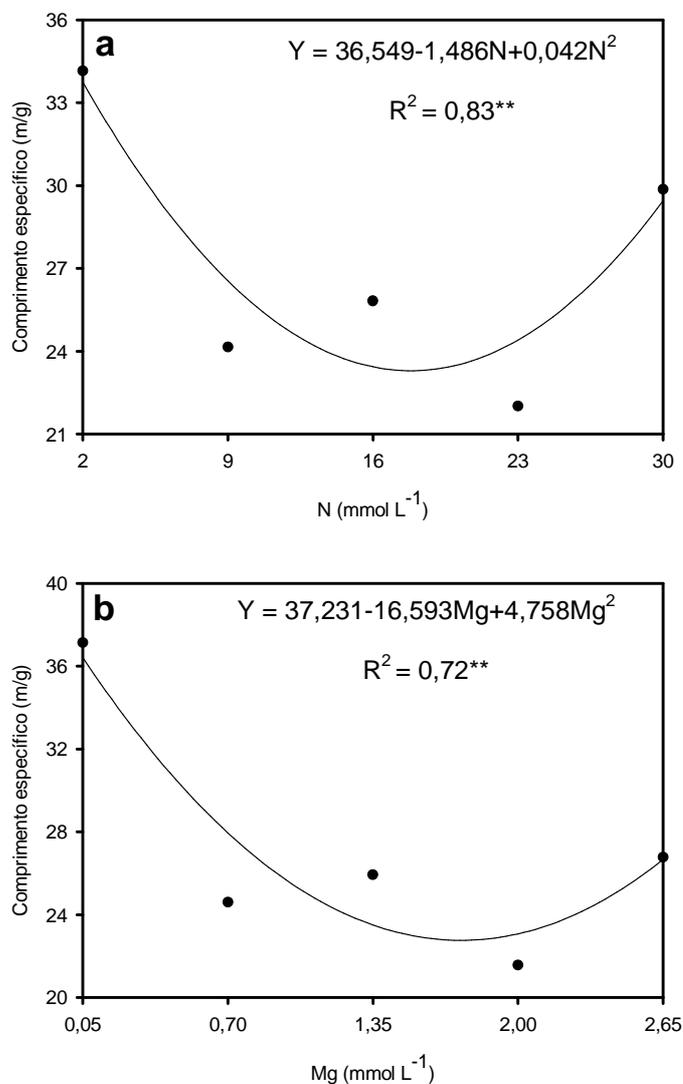


Figura 4.4 – Comprimento específico de raízes do capim-marandu submetido a doses de nitrogênio (a) e doses de magnésio (b) na solução nutritiva

Em condições de baixo fornecimento de nutrientes as plantas produzem raízes muito finas, o que resulta em maior comprimento específico, reduzindo a massa seca e o volume de raízes (FITTER, 1999; LAVRES JUNIOR; MONTEIRO, 2003). No entanto, pode-se observar que na dose de nitrogênio de 30 mmol L<sup>-1</sup> (Figura 4.4a) ocorre aumento de raízes finas em relação à dose de nitrogênio de 16 mmol L<sup>-1</sup>, o mesmo não

foi observado para a mais alta dose de magnésio em comparação à dose de magnésio de  $1,35 \text{ mmol L}^{-1}$  (Figura 4.4b). Neste caso, sabe-se que regiões mais novas do sistema radicular tem maior capacidade de absorção, devido ao maior influxo de nutrientes e por existir mais superfícies aptas à absorção do que regiões suberizadas (ZONTA et al., 2006). O aumento da dose nitrogênio de  $16 \text{ mmol L}^{-1}$  para  $30 \text{ mmol L}^{-1}$  resultou no aparecimento de novas estruturas de raízes do capim, para que o macronutriente fosse absorvido.

De modo similar ao ocorrido com o comprimento específico de raízes, a superfície específica de raízes do capim-marandu teve efeitos significativos das doses de nitrogênio e de magnésio isoladamente (Figuras 4.5a e 4.5b, respectivamente). A dose mais alta de nitrogênio proporcionou maior superfície específica de raízes do que a dose de nitrogênio de  $16 \text{ mmol L}^{-1}$ , pela formação de novas raízes. Em doses de magnésio maiores que  $0,7 \text{ mmol L}^{-1}$  não foram observadas diferenças significativas nas superfícies específicas de raízes em relação à dose de magnésio de  $0,05 \text{ mmol L}^{-1}$ .

