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

**Suprimento de nitrogênio e de potássio e características morfogênicas,
nutricionais e produtivas do capim-Marandu**

Marcio Mahmoud Megda

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

**Piracicaba
2009**

Marcio Mahmoud Megda
Engenheiro Agrônomo

Suprimento de nitrogênio e de potássio e características morfogênicas, nutricionais e produtivas do capim-Marandu

Orientador:
Prof. Dr. FRANCISCO ANTONIO MONTEIRO

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

Piracicaba
2009

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

Megda, Marcio Mahmoud

Suprimento de nitrogênio e de potássio e características morfogênicas, nutricionais e produtivas do capim-Marandu / Marcio Mahmoud Megda. - - Piracicaba, 2009.
84 p. : il.

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

1. Capim marandu - Produtividade 2. Diagnose foliar 3. Morfogênese vegetal 4. Nitratos
5. Nitrogênio 6. Nutrição vegetal 7. Potássio 8. Sistema radicular I. Título

CDD 633.2
M496s

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

Aos meus pais **Valdir Reis Megda** e **Sandra Irabi Mahmoud**, por confiarem, incentivarem e me apoiarem em todos os momentos da minha vida. A vocês minha grande admiração;

Aos meus tios **Valdir Antônio Garcia** e **Sheila Irabi Mahmoud Garcia**, por terem me tratado como filho, proporcionando tranquilidade nos momentos difíceis e contribuindo para minha formação. A vocês a minha eterna gratidão;

Ao meu irmão **Rustain**, pelo carinho em todos os momentos;

À minha avó materna **Shamira** “in memoriam”, pelo carinho e incentivo a nunca parar de estudar. A você minha infinita saudade;

À toda minha família, em especial aos meus avôs, tios e primos;

À minha amada esposa **Michele**, pelo amor, carinho, companheirismo, cumplicidade e incentivo nas horas difíceis. A você meu eterno amor.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo, por proporcionar o dom da vida e iluminar e guiar nos caminhos nem sempre fáceis de serem trilhados;

Ao Professor Francisco Antonio Monteiro, pela orientação, auxílio, compreensão, ensinamentos, verdadeira amizade e exemplo profissional de competência e integridade;

Aos professores da pós-graduação, em especial aos professores Antonio Roque Dechen e Quirino Augusto de Camargo Carmello, pela amizade e por todos os conhecimentos transmitidos, que contribuíram para a minha formação;

Às professoras Maria do Carmo Bittencourt-Oliveira e Helaine Carrer da ESALQ/USP e à professora Giussepina Pace Pereira Lima da UNESP/Botucatu. Aos funcionários Paulo Jaoude, José Arnaldo de Carvalho Barros e à bióloga Aline Sambugaro Pizoni e pelo apoio em parte do trabalho;

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;

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos;

Ao professor Salatiér Buzetti, da UNESP/Ilha Solteira, orientador na graduação, responsável, por me despertar o interesse na pesquisa e pelo incentivo em buscar a pós-graduação;

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 atenção e apoio dispensados;

Aos colegas de pós-graduação, por toda ajuda, companheirismo e partilha dos conhecimentos: Adriana Guirado Artur, Adna Dutra, Cristiane Prezotto Silveira, Daniela Alves de Oliveira, Daniel Manfredini, Elisângela Dupas, Fabiana Schmidt, Fabiano Daniel de Bona, Magnus Dall’Igna Deon, Roberta Corrêa Nogueirol e Tiago Barreto Garcez;

Ao grupo de estagiários da Nutrição Mineral de Plantas e, em especial a Arlete Simões Barneze e Carolina Andrade Wippich, pelo apoio durante a condução do experimento;

A todos os professores do curso que, direta ou indiretamente, auxiliaram na minha formação acadêmica e na elaboração dessa Dissertação;

Aos amigos Diogo Carneiro Melo e Weliton Dias da Silva pela convivência fraterna nesses dois anos de pós-graduação, ao casal Tiago M. Santos e Ana F. G. Faria, pelo grande apoio na condução do experimento em casa de vegetação e nas análises laboratoriais e ao Aparecido Júnior;

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

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	11
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 para plantas forrageiras.....	15
2.4 Potássio para plantas forrageiras.....	19
2.5 Relação nitrogênio:potássio.....	22
Referências.....	24
3 SUPRIMENTO COMBINADO DE NITROGÊNIO COM POTÁSSIO PARA O CAPIM-MARANDU: CARACTERÍSTICAS MORFOGÊNICAS E PRODUTIVAS.....	29
Resumo.....	29
Abstract.....	29
3.1 Introdução.....	30
3.2 Material e Métodos.....	31
3.3 Resultados e Discussão.....	33
3.4 Conclusões.....	47
Referências.....	48
4 FORNECIMENTO DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO E A NUTRIÇÃO MINERAL NESSES NUTRIENTES NO CAPIM- MARANDU.....	53
Resumo	53
Abstract.....	53
4.1 Introdução.....	55
4.2 Material e Métodos.....	56

4.3 Resultados e Discussão.....	58
4.4 Conclusões.....	78
Referências	79

RESUMO

Suprimento de nitrogênio e de potássio e características morfogênicas, nutricionais e produtivas do capim-Marandu

O nitrogênio e o potássio são essenciais para o desenvolvimento das plantas, são os nutrientes extraídos em altas quantidades e sua disponibilidade pode alterar as características produtivas e nutricionais das plantas. Assim, objetivou-se estudar: a) as características morfogênicas e a produção de massa seca da parte aérea e das raízes da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e b) a concentração de nitrogênio, potássio, nitrato e amônio nas lâminas de folhas recém-expandidas e nas raízes, bem como o valor SPAD, a atividade da enzima redutase do nitrato, a distribuição percentual do nitrato e amônio nas partes da planta forrageira e a distribuição percentual de nitrato e amônio entre parte aérea e raízes na *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, submetida a combinações de doses de nitrogênio e potássio. O experimento foi realizado em casa de vegetação em solução nutritiva empregando-se sílica como substrato no período de dezembro de 2007 a fevereiro de 2008. Utilizou-se o esquema fatorial 5^2 fracionado, com 13 combinações de nitrogênio e potássio, as quais foram distribuídas segundo o delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições. Foram realizados dois cortes nas plantas. A interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio foi significativa para número de perfilhos e de folhas, área foliar, massa seca da parte aérea e de raízes, comprimento e superfície total radicular e comprimento e superfície específica das raízes. A produção de massa seca da parte aérea teve forte correlação positiva com os parâmetros produtivos. As doses de nitrogênio se mostraram moduladoras do desenvolvimento do sistema radicular, o comprimento e superfície específicos diminuíram com emprego de altas doses de nitrogênio e potássio. A interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio foi significativa para as concentrações de nitrogênio, potássio, nitrato e amônio em lâminas de folhas recém-expandidas e nas raízes. A atividade da enzima redutase do nitrato sofreu incremento com aumento das doses de nitrogênio e de potássio, em si. A distribuição percentual de nitrato e amônio ocorreu na ordem: colmos mais bainhas > lâminas de folhas recém-expandidas > folhas em expansão > lâminas de folhas maduras, evidenciando os colmos mais bainhas como parte da planta de acúmulo de nitrato e amônio e de mais baixa atividade da enzima redutase do nitrato. As doses de nitrogênio mostraram-se grande influenciadoras do valor SPAD, que aumentou com incremento de nitrogênio na solução nutritiva. O nitrogênio e o potássio alteram as características morfogênicas do capim-Marandu sendo determinantes para produção de massa seca da parte aérea e das raízes e que o desenvolvimento do sistema radicular é dependente de adequada nutrição, principalmente com nitrogênio. O nitrogênio e o potássio influenciaram o estado nutricional do capim-Marandu sendo determinantes para incremento do valor SPAD, atividade da enzima redutase do nitrato e concentração de nitrogênio, potássio, nitrato e amônio na parte aérea e nas raízes dessa gramínea.

Palavras-chave: Amônio; *Brachiaria brizantha*; Folha diagnóstica; Nitrato; Parte aérea; Raiz; SPAD

ABSTRACT

Nitrogen and potassium supply and the morphogenetic, nutritional and productive characteristics of Marandu palisadegrass

Nitrogen and potassium are essentials for plant development, are extracted by plants in high amounts and their availabilities may change the morphogenetic, productive and nutritional characteristics of plants. The objectives of this research were: a) to assess fertilization with nitrogen and potassium rates on morphogenetic and shoot and root dry matter production of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu; b) to evaluate the nitrogen, potassium, nitrate and ammonium concentration in the recently expanded leaf laminae and in the roots, SPAD values, and nitrate reductase activity, and ammonium and nitrate distribution in parts of Marandu palisadegrass in response to nitrogen and potassium rates combinations in nutrient solution. A greenhouse experiment was carried out, using ground quartz as a substrate, from December/2007 to February/2008. The experimental design used was fractionated 5^2 factorial, with 13 combinations of nitrogen and potassium rates, set in randomized block design with four replications. Two harvests were done in the plants. The nitrogen rates $\times$ potassium rates interaction was significant for the number of tiller, number of leaves, leaf area, above-ground, roots dry matter, total and specific root length, and total and specific root surface. Forage grass above-ground yield was positively correlated with number of tillers, number of leaves and leaf area. Nitrogen rates modulated the root system development, and the root specific length and surface decreased when high rates of both nitrogen and potassium were applied. Nitrogen rates $\times$ potassium rates interaction was significant for nitrogen, potassium, nitrate and ammonium concentrations in the recently expanded leaf laminae and in the roots. Nitrate reductase activity was increased with increasing the rates of both nitrogen and potassium. Nitrate and ammonium content in plant shoot were distributed following the order: culms+sheaths > recently expanded leaf laminae > emergent leaves > mature leaf laminae, showing culms+sheaths as a plant part of nitrate and ammonium a low nitrate reductase activity. Nitrogen rates highly influenced SPAD values, which increased with nitrogen rates in the nutrient solution. Nitrogen and potassium may affect the morphogenetic characteristics of Marandu palisadegrass, which were determinant for above-ground and root dry matter. The development of the root system depended on adequate plant nutrition, mainly in nitrogen. Nitrogen and potassium influenced the mineral nutrition status of Marandu palisadegrass and they increased the SPAD values, nitrate reductase activity, and nitrogen, potassium, nitrate and ammonium concentrations in shoots and roots of grass.

Keywords: Ammonium; *Brachiaria brizantha*; Diagnostic leaf; Nitrate; Root; Shoot; SPAD

1 INTRODUÇÃO

No Brasil e em várias regiões do mundo a pastagem é a principal fonte de alimentação dos ruminantes, e as plantas forrageiras dependem de adequada nutrição mineral para manutenção de produtividade. Assim torna-se imprescindível o estudo do fornecimento de nutrientes, em especial a combinação entre eles, associando as respostas morfofisiológicas das plantas forrageiras ao incremento na produção de massa seca.

O capim-Marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) está entre as gramíneas mais cultivadas no Brasil Central, região que é responsável por mais da metade da produção nacional de carne bovina. Considerando a importância dessas pastagens, torna-se evidente a necessidade de atenção para o manejo da fertilidade do solo, a prática da adubação e o conhecimento das exigências nutricionais desse cultivar de planta forrageira.

O nitrogênio e o potássio são os nutrientes extraídos em maiores quantidades pelas plantas. O nitrogênio pode ser absorvido como nitrato e amônio e é incorporado com auxílio das atividades das enzimas nitrato redutase e nitrito redutase, enquanto o potássio é absorvido como cátion monovalente e não é incorporado em compostos orgânicos. Neste contexto a adubação nitrogenada, grande responsável pelo aumento de produção de massa seca, é por vezes limitada pelo negligenciamento do emprego do potássio em programas de adubação.

A combinação de doses de nitrogênio com doses de potássio assume importante papel na nutrição das plantas, visto que o nitrogênio é constituinte das proteínas e interfere diretamente no processo fotossintético, pela sua participação na molécula de clorofila, e o potássio, é o cátion em mais alta concentração nas plantas, sendo um nutriente com funções fisiológicas e metabólicas como ativação de enzimas, fotossíntese, translocação de assimilados, absorção de nitrogênio e síntese protéica.

Com base na hipótese de que as doses de nitrogênio e as doses de potássio podem afetar os atributos morfogênicos, produtivos e nutricionais da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Assim, objetivou-se estudar: a) as combinações de doses de nitrogênio e doses de potássio na morfogênese e produção da parte aérea e das raízes da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu; b) avaliar as concentrações de nitrogênio, potássio, nitrato e amônio nas lâminas de folhas recém-expandidas e nas raízes, bem como o valor SPAD, a atividade da enzima redutase do nitrato e a distribuição percentual do nitrato e amônio nas partes da planta forrageira.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Importância das pastagens

As pastagens naturais ou cultivadas constituem a principal fonte de alimentação do rebanho bovino brasileiro e compreendem aproximadamente 180 milhões de hectares (FAO, 2009), ou seja, cerca de 20% do território nacional. Além da importância territorial, em torno de 90% dos bovinos têm sua exploração produtiva apoiada diretamente em pastagens. Do total da área de pastagens no Brasil, aproximadamente 55% são cultivadas, predominando os capins do gênero *Brachiaria* (FERRAZ, 2003), os quais são amplamente disseminados pelo território nacional devido a sua grande adaptabilidade às variadas condições de clima e solo (KELLER-GREIN; MAASS; HANSON, 1996).

2.2 *Brachiaria brizantha* cv. Marandu

A espécie *Brachiaria brizantha* é originária do Zimbábue, África, numa região vulcânica onde os solos são férteis (BOGDAN, 1977). O cultivar Marandu, lançado em 1984 pela Embrapa-CNPQC, teve sua origem em germoplasmas introduzidos na região de Ibirarema em São Paulo (NUNES et al., 1985; SKERMAN; RIVEROS, 1990). É uma gramínea perene, apresenta alta produtividade em função da aplicação de fertilizantes, tolera a seca, tem capacidade de se desenvolver em condições de sombreamento e produzir forragem de alto valor nutritivo, apresenta tolerância ao frio, permanecendo verde no inverno. A produção média anual de massa seca tem variado de 4 a 8 Mg ha⁻¹, e pode atingir 20 Mg ha⁻¹ (ALCÂNTARA; BUFARAH, 1992).

Em relação à *Brachiaria decumbens*, o capim-Marandu é mais tolerante à cigarrinha-das-pastagens (BOTREL; NOVAES; ALVIN, 1998). Também, quando utilizada sob pastejo, apresenta menor incidência de fotossensibilização em animais, do que outras espécies do gênero (VALLE; EUCLIDES; MACEDO, 2000).

2.3 Nitrogênio para plantas forrageiras

O nitrogênio, apesar de abundante na atmosfera na forma de N₂ (onde representa 78% do volume), está presente em baixas concentrações na maioria dos solos. Esse nutriente mineral não é componente da rocha matriz, que é a grande fonte da maioria dos nutrientes minerais aos solos e a maior fração do nitrogênio presente no solo está na forma orgânica (CANTARELLA, 2007).

O nitrogênio geralmente representa de 20 a 40 g kg⁻¹ da massa seca dos tecidos vegetais (MENGEL; KIRKBY, 2001), sendo componente integral de muitos compostos essenciais ao processo de crescimento vegetal. Está presente nos aminoácidos e proteínas, participa com quatro átomos na molécula de clorofila e é componente de ácidos nucleicos que são indispensáveis nos núcleos celulares e protoplasma, onde se situam os controles hereditários. É essencial para utilização de carboidratos na planta, além de estimular o crescimento e o desenvolvimento de folhas, caules e raízes, promovendo maior absorção de outros nutrientes (HOPKINS, 1995; MARSCHNER, 1995; TAIZ; ZEIGER, 2004).

O nitrato e o amônio são as principais fontes 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. O meio ácido inibe a absorção do amônio e favorece a de nitrato, enquanto que em pH neutro ou alcalino, há favorecimento da absorção de amônio, possivelmente devido a efeitos competitivos do H⁺ e OH⁻ bombeados para fora da célula pelo mecanismo associado à atividade de ATPases de membranas, no processo de absorção ativa de cátions e ânions (MARSCHNER, 1995). Assim, a absorção de nitrato estimula a absorção de cátions, enquanto que a absorção de amônio pode restringí-la.

O nitrogênio é facilmente redistribuído na planta via floema e, conseqüentemente, as plantas deficientes em nitrogênio apresentam os sintomas primeiramente nas folhas mais velhas. A proteólise e a redistribuição dos aminoácidos resultam no colapso dos cloroplastos e assim ocorre decréscimo no conteúdo de clorofila nas folhas mais velhas. A longevidade das folhas é modificada pela falta de nitrogênio, já que esse elemento, sendo móvel, desloca-se para partes novas da planta, provocando senescência precoce das partes mais velhas (MARSCHNER, 1995; TAIZ; ZEIGER, 2004).