Marschner (1995) relatou que o suprimento de nutrientes pode alterar fortemente o crescimento e a morfologia das raízes, sendo o efeito mais marcante para o fornecimento de nitrogênio. A planta em ambiente com baixa concentração de nitrogênio investe grande parte da sua massa seca total nas raízes (HILL et al., 2006), o que resulta em mudanças na forma do sistema radicular. A situação de mudança da morfologia das raízes e parte aérea é comum em plantas que estão sofrendo estresse por falta de nutrientes (SCHIPPERS; OLFF, 2000).

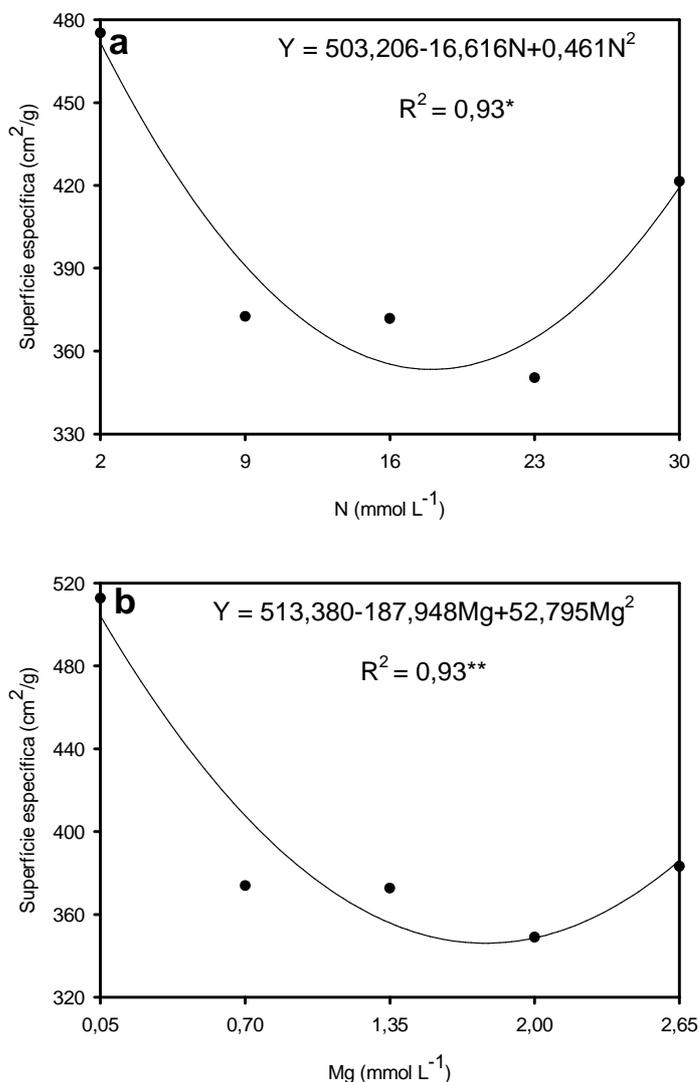
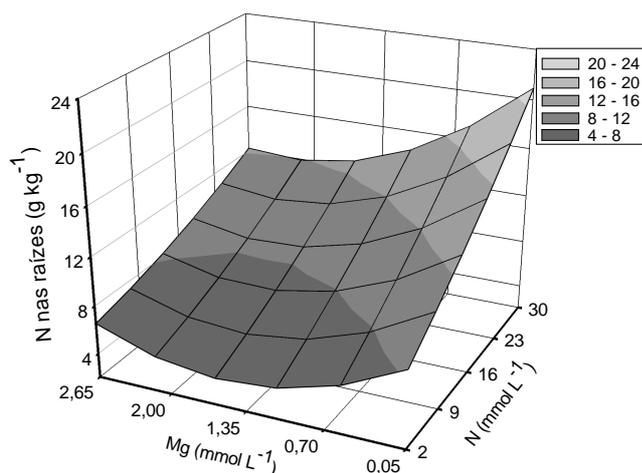