Cerca de 90% do nitrogênio total da planta encontra-se na forma orgânica e é assim que desempenha as funções em compostos de baixo peso molecular e em macromoléculas. Os aminoácidos livres dão origem a outros aminoácidos e proteínas e, por conseqüência, às enzimas e coenzimas, são precursores de hormônios vegetais, compõem núcleos porfirínicos como clorofila e citocromos e atuam como reserva de nitrogênio como asparagina e arginina nas sementes (MARSCHNER, 1995; TAIZ; ZEIGER, 2004).

Nos compostos orgânicos o nitrogênio ocorre na forma reduzida. Como é absorvido preferencialmente como nitrato (oxidado), deve haver a redução do nitrato antes da incorporação

em compostos orgânicos. Duas enzimas são envolvidas nesse processo: a redutase do nitrato, que necessita do ferro e do molibdênio e a redutase do nitrito, que necessita apenas do ferro, para sua ativação. A redutase do nitrato catalisa a primeira etapa de redução do nitrato a nitrito ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^-$), a qual ocorre no citoplasma. A segunda etapa de redução de nitrito a amônio ($\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NH}_4^+$), que ocorre nos cloroplastos, é catalisada pela redutase do nitrito. Uma vez reduzido, o nitrogênio é incorporado em aminoácidos (MARSCHNER, 1995; TAIZ; ZEIGER, 2004).

A relação entre o incremento da concentração de nitrogênio na solução nutritiva e a atividade da enzima redutase do nitrato, no capim-Aruana (*Panicum maximum* cv. Aruana), foi verificada por Lavres Jr. e Monteiro (2006). Concluíram que as doses de nitrogênio promoveram variações significativas na atividade da redutase do nitrato e nas concentrações de nitrogênio nas folhas recém-expandidas e nas raízes do capim-Aruana.

A atividade da redutase do nitrato varia com a parte da planta amostrada, luminosidade, temperatura e concentração de nitrato na solução e no xilema (MENGEL; KIRKBY, 2001). Cazetta e Villela (2004), buscando aperfeiçoar o procedimento para a determinação da atividade da redutase do nitrato *in vivo* para tecidos de folhas e caules da *Brachiaria radicans*, relataram mais alta atividade da enzima nas folhas em relação aos caules. Isto é devido à necessidade de redução do nitrogênio, processo que consome energia. Os autores comentaram que o incremento das doses de nitrato na solução nutritiva e o fluxo contínuo de nitrato no xilema estimulam a atividade e a síntese da redutase do nitrato. A atividade da redutase do nitrato é a principal limitante da assimilação de nitrogênio pela planta e a atividade da enzima é dependente da forma do nitrogênio e do contínuo fornecimento de nitrato pelo xilema (KAWACHI et al., 2002).

A concentração de clorofila está diretamente correlacionada com a concentração de nitrogênio nas folhas e, por conseguinte, com a nutrição e a produção vegetal. A relação entre valor SPAD e concentração de nitrogênio pode ser linear até que o nitrogênio não seja mais assimilado e seja acumulado na forma de nitrato, estabilizando a intensidade da cor verde, de forma a refletir o acúmulo de nitrato (ABREU; MONTEIRO, 1999).

A busca de ferramentas que auxiliem na avaliação do estado nutricional das plantas, principalmente em se tratando do nitrogênio, nutriente de alto custo no fertilizante e facilmente perdido por diversos processos no solo, se faz necessária para que o pecuarista possa utilizar o adubo no momento certo e na dose correta. Lavres Jr. e Monteiro (2006) comentaram que o clorofilômetro pode ser utilizado para a avaliação do estado nutricional do capim-Aruana quanto

ao nitrogênio, assim como Johnson, Whittington e Blackwood (1976) propuseram o uso da atividade da enzima redutase do nitrato como indicadora do *status* de nitrogênio na planta e como parâmetro para definir a aplicação de fertilizantes.

Ferragine e Monteiro (1999), estudando a nutrição mineral do capim-Braquiária (*Brachiaria decumbens*), em função de doses de nitrogênio e de potássio, concluíram que a dose de nitrogênio necessária à maximização da produção era muito mais alta que a proposta por Hoagland e Arnon (1950) e que a concentração de nitrogênio no tecido das plantas teve incremento com aumento das doses nitrogênio na solução. Do mesmo modo, Lavres Jr. et al. (2004), estudando atributos produtivos e fisiológicos do capim-Aruana submetido a doses de nitrogênio em solução nutritiva, concluíram que a produção de massa seca da parte aérea e das raízes, a área foliar, o número de folhas verdes expandidas e o número de perfilhos foram influenciados pelas doses de nitrogênio.

Em estudo realizado em casa de vegetação, com o objetivo de avaliar a produção e nutrição do capim-Marandu, em função da adubação nitrogenada e estádios de crescimento, Abreu e Monteiro (1999) observaram que as produções de massa seca da parte aérea do capim-Marandu, avaliadas aos 14, 28 e 42 dias do crescimento inicial, variavam significativamente com as doses de nitrogênio. Do mesmo modo, a concentração de nitrogênio na massa seca das lâminas de folhas recém-expandidas, obtida em três estádios de crescimento, também variou significativamente com as doses de nitrogênio, sendo observado que aos 14, 28 e 42 dias as máximas concentrações de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas foram 40, 47 e 20 g kg⁻¹, respectivamente.

Muitos trabalhos relatam as respostas positivas, quanto a parâmetros produtivos e nutricionais, da adubação nitrogenada para gramíneas forrageiras, como os apresentados por Carvalho et al. (1991) para *Brachiaria decumbens*, Lavres Jr. e Monteiro (2003) para *Panicum maximum*, Fitzpatrick e Guillard (2004) para *Poa pratensis*, Primavesi et al. (2005), Rodrigues et al. (2006) e Costa et al. (2008a, 2008b) para *Brachiaria brizantha* e Xia e Wan (2008) em 304 casos estudados em diversas culturas, inclusive gramíneas forrageiras.

O sistema radicular das plantas, quando desenvolvido, garante a formação e sustentação da parte aérea. Assim, plantas bem supridas com nitrogênio apresentam sistema radicular maior que uma planta deficiente em nitrogênio e, isso ocorre devido aos mecanismos envolvidos no crescimento do sistema radicular relacionados ao acúmulo de carboidratos (BROUWER, 1962).

Segundo Marschner (1995), o nitrogênio é o nutriente que mais modula o desenvolvimento do sistema radicular.

Batista e Monteiro (2006) estudaram o sistema radicular do capim-Marandu em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre em solução nutritiva. Esses autores concluíram que as doses de nitrogênio foram determinantes no comprimento, superfície, produção de massa seca e na relação comprimento $\times$ massa seca do sistema radicular dessa gramínea forrageira. Os autores relataram ainda que a concentração de nitrogênio nas raízes variou de 2,4 a 29,5 g kg⁻¹, e à medida que se aumentava as doses de nitrogênio, para mesma dose de enxofre, ocorria incremento na concentração de nitrogênio.

Martuscello et al. (2005), estudando as características morfogênicas e estruturais do capim-Xaraés (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés), submetido a doses de nitrogênio e regimes de desfolhação, concluíram que o nitrogênio teve efeito nas características morfogênicas e estruturais e na produção de massa seca da parte aérea do capim. No entanto, não observaram respostas ao aumento das doses de nitrogênio na massa seca das raízes e os autores argumentaram que os regimes de desfolhação promoveram estresse no sistema radicular, já que para renovação da parte aérea é necessária a remobilização das reservas do sistema radicular.

2.4 Potássio para plantas forrageiras

O potássio é o mais abundante cátion presente no citoplasma das células vegetais, ocupa o segundo lugar em quantidade extraída pelas plantas, apesar de abundante nos solos o manejo incorreto e a grande extração pelas plantas exaurem o solo, necessitando de reposição via adubação (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007).

O potássio geralmente representa de 15 a 30 g kg⁻¹ de massa seca dos tecidos vegetais (MENGEL; KIRKBY, 2001). É absorvido na forma de K⁺, não sofre alteração em sua forma no interior das plantas e caracteriza-se por alta mobilidade dentro de células e tecidos vegetais (MARSCHNER, 1995). Participa na translocação dos carboidratos sintetizados, no processo fotossintético, na síntese protéica, na ativação enzimática, sendo que em casos de deficiência as plantas acumulam carboidratos solúveis, reduzem o acúmulo de amido e compostos nitrogenados e aumentam a concentração de diaminas e poliaminas (MARSCHNER, 1995; TAIZ; ZEIGER, 2004).