Figura 4.5 – Superfície específica de raízes do capim-marandu submetido a doses de nitrogênio (a) e doses de magnésio (b) na solução nutritiva

A interação doses de nitrogênio x doses de magnésio foi significativa para a concentração de nitrogênio nas raízes do capim-marandu (Figura 4.6). A concentração de nitrogênio nas raízes atingiu o mais alto valor quando se utilizou a mais alta dose de nitrogênio combinada com a mais baixa dose de magnésio. Alta dose de nitrogênio combinada com alta dose de magnésio resultou em menor concentração de nitrogênio nas raízes do que a combinação de alta dose de nitrogênio com baixa dose de magnésio. Isto mostra a importância do magnésio na absorção e no metabolismo do

nitrogênio, sendo o nitrogênio direcionado para a realização de suas funções na planta de forma mais eficiente. Observou-se a variação de 4 a 24 g kg<sup>-1</sup> na concentração de nitrogênio nas raízes, sendo os maiores valores atingidos quando foram fornecidas baixas doses de magnésio.



$$Y = 7,9216 + 0,3597N + 0,0029N^2 - 5,6524Mg + 1,9048Mg^2 - 0,0946MgN$$

$$R^2 = 0,82^{**}$$

Figura 4.6 – Concentração de nitrogênio nas raízes do capim-marandú submetido a combinações de doses de nitrogênio (N) e magnésio (Mg) na solução nutritiva

Em condições de deficiência de magnésio no capim simultânea à presença de altas concentrações de nitrogênio na solução, a absorção do nitrogênio pode estar sendo limitada para evitar a produção de espécies reativas em oxigênio (ROS) nas raízes e na parte aérea do capim. Segundo Medici et al. (2004), a planta possui diversos mecanismos para evitar a acumulação de ROS, ao evitar a absorção de excesso de nitrogênio e pela defesa auxiliar com enzimas antioxidantes.

Manarin e Monteiro (2002), ao avaliarem o crescimento do capim-mombaça, observaram que o incremento das doses de nitrogênio na solução resultou em aumento linear na concentração de nitrogênio nas raízes, ressaltando a capacidade do capim em armazenar parte do nitrogênio nas raízes. A capacidade do capim armazenar nitrogênio nas raízes é resultado de equilíbrio entre a concentração de nitrogênio na parte aérea e nas raízes (OVERMAN; SCHOLTZ, 2003).

A disponibilidade de altas concentrações de nitrogênio na solução resultou em maior absorção do nutriente pela planta do que em situações de deficiência ou baixa disponibilidade. A maior disponibilidade de nitrogênio resultou em armazenamento do nutriente nas folhas, colmos, bainhas e raízes (LAVRES JUNIOR; MONTEIRO, 2006), mantendo-se sempre o equilíbrio dentro das células da gramínea.

A concentração de magnésio nas raízes variou linear e positivamente com as doses de magnésio fornecidas ao capim (Figura 4.7). Monteiro e Consolmagno Neto (2008) também verificaram efeito linear das doses de magnésio na concentração de magnésio nas raízes do capim-tanzânia. A elevação na concentração de magnésio nas raízes causou desequilíbrio entre os cátions (MENGEL; KIRKBY, 2001), o que resultou em mais baixa concentração de cálcio e potássio no capim (MONTEIRO; CONSOLMAGNO NETO, 2008).

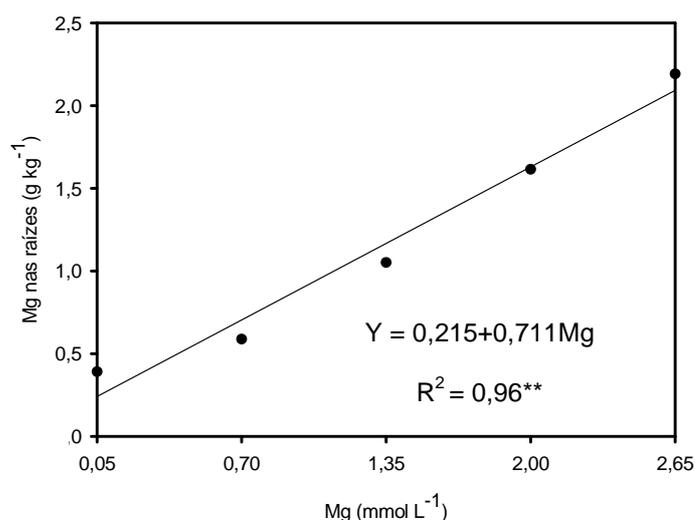


Figura 4.7 – Concentração de magnésio nas raízes do capim-marandu submetido a doses de magnésio na solução nutritiva

A interação doses de nitrogênio x doses de magnésio não foi significativa para a concentração de cálcio nas raízes do capim-marandu. A elevação da disponibilidade de nitrogênio resultou em aumentos lineares na concentração de cálcio nas raízes (Figura 4.8a), atingindo valores próximos a 3 g kg<sup>-1</sup>, enquanto a variação no suprimento de magnésio resultou em decréscimo linear na concentração de cálcio nas raízes capim (Figura 4.8b), proporcionando valores menores que 1,6 g kg<sup>-1</sup>.

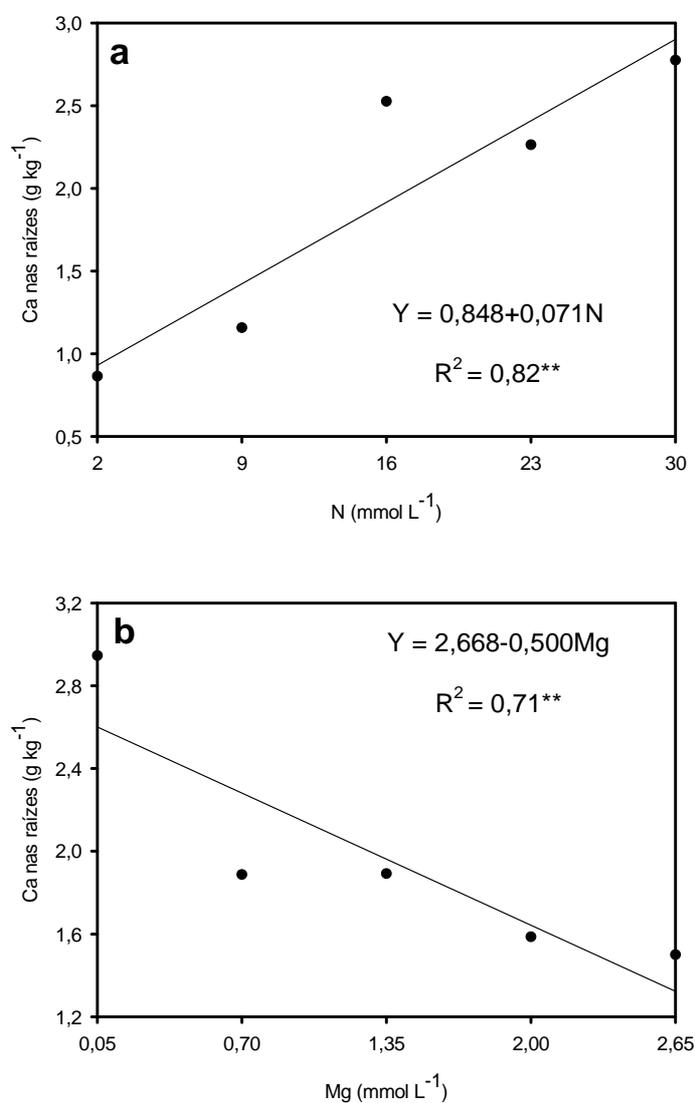


Figura 4.8 – Concentração de cálcio nas raízes do capim-marandu submetido a doses de nitrogênio (a) e doses de magnésio (b) na solução nutritiva

O cálcio é utilizado na síntese de novas paredes celulares da planta, estando localizado particularmente na lamela média (TAIZ; ZEIGER, 2004). O aumento nas doses de nitrogênio (Figura 4.8a) poderia incrementar a exigência do capim por cálcio, para formação e fortalecimento da parede celular, nas funções de ativação enzimática e no balanço de cátions que o nutriente desempenha no desenvolvimento da planta (EPSTEIN; BLOOM, 2005). Entretanto, Silveira (2005) observou que o incremento das

doses de nitrogênio no capim-tanzânia não resultou em mais alta concentração de cálcio nas raízes da gramínea.