Cultivando capim-Marandu em solução nutritiva com omissões de macronutrientes, Monteiro et al. (1995) constataram que na omissão de potássio, a concentração desse nutriente na parte aérea era de $4,3 \text{ g kg}^{-1}$ e nas raízes de $3,6 \text{ g kg}^{-1}$, as quais foram muito mais baixas daquelas do tratamento completo que atingiram 28,0 e $25,0 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente. Os resultados mostraram o incremento na concentração de potássio na parte aérea e nas raízes das plantas forrageiras, quando se comparou o tratamento com omissão de potássio com o tratamento completo. Assim, fica evidente a importância da manutenção de concentrações adequadas de potássio nas plantas forrageiras, garantidas pelas adubações de reposição, principalmente em sistemas de remoção da planta forrageira do local de produção.

Mattos e Monteiro (1998) conduziram dois experimentos em casa de vegetação com solução nutritiva avaliando a diagnose nutricional de potássio e a produção de massa seca nas espécies forrageiras *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha*. Verificaram que o incremento de potássio na solução nutritiva proporcionou aumentos na produção de massa seca da parte aérea e das raízes, no perfilhamento e na concentração de potássio dos componentes da parte aérea e das raízes de ambas as espécies. Constataram que o nível crítico de potássio nas lâminas de folhas recém-expandidas da *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, no primeiro e segundo crescimentos, foi de 23,0 e $20,0 \text{ g kg}^{-1}$ na massa seca.

Em experimento com solução nutritiva completa e omissão de nutrientes, França e Haag (1985) verificaram que o capim-Tobiatã (*Panicum maximum* cv. Tobiatã) apresentou menores número de perfilhos e produção de massa seca na omissão de potássio em relação ao tratamento completo. Resultados similares foram observados por Mattos et al. (2002), em experimento com doses de potássio para o capim-Tanzânia (*Panicum maximum* cv. Tanzânia).

Silva, Mattos e Monteiro (1995), em estudos com sete doses de potássio (0; 0,25; 1; 2; 4; 6 e 8 mmol L^{-1}) para o capim-Tanzânia, verificaram respostas positivas às doses de potássio para o perfilhamento do capim a produção de massa seca de lâminas de folhas maduras, de folhas recém-expandidas, de colmos mais bainhas e, conseqüentemente de massa seca da parte aérea.

Em experimento com doses de potássio em capim-Colonião (*Panicum maximum* cv. Colonião) e capim-Braquiária, incrementos significativos na produção de massa seca da parte aérea foram relatados por Faquin, Hoffmann e Evangelista (1995), no total dos dois cortes e em cada um dos cortes. No total dos cortes, a produção de massa seca em função das doses de potássio aumentou em quase quatro vezes no capim-Braquiária e em quase cinco vezes no capim-

Colonião em relação à não aplicação desse nutriente. As doses de potássio não promoveram diferenças no número de perfilhos do capim-Colonião, enquanto essa significância foi verificada no capim-Braquiária.

Consolmagno, Monteiro e Dechen (2007) objetivaram obter informações quanto à relação entre os nutrientes potássio e magnésio, pela avaliação de número de perfilhos e de folhas, área foliar, teor de clorofila nas folhas e produção de massa da parte aérea do capim-Tanzânia. Destacaram que, de forma isolada, as doses de potássio alteraram o número de perfilhos e de folhas e a área foliar nos dois crescimentos da gramínea, enquanto influenciaram a produção da parte aérea no primeiro crescimento.

Em outro trabalho, Monteiro e Consolmagno (2008) observaram também para o capim-Tanzânia, que para maximização da produção de massa seca de raízes, foram necessárias altas doses de potássio associadas às altas doses de magnésio. Quando o potássio foi suprido em baixa concentração, tanto o comprimento específico como a superfície específica das raízes foram maiores, ou seja, o diâmetro médio das raízes diminuiu com o aumento no suprimento de potássio, o que, segundo Fitter (1996), é um mecanismo da planta para aumentar a área de exploração das raízes e absorver mais nutrientes, quando submetida a estresse nutricional. A concentração de potássio nas raízes variou linearmente com as doses de potássio, indicando que a dose de potássio de $11,6 \text{ mmol L}^{-1}$ não foi suficiente para maximizar a concentração do nutriente nas raízes.

Costa et al. (2008a), avaliando o efeito de doses de nitrogênio e potássio na produção de massa seca e extração de macronutrientes pela fitomassa do capim-Xaraés, verificaram resposta linear na produção de massa seca, quando compararam os resultados na testemunha (sem adubação de nitrogênio e potássio), com as mais altas doses de nitrogênio e potássio, com incremento na produção de massa seca de 8,6% e 19,2%, respectivamente. Em condições de baixas doses de potássio, mesmo com o aumento das doses de nitrogênio, a produção de massa seca foi pouco alterada, mas à medida que se elevaram as doses de potássio associada às doses de nitrogênio, a produção foi incrementada. Mesmo não havendo efeito marcante na produção de massa seca quando se considera apenas o efeito individual da dose de nitrogênio, os resultados confirmam a observação feita por Monteiro et al. (1980), que, na utilização do adubo nitrogenado, é necessário o suprimento de potássio para que não haja limitação do efeito do nitrogênio.

A adubação potássica apresenta efeitos marcantes na produção de massa seca de plantas forrageiras, o que por vezes torna indispensável a aplicação de potássio em áreas de exploração intensiva de pastagem. Estudos realizados por Vicente-Chandler et al. (1962), França e Haag (1985), Silva, Mattos e Monteiro (1995), Benetti e Monteiro (1999) e Lavres Jr. e Monteiro (2002) demonstraram que a produção de massa seca das plantas forrageiras foi incrementada com o fornecimento de potássio.

Gramíneas forrageiras deficientes em potássio apresentam folhas pouco desenvolvidas, colmos finos, raquíticos e são pouco resistentes ao tombamento, podendo ocorrer clorose e necrose nas pontas e nas margens das folhas, em casos de grave deficiência, o que resulta em redução na produtividade da forrageira (WERNER, 1986) e aumenta a susceptibilidade a danos por frio e doenças (MARSCHNER, 1995).

2.5 Relação nitrogênio:potássio

A adubação nitrogenada tem proporcionado respostas produtivas abaixo das esperadas em virtude de inadequadas concentrações de potássio, mostrando relação entre a absorção e o aproveitamento destes dois macronutrientes (MONTEIRO et al., 1980). Assim, Monteiro et al. (1980) conduziram um experimento com capim-Colonião já estabelecido, o qual tinha recebido doses de nitrogênio nos três anos anteriores e potássio no ano anterior. Realizaram novo suprimento de nitrogênio em ausência de adubação potássica ou com a adição de cloreto de potássio na dose de 167 kg ha^{-1} . Constataram que o adubo potássico proporcionou aumentos significativos na produção de massa seca do capim e que a adubação potássica na ausência da fertilização com nitrogênio resultou em produção de massa seca relativamente maior do que a adição de nitrogênio de 75 ou 150 kg ha^{-1} , na ausência do suprimento de potássio.

Trabalhando com adubação nitrogenada e potássica em capim-Colonião, Vicente-Chandler et al. (1962) observaram incremento na produção de massa seca até a dose de potássio de 440 kg ha^{-1} , quando utilizaram adubação com a dose elevada de nitrogênio, demonstrando a necessidade da elevação das doses de potássio quando se usam doses elevadas maciças de nitrogênio, em condições de corte e remoção da forragem.

Carvalho et al. (1991) verificaram, para o capim-Braquiária submetido a combinações de doses de nitrogênio de 0 a $400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e de potássio de 0 a $150 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, que com o baixo fornecimento de potássio a resposta à adubação nitrogenada foi limitada. Porém,

constatarem resposta positiva da fertilização com nitrogênio na produção de massa seca e que esse efeito dependeu da aplicação de potássio, pois com o baixo suprimento de potássio, não havia resposta da planta à adubação nitrogenada, mas com o aumento da fertilização potássica ocorria marcante resposta à adubação com nitrogênio.

Coutinho, Rodrigues e Consolini (2001) estudaram doses de nitrogênio de 30; 60; 120; 180 e 240 kg ha⁻¹ e doses de potássio de 30; 60; 120 e 180 kg ha⁻¹ para o capim-Coastcross (*Cynodon dactylon*) e constatarem que as adubações nitrogenada e potássica aumentaram significativamente a produção de massa seca e as concentrações desses nutrientes na parte aérea do capim em todos os cortes efetuados na gramínea. Verificaram também sintomas típicos de deficiência desses nutrientes nas plantas correspondentes aos tratamentos que receberam as mais baixas doses de nitrogênio e de potássio.