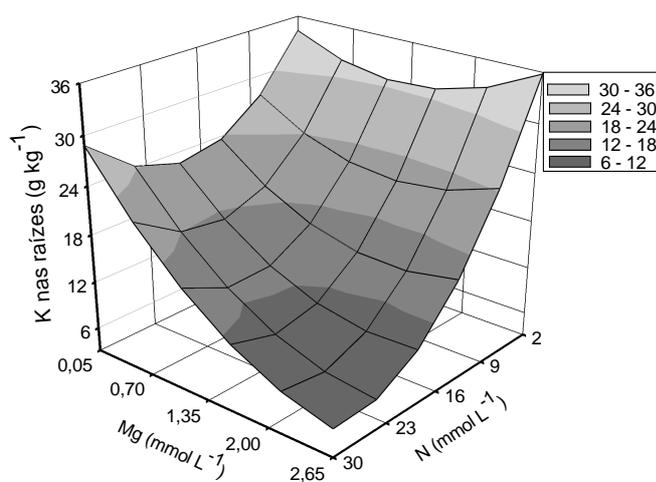
O aumento na concentração de cálcio nas raízes do capim-marandu em função das doses de nitrogênio pode estar relacionado a funções e características específicas dessa gramínea e que precisam ser elucidadas. Foi observado neste experimento e por Monteiro et al. (1995), que o capim-marandu submetido à dose de cálcio de  $5 \text{ mmol L}^{-1}$ , com os demais nutrientes em doses adequadas, a concentração de cálcio nas raízes variou de  $3,0$  e  $4,6 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente, podendo ser indício de alto armazenamento de cálcio por este capim, considerando que Silveira (2005) observou aumento na concentração de cálcio nas raízes até o valor de  $2,5 \text{ g kg}^{-1}$ , na dose de cálcio de  $5,5 \text{ mmol L}^{-1}$ .

O aumento na dose de magnésio na solução nutritiva resultou em mais baixa concentração de cálcio nas raízes (Figura 4.8b). Em razão do antagonismo existente entre o cálcio e o magnésio, a maior absorção de magnésio resultou menor absorção de cálcio, com o incremento das doses de magnésio. Também, cabe destacar que a soma total dos cátions em uma planta é pouco variável (MENGEL; KIRKBY, 2001) e se existir desequilíbrio entre cátions poderão ocorrer alterações no metabolismo do capim devido à deficiência de outros cátions.

Para a concentração de potássio nas raízes, foi significativa a interação doses de nitrogênio x doses de magnésio (Figura 4.9). Essa concentração do nutriente nas raízes apresentou mínimo valor quando o capim recebeu as mais altas doses de nitrogênio e de magnésio. Observou-se que a concentração de potássio nas raízes variou de  $6$  a  $36 \text{ g kg}^{-1}$  quando o capim recebeu as mais altas doses de nitrogênio e magnésio e quando recebeu as mais baixas doses desses macronutrientes, respectivamente. O aumento da disponibilidade de nitrogênio e magnésio para as raízes proporcionou menor concentração de potássio nas raízes do que quando o nitrogênio e magnésio estavam em baixa concentração na solução nutritiva (Figura 4.9).

O nitrogênio e o potássio são requeridos em grandes quantidades pela planta para que ocorra a máxima produção das raízes do capim. Alta dose de nitrogênio incrementou o crescimento do sistema radicular do capim, o que resultou na diluição da concentração de potássio nas raízes, enquanto alta dose de magnésio proporcionou

mais baixa concentração de potássio nas raízes por existir antagonismo entre os cátions (PRIMAVESI, 2006). O potássio mantido na mesma concentração na solução nutritiva e ocorrendo desequilíbrio entre os nutrientes, devido às altas doses de nitrogênio e de magnésio, pode resultar em deficiência de potássio na planta.



$$Y = 37,4808 - 1,6034N + 0,0446N^2 - 5,5191Mg + 2,5237Mg^2 - 0,3294MgN$$

$$R^2 = 0,76^{**}$$

Figura 4.9 – Concentração de potássio nas raízes do capim-marandu submetido a combinações de doses de nitrogênio e magnésio na solução nutritiva

A absorção, translocação e assimilação de cátions e ânions pelas plantas dependem da concentração do nutriente na solução e também da presença na solução de outros cátions e ânions (MARSCHNER, 1995). O antagonismo verificado entre magnésio cálcio e potássio também foi observado por Monteiro e Consolmagno Neto (2008) com o capim-tanzânia.