Com o objetivo de avaliar a combinação de doses de nitrogênio (100; 200 e 400 kg ha⁻¹) e de potássio (50; 100 e 200 kg ha⁻¹) na produção de massa seca e concentração de nutrientes da forragem produzida, Fonseca, Andrade e Queiroz (2001) conduziram experimento com capim-Napier (*Pennisetum purpureum* cv. Napier). Constataram que a produção de massa seca das lâminas foliares da gramínea forrageira aumentou expressivamente com as doses de nitrogênio e potássio, com incrementos de aproximadamente 300% relativos às mais baixas doses aplicadas, e que a concentração de nutrientes das plantas foi influenciada pela combinação das doses desses nutrientes.

Lavres Jr. e Monteiro (2003), estudando capim-Mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça) submetido a combinações de doses de nitrogênio e potássio, concluíram que as doses de nitrogênio e de potássio interagiram nos dois cortes desse capim para a produção da área foliar, comprimento radicular, superfície radicular e perfilhamento no segundo corte. A superfície e o comprimento das raízes do capim-Mombaça atingiram valores máximos com o fornecimento de doses de nitrogênio e de potássio superiores às utilizadas, destacando principalmente o papel do nitrogênio como principal nutriente modulador atributos radiculares.

Buscando avaliar a influência das adubações nitrogenada e potássica em capim-Setária (*Setaria anceps* cv. Kazungula), Herling, Zaneti e Gomide (1991) observaram incrementos na produção de massa seca com as doses de potássio. Rodrigues et al. (2008), cultivando capim-Xaraés com doses de nitrogênio e de potássio, observaram 75% de incremento na produção de massa seca de folhas, quando o nitrogênio foi suprido das mais baixas doses (0 mg dm⁻³) até o

ponto de máxima produção de massa seca de folhas (175 mg dm^{-3}). Para as doses de potássio, foram observados 15% de incremento na produção na massa de folhas quando comparadas as mais baixas (0 mg dm^{-3}) com o ponto de máxima (61 mg dm^{-3}) produção de massa seca de folhas.

Vários autores têm destacado que a fertilização potássica para plantas forrageiras é muitas vezes calculada em relação ao regime da adubação nitrogenada. Nesses casos, tem sido apontada a relação entre 1,5 a 3,0 kg de K_2O para cada 4,0 kg de nitrogênio aplicado, ou ainda, a proporção de nitrogênio de $160 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para potássio de $110 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Contudo, vale uma ressalva quanto à generalização dessas relações preestabelecidas, pois primeiramente deve-se conhecer as exigências nutricionais para cada espécie ou para cada cultivar.

Referências

- ABREU, J.B.R.; MONTEIRO, F.A. Produção e nutrição do capim-Marandu em função de adubação nitrogenada e estádios de crescimento. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 56, p. 137-146, 1999.
- ALCÂNTARA, P.B.; BUFARAH, G. **Plantas forrageiras gramíneas e leguminosas**. São Paulo: Nobel, 1992. 150 p.
- BATISTA, K.; MONTEIRO, F.A. Sistema radicular do capim-Marandu considerando as combinações de doses de nitrogênio e de enxofre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 821-828, 2006.
- BENETTI, I.; MONTEIRO, F.A. Doses de potássio na produção e composição química do capim-Vencedor. In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 7., 1999, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1999. p. 314.
- BOGDAN, A.V. **Tropical pasture and fodder plants**. London: Longman, 1977. 475 p.
- BOTREL, M.A.; NOVAES, L.P.N.; ALVIN, M.J. **Características forrageiras de algumas gramíneas tropicais**. Juiz de Fora: Embrapa, CNPGL, 1998. 35p.
- BROUWER, R. Nutritive influences on the distribution of dry matter in the plant. **Netherlands Journal of Agricultural Sciences**, v. 10, p. 399-342, 1962.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 375-470.
- CAZETTA, J.O.; VILLELA, L.C.V. Nitrate reductase activity in leaves and stems of tanner grass (*Brachiaria radicans* Napper). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, p. 640-648, 2004.

CARVALHO, M.M.; MARTINS, C.E.; VERNEQUE, R.S.; SIQUEIRA, C. Respostas de uma espécie de *Brachiaria* à fertilização com nitrogênio e potássio em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, p. 195-200, 1991.

COUTINHO, E.L.M.; RODRIGUES, L.R.A.; CONSOLINI, F. Efeitos da adubação nitrogenada e potássica na produção de matéria seca e na composição mineral do capim-Coastcross irrigado. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001. p. 299-301.

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

COSTA, K.A.P.; FAQUIN, F.; OLIVEIRA, I.P.; ARAÚJO, J.L.; RODRIGUES, R.B. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-Marandu. II – nutrição nitrogenada da planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1601-1607, 2008a.

COSTA, K.A.P.; ARAUJO, L.A.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I.P.; FIGUEIREDO, F.C.; GOMES, K.W. Extração de macronutrientes pela fitomassa do capim-Xaraés "Xaraés" em função de doses de nitrogênio e potássio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 1162-1166, 2008b.

ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A.; SANTOS, F.C. Potássio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 551-594.

FAO. Disponível em:

<<http://www.apps.fao.org/PAGE/COLLECTIONS/SUBSET/AGRICULTURE>>. Acesso em: 22 fev. 2009.

FAQUIN, V.; HOFFMANN, C.R.; EVANGELISTA, A.R. O potássio e o enxofre no crescimento de braquiária e do colônio em amostras de um Latossolo na região Noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 87-94, 1995.

FERRAZ, F.M. Pastagens garantem o futuro da pecuária leiteira. In: FNP Consultoria e Comércio. **Anualpec 2003**: anuário da pecuária brasileira. São Paulo, 2003. p. 55-56.

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

FITTER, A. 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.

FITZPATRICK, R.J.M.; GUILLARD, K. Kentucky Bluegrass response to potassium and nitrogen fertilization. **Crop Science**, Madison, v. 44, p. 1721-1728, 2004.

FONSECA, D.M.; ANDRADE, A.C.; QUEIROZ, D.S. Adubação nitrogenada e potássica em capim-Elefante cv. Napier sob pastejo rotativo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001. p. 259-261.

FRANÇA, A.F.S.; HAAG, H.P. Nutrição mineral de gramíneas tropicais. I - Carências nutricionais de capim-Tobiatã (*Panicum maximum* Jacq.). **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v. 62, p. 83-95, 1985.

HERLING, V.R.; ZANETI, M.A.; GOMIDE, C.A. Influência de níveis de adubações nitrogenada e potássica e estádios de crescimento sobre o capim-Setária (*Setaria anceps* Stapf Ex. Massey cv. Kazungula). I - Produção de matéria seca e fisiologia de perfilhamento. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 20, p. 561-571, 1991.

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

HOPKINS, W.G. **Introduction to plant physiology**. New York: John Wiley, 1995. 464 p.

JOHNSON, C.B.; WHITTINGTON, W.J.; BLACKWOOD, G.C. Nitrate reductase as a possible predictive test of crop yield. **Nature**, London, v. 262, p. 133-134, 1976.

KAWACHI, T.; SHOJI, Y.; SUGIMOTO, T.; OJI, Y.L.; KLEINHOF, A.; WARNER, R.L.; OHTAKE, N.; OHYAMA, T.; SUEIOSHI, K. Role of xylem sap nitrate in regulation of nitrate reductase gene expression in leaves of barley (*Hordeum vulgare* L.) seedlings. **Soil Science and Plant Nutrition**, Oxford, v. 48, p. 79-85, 2002.

KELLER-GREIN, G.; MAASS, B.L.; HANSON, J. Natural variation in *Brachiaria* and existing germplasm collections. In: MILES, J.W.; MAASS, B.L.; VALLE, C.B. do; KUMBLE, V. (Ed.). **Brachiaria: biology, agronomy, and improvement**. CIAT: Cali; Campo Grande: Embrapa, CNPGC, 1996. chap. 2, p. 16-42.

LAVRES Jr., 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.

_____. Diagnóstico nutricional de nitrogênio no capim-Aruana em condições controladas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 829-837, 2006.

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

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

MARTUSCELLO, J.A.; FONSECA, D.M.; NASCIMENTO Jr., D.; SANTOS, P.M.; RIBEIRO Jr., J.I.; CUNHA, D.N.F.V.; MOREIRA, L.M. Características morfogênicas e estruturais do capim-Xaraés submetido à adubação nitrogenada e desfolhação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, p. 1475-1482, 2005.