#### 4.4 Conclusões

As combinações de altas doses de nitrogênio e de magnésio aumentaram a produção de massa seca de raízes e o comprimento e a superfície radicular do capim-marandu. De forma isolada, altas doses de nitrogênio e de magnésio resultaram em

mais baixos comprimento e superfície específicos das raízes. As combinações de elevadas doses de nitrogênio e de magnésio proporcionaram aumento na concentração de nitrogênio e diminuição na concentração de potássio das raízes. A concentração de cálcio foi incrementada com as doses de nitrogênio e reduzida com as doses de magnésio. As doses de magnésio resultaram em aumento na concentração de magnésio das raízes do capim-marandu.

## Referências

- ABREU, J.B.R. **Níveis de nitrogênio e proporções de nitrato e amônio afetando a produção, atividade da redutase do nitrato e composição de três gramíneas forrageiras**. 1994. 109 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.
- BATISTA, K.; MONTEIRO, F.A. Sistema radicular do capim-marandu, considerando as combinações de doses de nitrogênio e enxofre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 821-828, 2006.
- CECATO, U.; JOBIM, C.C.; REGO, F.C.A.; LENZI, A.. Sistema radicular – componente esquecido das pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 2., 2004, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004. p. 159-207.
- CENSO AGROPECUÁRIO. [2006]. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2006. Disponível em: < [http:// www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em: 13 ago. 2009.
- CONSOLMAGNO NETO, D.; MONTEIRO, F.A.; DECHEN, A.R. Características produtivas do capim-tanzânia cultivado com combinações de potássio e de magnésio. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 29, p. 459-467, 2007.
- CORRÊA, B.D. **Doses de nitrogênio e de magnésio afetando aspectos produtivos e bioquímicos dos capins Colômbia, Tanzânia-1 e Vencedor**. 1996. 76 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.
- CRESTANA, S.; GUIMARÃES, M.F.; JORGE, L.A.C.; RALISCH, R., TOZZI, C.L., TORRE, A.; VAZ, C.M.P. Avaliação da distribuição de raízes no solo auxiliada por processamento de imagens digitais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, p. 365-371, 1994.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. Sunderland: Sinauer Associates, 2005. 400 p.

FITTER, A.H. Characteristics and functions of root systems. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Ed.). **Plant roots: the hidden half**. New York: Marcel Dekker, 1996. chap. 1, p. 1- 20.

GARNETT, T.; CONN, V.; KAISER, B.N. Root based approaches to improving nitrogen use efficiency in plants. **Plant, Cell and Environment**, Logan, v. 32, p. 1272-1283, 2009.

HILL, J.O., SIMPSON, R.J., MOORE, A.D.; CHAPMAN, D.F. Morphology and response of roots of pasture species to phosphorus and nitrogen nutrition. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 286, p. 7-19, 2006.

HOAGLAND, D.; ARNON, D.I. **The water culture method for growing plants without soil**. Ona: California Agriculture Experimental Station, 1950. 347 p. (Circular, 347).

LAVRES JUNIOR, J.; MONTEIRO, F.A. Perfilhamento, área foliar e sistema radicular do capim-mombaça submetido a combinações de doses de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, p. 1068-1075, 2003.

\_\_\_\_\_. Diagnose nutricional de nitrogênio no capim-aruaana em condições controladas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 829-837, 2006.

LITTELL, R.C.; MOTT, G.O. Computer assisted design and analysis of response surface experiments in agronomy. **Soil and Crop Society of Florida Proceedings**, Ona, v. 34, p. 94-97, 1975.

MANARIN, C.A.; MONTEIRO, F.A. Nitrogênio na produção e diagnose foliar do capim-mombaça. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 59, p. 115-123, 2002.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2<sup>nd</sup> ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MATTOS, W.T.; SANTOS, A.R.; ALMEIDA, A.A.S.; CARREIRO, B.D.C.; MONTEIRO, F.A. Aspectos produtivos e diagnose nutricional do capim-tanzânia submetido a doses de potássio. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 14, p. 37-44, 2002.

MEDICI, L.O.; AZEVEDO, R.A.; SMITH, R.J.; LEA, P.J. The influence of nitrogen supply on antioxidant enzymes in plant roots. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 31, p. 1-9, 2004.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 5<sup>th</sup> ed. Dordrechth: Kluwer Academic, 2001. 849 p.

MONTEIRO, F.A.; CONSOLMAGNO NETO, D. Sistema radicular do capim-tanzânia adubado com potássio e magnésio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, p. 810-818, 2008.

MONTEIRO, F.A.; RAMOS, A.K.B.; CARVALHO, D.D.; ABREU, J.B.R.; DAIUB, J.A.S.; SILVA, J.E.P.; NATALE, W. Cultivo de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em solução nutritiva com omissões de macronutrientes. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 52, p. 135-141, 1995.

OVERMAN, A.R.; SCHOLTZ, R.V. Model analysis of forage response to split applications of nitrogen. II. Coupling of roots and tops. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 34, p. 1539-1548, 2003.

PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A.; SILVA, A.G.; CANTARELLA, H. Nutrientes na fitomassa de capim-marandu em função de fontes e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, p. 562-568, 2006.

ROSSIELO, R.O.P.; ARAÚJO, A.P.; MANZATTO, C.V.; FERNANDES, M.S. Comparação dos métodos fotoelétricos e da interação na determinação de área, comprimento e raio médio radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, p. 633-638, 1995.

SANTOS, J.H.S. **Proporção de nitrato e amônio na nutrição e produção dos capins Aruana e Marandu**. 2003. 81 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56 p.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT: user's guide**, version 8.0. Cary, 2000.

SCHIPPERS, P.; OLFF, H. Biomass partitioning, architecture and turnover of six herbaceous species from habitats with different nutrient supply. **Plant Ecology**, Dordrecht, v. 149, p. 219–231, 2000.

SILVEIRA, C.P. **Produção e nutrição mineral do capim-tanzânia com variável disponibilidade de nitrogênio e cálcio**. 2005. 88 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2004. 102 p.

ZONTA, E.; BRASIL, F.C.; GOI, S.R.; ROSA, M.M.T. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 7-52.

## 5 CONCLUSÕES GERAIS

As combinações de altas doses de nitrogênio e magnésio resultaram em elevação da produção de massa seca, do número de folhas e perfilhos e da área foliar, nas épocas dos dois cortes, bem como da produção de massa seca de raízes, do comprimento e da superfície radicular do capim-marandu.

As concentrações de nitrogênio nas folhas diagnósticas (segundo corte) e nas raízes e cálcio (nos dois cortes) nas folhas diagnósticas foram mais altas em presença das combinações de elevadas doses de nitrogênio e de magnésio. As concentrações de potássio tanto nas folhas diagnósticas quanto nas raízes da gramínea, nos dois cortes, foram mais baixas quando se utilizaram combinações de elevadas doses de nitrogênio e de magnésio. As concentrações de nitrato nas folhas diagnósticas foram influenciadas pelas combinações de doses de nitrogênio e magnésio. A relação de 6,3:1 entre as concentrações de nitrogênio e de magnésio nas folhas diagnósticas correspondeu à máxima produção de massa seca no primeiro crescimento do capim-marandu.

O incremento nas doses de nitrogênio proporcionou maiores concentrações de nitrogênio (primeiro corte) e amônio nas lâminas das folhas recém-expandidas e de cálcio nas raízes, e mais baixos comprimento e superfície específicos das raízes e atividade da enzima glutamina sintetase .

O fornecimento das mais altas doses de magnésio determinou mais elevada concentração de magnésio nas folhas recém-expandidas e nas raízes da gramínea e mais baixas concentração de cálcio nas raízes, e comprimento e superfície específicos das raízes do capim-marandu.