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

MATTOS, W.T. de; 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.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. **Principles of plant nutrition**. 5th ed. Dordrecht: Kluwer Academic, 2001. 849 p.

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

MONTEIRO, F.A.; LIMA, S.A.A.; WERNER, J.C.; MATTOS, H.B. Adubação potássica em leguminosas e em capim-Colonião (*Panicum maximum* Jacq.) adubado com níveis de nitrogênio ou consorciado com leguminosas. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 37, p. 127-148, 1980.

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.

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

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.

RODRIGUES, R.C.; MOURÃO, G.B.; BRENNECKE, K.; LUZ, P.H.C.; HERLING, V.R. Produção de massa seca, relação folha/colmo e alguns índices de crescimento do *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés cultivado com a combinação de doses de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, p. 394-400, 2008.

RODRIGUES, R.C.; ALVES, A.C.; BRENNECKE, K.; PLESE, L.P.M.; HERLING, V.R.; LUZ, P.H.C. Densidade populacional de perfilhos, produção de massa seca e área foliar do capim-Xaraés cultivado sob doses de nitrogênio e potássio. **Boletim Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 63, p. 27-33, 2006.

SILVA, A.A.; MATTOS, W.T. de; MONTEIRO, F.A. Respostas de capim-Tanzânia-1 (*Panicum maximum* Jacq.) a níveis de potássio em solução nutritiva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, Viçosa, 1995, **Resumos**. Viçosa: SBCS, 1995. p. 1046-1047.

SKERMAN, P.J.; RIVEROS, F. *Brachiaria*. In: FAO. **Tropical grasses**. Rome, 1990. p. 234-262.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3nd ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

VALLE, C.B.; EUCLIDES, V.P.B.; MACEDO, M.C.M. Características das plantas forrageiras do gênero *Brachiaria*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DAS PASTAGENS, 17., 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2000. p. 65-108.

VICENTE-CHANDLER, J; PEARSON, R.W.; ABRUÑA, F.; FIGARELLA, J. Potassium fertilization of intensive managed grasses under humid tropical conditions. **Agronomy Journal**, Madison, v. 54, p. 450-453, 1962.

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

XIA, J.; WAN, S. Global response patterns of terrestrial plant species to nitrogen addition. **New Phytologist**, Oxford, v. 179, p. 428-439, 2008.

3 SUPRIMENTO COMBINADO DE NITROGENIO COM POTÁSSIO PARA O CAPIM-MARANDU: CARACTERÍSTICAS MORFOGÊNICAS E PRODUTIVAS

Resumo

O nitrogênio tem sido um dos mais responsáveis fatores por elevar os patamares de produção de gramíneas forrageiras, mas pode ocorrer demanda para o alto suprimento de potássio acompanhando a aplicação de nitrogênio. Objetivou-se estudar as características morfogênicas e a produção de massa seca da parte aérea e das raízes do capim-Marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) submetido a combinações de doses de nitrogênio e potássio, em solução nutritiva, empregando-se sílica como substrato. O experimento foi realizado em casa de vegetação, no período do verão. Utilizou-se o esquema fatorial 5^2 fracionado, com 13 combinações de nitrogênio e potássio, as quais foram distribuídas segundo o delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições. Foram realizados dois cortes nas plantas. A interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio foi significativa para número de perfilhos e de folhas, área foliar, massa seca da parte aérea e de raízes, comprimento e superfície e específica nas raízes. A produção de massa seca da parte aérea correlacionou-se positivamente com número de perfilhos e de folhas e área foliar do capim. As doses de nitrogênio se mostraram moduladoras do desenvolvimento do sistema radicular e o comprimento e a superfície específicos diminuíram quando foram fornecidas altas doses desses nutrientes. O nitrogênio e o potássio influenciaram as características morfogênicas do capim-Marandu, que foram determinantes para produção de massa seca da gramínea.

Palavras-chave: *Brachiaria brizantha*; Folha; Parte aérea; Perfilho; Raízes; Solução nutritiva

NITROGEN AND POTASSIUM SUPPLY AND THE MORPHOGENETIC, NUTRITIONAL AND PRODUCTIVE CHARACTERISTICS OF MARANDU PALISADEGRASS

Abstract

Nitrogen has been one the main factors responsible for increasing the levels of forage grasses yield, but it may occur demand for high potassium supply accompanying nitrogen application. The objective was to study morphogenic characteristics, and above-ground and roots dry matter production of Marandu palisadegrass (*Brachiaria brizantha* Marandu cultivar), supplied with combined nitrogen and potassium rates. The experiment was carried out in a greenhouse, with nutrient solution in a ground quartz substrate, during the Summer season. A fractionated 5^2 factorial was used, with 13 nitrogen and potassium rates combinations, which were set in a randomized block design, with four replications. Two harvests were done in plants. The nitrogen rates $\times$ potassium rates interaction was significant for the number of tillers, number of leaves, leaf area, above-ground and root dry matter production, total root length and surface and specific root length and surface. Forage grass above-ground yield was positively correlated with number tillers, number of leaves and leaf area of the grass. Nitrogen rates modulated the root system development, and the root specific length and surface decreased when the high rates of both nitrogen and potassium were supplied. Nitrogen and potassium influenced palisadegrass morphogenic characteristics, which were determinant for the dry matter production of the grass.

Keywords: *Brachiaria brizantha*; Leaf; Nutrient solution; Plant top; Root; Tiller

3.1 Introdução

A crescente demanda por alimentos tem conduzido à necessidade de aumento da produção de massa das pastagens, que é o suporte básico e de mais baixo custo na alimentação animal. Para elevar a produção de massa, a adubação é de fundamental importância nas áreas de pastagens. Nesse contexto, o nitrogênio e o potássio têm participação importante para as características morfogênicas e a produção de massa seca das plantas forrageiras.

O nitrogênio usualmente ocupa o primeiro lugar em quantidade extraída pelas plantas, promove alterações nas emissões de perfilhos e folhas e na área foliar e, conseqüentemente, modifica a produção de massa seca, além de ser, o nutriente que mais favorece alterações no comprimento, na superfície e na massa seca do sistema radicular. O potássio normalmente é o segundo nutriente em quantidade extraída pelas plantas, participa de processos fisiológicos e bioquímicos nas plantas, além de promover a maximização dos efeitos do nitrogênio.

A adubação é uma tecnologia indispensável na formação e manutenção das pastagens. O fornecimento de nitrogênio e de potássio tem resultado em elevação na produtividade das gramíneas forrageiras, como demonstrado por Vicente-Chandler et al. (1962), Carvalho et al. (1991), Monteiro et al. (1995), Ferragine e Monteiro (1999), Lavres Jr. e Monteiro (2002) e Lavres Jr. et al. (2004), dentre outros. Por outro lado, como destacado por Chapman e Lemaire (1993), aspectos da morfogênese dos capins têm sido mais estudados com relação ao suprimento de nitrogênio, necessitando de mais estudos no que se refere aos demais nutrientes. Outros aspectos como número de perfilhos e de folhas, área foliar e morfologia de raízes necessitam de maior conhecimento, especialmente quanto ao fornecimento desses dois nutrientes.

A hipótese desse estudo é que as doses de nitrogênio e de potássio podem alterar parâmetros de crescimento de planta forrageira e que as doses de nitrogênio e potássio na solução de Hoagland e Arnon (1950) não permitem que a gramínea forrageira expresse todo potencial de produção. Assim objetivou-se analisar as características morfogênicas e a produção de massa seca da parte aérea e das raízes, bem como determinar a dose de nitrogênio e potássio que maximiza a produção do capim-Marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) submetido a combinações de doses de nitrogênio e de potássio.

3.2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido durante o verão em casa de vegetação localizada em Piracicaba - SP, com a gramínea forrageira *Brachiaria brizantha* Stapf. cultivar Marandu. Foram usados vasos plásticos com capacidade de 3,6 L, tendo sílica como substrato.

Foram testadas combinações de cinco doses de nitrogênio com cinco doses de potássio, em um esquema fatorial 5^2 fracionado, como descrito por Littell e Mott (1975). Assim, as 13 combinações estudadas para nitrogênio e potássio na solução nutritiva, expressos em mmol L^{-1} , foram: 2,0 e 0,5; 2,0 e 6,0; 2,0 e 11,0; 8,0 e 3,0; 8,0 e 8,5; 15,0 e 0,5; 15,0 e 6,0; 15,0 e 11,0; 24,0 e 3,0; 24,0 e 8,5; 33,0 e 0,5; 33,0 e 6,0; e 33,0 e 11,0. As doses dos demais nutrientes nas soluções foram as recomendadas por Hoagland e Arnon (1950). As soluções nutritivas foram preparadas como mostrado na Tabela 1, mantendo-se constante a relação nitrato:amônio em 1,8:1,0 ($64,4\% \text{ N-NO}_3^-$ e $35,6\% \text{ N-NH}_4^+$). Os vasos foram distribuídos conforme o delineamento estatístico de blocos ao acaso, com quatro repetições.

Tabela 1 - Volumes das soluções estoques empregados no preparo das soluções nutritivas para as doses de nitrogênio e potássio

Combinações de doses de nitrogênio e potássio (mmol L ⁻¹)													
Soluções *	2N			8N		15N			24N		33N		
	0,5K	6K	11K	3K	8,5K	0,5K	6K	11K	3K	8,5K	0,5K	6K	11K
Volumes (mL L ⁻¹)													
NH ₄ NO ₃	0,21	0,71	0,71	2,86	2,86	4,84	5,34	5,34	8,54	8,54	11,25	11,75	11,75
Ca(NO ₃) ₂	0,54	0,29	0,29	1,14	1,14	2,41	2,16	2,16	3,46	3,46	5	4,75	4,75
KH ₂ PO ₄	0,5	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1	0,5	1	1
NH ₄ H ₂ PO ₄	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-
CaCl ₂	4,46	4,71	4,71	3,86	3,86	2,6	2,84	2,84	1,54	1,54	-	0,24	0,24
KCl	-	5	10	2	7,5	-	5	10	2	7,5	-	5	10
MgSO ₄	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Micro-Fe**	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Fe-EDTA***	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pressão Osmótica (atm)	0,552	0,798	1,044	0,756	1,002	0,780	1,025	1,271	1,035	1,281	1,095	1,340	1,586

* Com exceção das soluções de micronutrientes e do fosfato de amônio ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$), as soluções estoque tiveram concentração de 1 mol L^{-1} .

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

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

Colocaram-se as sementes do capim para germinar em bandejas plásticas, contendo areia lavada em água corrente e em água desionizada. A areia foi molhada periodicamente com água desionizada e aos 16 dias após a semeadura, quando as plântulas atingiram cerca de 4 cm de altura, realizou-se o transplante de 15 mudas para cada vaso. Logo após o transplante e durante o período de três dias, cada vaso recebeu 1 L de solução diluída a 1/3 da concentração total correspondente a cada combinação nitrogênio-potássio. A partir do quarto dia, a solução com concentração definitiva foi adicionada.

As avaliações foram realizadas em dois períodos de crescimento das plantas. Efetuou-se o primeiro corte aos 46 dias após o transplante das mudas e o segundo aos 30 dias após o primeiro. O material colhido foi separado nas frações: folhas emergentes, lâminas das duas folhas recém-expandidas, lâminas das folhas maduras e dos colmos+bainhas, e foi somada a massa seca dessas frações para determinar a produção da parte aérea.

A avaliação da área foliar (AF) foi realizada imediatamente após o corte das plantas nas três frações foliares, com auxílio de um integrador de área foliar. Todo material colhido foi secado em estufa com circulação forçada, a 70°C, até massa constante e, posteriormente foi pesado.

Na ocasião do segundo corte das plantas, após a separação das raízes da sílica e lavagem das mesmas, com auxílio de um conjunto com duas peneiras de 1,00 e 0,25 mm, foi retirada uma sub-amostra do sistema radicular, cortando-se vertical e horizontalmente um volume de raízes com cerca de 20% de massa fresca total, de acordo com Rossiello et al. (1995). Em seguida essas sub-amostras foram colocadas em copos plásticos contendo água desionizada e corante (violeta genciana na concentração de 50 g L⁻¹) para que as partes mais novas e claras fossem tingidas. Em seguida foram escaneadas, obtendo-se as imagens necessárias para a utilização do aplicativo SIARCS (Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo) versão 3.0, visando as determinações de comprimento e superfície radicular. Posteriormente foi determinada a massa seca das sub-amostras, efetuando-se então o cálculo do comprimento e superfície totais do sistema radicular de cada unidade experimental, em função da produção total de massa seca das raízes por meio de simples regra de três. O comprimento e a superfície específicos foram calculados pela razão entre o comprimento ou a superfície e sua massa seca, de acordo com a metodologia descrita por Crestana et al. (1994).

Os resultados receberam tratamento estatístico pelo emprego do Statistical Analysis System (SAS, 1996), adotando-se nível de 5% de significância. Inicialmente, foi realizada a análise de variância e, nos casos de significância do teste F, para a interação doses de nitrogênio x doses de potássio efetuou-se o estudo de regressão polinomial, por meio do procedimento RSREG, com análise em superfície de resposta. Os pontos de máxima e mínima resposta para as combinações de doses de nitrogênio e potássio foram obtidos na análise efetuada pelo SAS. Também, procedeu-se ao estudo das correlações entre as variáveis estudadas.

3.3 Resultados e Discussão

A interação doses de nitrogênio x doses de potássio foi significativa para o número total de perfilhos no primeiro e segundo crescimentos do capim-Marandu. Os máximos números de perfilhos, encontrados nas respectivas doses de nitrogênio e de potássio, em mmol L^{-1} , foram 29,69 e 8,76 no primeiro corte e de 28,98 e 9,43 no segundo corte (Figura 1). Essas combinações de doses de nitrogênio e de potássio proporcionaram número de perfilhos de 40 e 66 no primeiro e segundo cortes, respectivamente.

Figura 1 - Número de perfilhos no primeiro (a) e segundo (b) crescimentos do capim-Marandu, submetido a combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva

O número de perfilhos apresentou variação mais expressiva com as doses de nitrogênio do que com as doses de potássio. No primeiro crescimento, na combinação 2 e $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$ de

nitrogênio e potássio, respectivamente, o número de perfilhos foi três vezes menor do que na combinação onde foram adicionados nitrogênio e potássio de 33 e 0,5 mmol L⁻¹ respectivamente. Entretanto, na combinação de nitrogênio e potássio de 2 e 0,5 mmol L⁻¹, o número de perfilhos foi praticamente o mesmo que na combinação entre esses nutrientes de 2 e 11 mmol L⁻¹.

Ferragine e Monteiro (1999) constataram significância para a interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio, quanto ao número total de perfilhos no primeiro corte do capim-Braquiária (*Brachiaria decumbens*). Esses autores verificaram também que, em função do incremento das doses de nitrogênio dentro de cada dose de potássio, no primeiro crescimento, o número de perfilhos atingiu valor máximo nas doses de nitrogênio de 17, 24 e 31 mmol L⁻¹. Os autores comentaram ainda que o incremento das doses de potássio na solução nutritiva promoveu mais baixo aumento no número de perfilhos que o incremento das doses de nitrogênio.

Lavres Jr. e Monteiro (2003), estudando os efeitos do suprimento de nitrogênio e potássio para o perfilhamento do capim-Mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça), no primeiro crescimento, não observaram significância para a interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio. A variação no perfilhamento, em relação às doses de nitrogênio, foi representada por uma equação de segundo grau, estimando-se que a dose de nitrogênio necessária para o máximo perfilhamento foi de 21,15 mmol L⁻¹. Para as doses de potássio, no primeiro crescimento do capim-Mombaça o máximo número de perfilhos foi com o emprego de 7,5 mmol L⁻¹ de potássio. Essas concentrações, tanto de nitrogênio quanto de potássio na solução nutritiva, para maximizar o perfilhamento do capim-Mombaça, são mais elevadas que as preconizadas por Hoagland e Arnon (1950).

No segundo período de crescimento das plantas (Figura 1b), o número de perfilhos foi superior ao encontrado no primeiro. Isto provavelmente ocorreu pelo fato de, no crescimento inicial, a planta concentrar grande parte da energia para o seu estabelecimento, com a formação do sistema radicular e da parte aérea, enquanto 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 de ter sofrido a ação do corte que promove a indução das gemas basais, originando novos perfilhos.

Resultados similares foram observados por Lavres Jr. e Monteiro (2003), que relataram maior número de perfilhos no segundo período de crescimento das plantas e o número máximo de perfilhos ocorrendo nas doses de nitrogênio e potássio de 24,42 e 10,15 mmol L⁻¹,

respectivamente. Essas doses também são mais elevadas que as recomendadas por Hoagland e Arnon (1950) na formulação da solução nutritiva. Mattos e Monteiro (1998), estudando as doses de potássio no capim-Marandu, encontraram 25 e 50 perfilhos no primeiro e segundo cortes, respectivamente, ocorrendo na dose de potássio de 12 mmol L^{-1} , quando a dose de nitrogênio era 15 mmol L^{-1} .

Esses resultados comprovam que a disponibilidade de nutrientes interfere no perfilhamento das plantas forrageiras. O efeito do nitrogênio no perfilhamento depende de vários fatores: luminosidade, disponibilidade hídrica e estágio de desenvolvimento da planta quando da aplicação do fertilizante. Esse nutriente deverá estar disponível no período em que a planta estimula todos os sítios de crescimento para reconstituição da parte aérea (CORSI, 1986). O perfilhamento responde positivamente à disponibilidade de nutrientes, sendo o nitrogênio o nutriente que mais afeta a densidade populacional de perfilhos (LANGER, 1963; LAUDE, 1972; PINTO; GOMIDE; MAESTRI, 1994).

O maior perfilhamento tem importância para a produtividade das pastagens, já que influi na produção de massa seca por unidade de área e significa melhor ocupação do terreno. Alexandrino et al. (2005) estudando o crescimento e características químicas e morfogênicas do capim-Marandu submetido a cortes e a doses de nitrogênio, verificaram grande diferença de perfilhamento ao longo do tempo de rebrotação em relação ao suprimento de nitrogênio, observando que as plantas não adubadas com nitrogênio quase não perfilharam ao longo do tempo.

Outros trabalhos (RYLE, 1970; NELSON; ZARROUGH, 1981; McKENZIE, 1996) já destacaram o efeito positivo do nitrogênio no perfilhamento, com dependência da intensidade luminosa (AUDA; BLASER; BROWN, 1976). Também a diferença em resposta ao nitrogênio, para perfilhamento de gramínea forrageira, foi relatado por Pinto, Gomide e Maestri (1994), que observaram resposta favorável ao aumento da dose de nitrogênio de 15 para 90 mg dm^{-3} apenas para o capim-Setária (*Setaria anceps*), em um estudo envolvia também capim-guiné (*Panicum maximum*) e capim-Andropogon (*Andropogon guayanus*).

A interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio foi significativa para o número total de folhas no primeiro e segundo crescimentos do capim-Marandu. Os números máximos de folhas foram obtidos nas doses de nitrogênio e de potássio, em mmol L^{-1} , de 28,38 e 9,23 no primeiro corte e 29,37 e 8,83 no segundo corte, respectivamente (Figura 2).

Figura 2 - Número de folhas no primeiro (a) e segundo (b) crescimentos do capim-Marandu, submetido a combinações de doses de nitrogênio e potássio na solução nutritiva

Detalhando-se a variação no número de folhas pode-se constatar que na combinação do nitrogênio com o potássio que correspondeu ao mais alto número de folhas foram computadas 172 e 253 folhas no primeiro e segundo cortes, respectivamente, verificando mais alto número de folhas no segundo corte. As mais altas produções de folhas no segundo corte se devem, também, ao maior perfilhamento neste período. A correlação entre o número de perfilhos e o número de folhas no primeiro e segundo corte revelou $r = 0,98^{***}$ e $0,99^{***}$, respectivamente, e foi possível verificar que a planta forrageira mantém cerca de 4 folhas por perfilho, quando calcula-se a razão entre número de folhas pelo de perfilhos, nas doses de nitrogênio e de potássio que correspondem à maior emissão de folhas.

Na Figura 2 observa-se que, das mais baixas às mais altas doses de nitrogênio e mantendo-se fixa a mais baixa dose de potássio, o número de folhas foi incrementado em 60%. O incremento das doses potássio, mantendo-se fixa a mais baixa dose de nitrogênio, proporciona praticamente o mesmo número de folhas das mais baixas até as mais altas doses (40 folhas). Ferragine, Monteiro e Silva (2001) estudaram o capim-Braquiária submetido a doses de nitrogênio e potássio na solução nutritiva e avaliaram o número de folhas verdes em dois crescimentos das plantas. Concluíram que a média de folhas verdes por perfilho foi significativamente influenciada pelo suprimento de nitrogênio nos dois períodos de crescimento, e que tanto a interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio, quanto o suprimento de potássio

não foram significativas. Descreveram que o número de folhas foi maior quando o nitrogênio foi suprido nas doses de 24 e 21 mmol L⁻¹, no primeiro e segundo cortes, respectivamente. Por se tratar de uma espécie mais exigente do que o capim-Braquiária, o capim-Marandu atingiu ponto de máxima emissão de folhas com 16 e 18% mais nitrogênio na solução nutritiva, no primeiro e segundo crescimentos.

Ruggieri, Favoretto e Malheiros (1994), ao estudarem as características de crescimento e produção de massa seca da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, em função da adubação nitrogenada com nitrato de amônio e regimes de corte, verificaram que o aumento das doses de nitrogênio (0; 33 e 66 kg ha⁻¹) resultou em aumento no número de folhas. Ressaltaram que este fato pode estar relacionado com as quantidades aplicadas do adubo, nos períodos de crescimento, o que pode ter influenciado positivamente na proporção de folhas em relação às demais partes da planta.

Para Nabinger e Medeiros (1995), a disponibilidade de nitrogênio é o fator dominante que controla os processos de crescimento e desenvolvimento da planta, traduzido sobretudo pela maior rapidez de formação das gemas axilares e de iniciação dos perfilhos correspondentes, mas esta iniciação só se manifesta enquanto o índice de área foliar não for maior que um valor crítico, alterando a quantidade de luz que atinge as gemas mais tardias. Desta forma, os fatores do meio que podem ser favoráveis ao perfilhamento quando a cobertura vegetal está pouco desenvolvida, podem ter efeito negativo quando essa cobertura está bem desenvolvida, porque o índice de área foliar aumenta e conseqüentemente incrementa a competição pela luz entre perfilhos. A deficiência de nitrogênio resulta em maior número de gemas dormentes, enquanto o nível adequado de nutrição nitrogenada permite atingir o máximo no perfilhamento.

Lavres Jr. e Monteiro (2002), em estudo das combinações de doses de nitrogênio e de doses de potássio para o capim-Mombaça, não encontraram significância para a interação doses de nitrogênio x doses de potássio, no primeiro corte. Contudo, observaram que a produção de folhas variou significativamente tanto com as doses de nitrogênio, com ponto de máxima produção de folhas em 23 mmol L⁻¹, quanto as de potássio, que teve ajuste ao modelo linear. No segundo corte a interação doses de nitrogênio x doses de potássio foi significativa e a máxima produção de folhas foi atingida com doses superiores às estudadas. Porém a área de máxima produção correspondia aos pontos a partir das doses de nitrogênio de 24 mmol L⁻¹ e de potássio

de 8 mmol L^{-1} . Esses autores afirmaram ainda que as doses de nitrogênio e de potássio da solução de Hoagland e Arnon (1950), não foram suficientes para resultar na máxima produção de folhas.

Schiavuzzo, Lavres Jr. e Monteiro (1999), avaliando o capim-Marandu, constataram que o número de folhas verdes expandidas na ocasião do corte (41 dias após o transplante) foi influenciado pelo fornecimento de nitrogênio na solução, cujo efeito foi descrito por modelo quadrático de regressão.

De modo geral, quando se comparam as doses de nitrogênio e doses de potássio da solução de Hoagland e Arnon (1950) com as do presente experimento, pode-se constatar a necessidade de incremento de nitrogênio e de potássio de cerca de 15 e 3 mmol L^{-1} , respectivamente, para maximização do número de perfilhos e folhas.

A interação doses de nitrogênio x doses de potássio foi significativa para a área foliar do capim-Marandu no primeiro e segundo cortes. As doses de nitrogênio e de potássio que maximizaram a área foliar, em mmol L^{-1} , foram de 33 e 11, na ocasião do primeiro e do segundo cortes do capim, respectivamente (Figura 3).

Figura 3 - Área foliar (AF) no primeiro (a) e segundo (b) cortes do capim-Marandu, submetido a combinações de doses de nitrogênio e potássio na solução nutritiva

A área foliar do capim-Marandu variou segundo um modelo de equação de regressão polinomial (Figura 3) com o suprimento de nitrogênio e potássio na solução. Por ocasião do primeiro corte, nas concentrações mais baixas desses nutrientes, a área foliar foi aproximadamente 22,5 vezes menor que nas doses de nitrogênio e potássio de 33 e 11 mmol L^{-1} .

Na combinação das doses mais elevadas de nitrogênio e de potássio, a área foliar da gramínea foi 70% maior do que a área foliar obtida com o emprego das doses de nitrogênio e de potássio de 15 e 6 mmol L⁻¹ (doses usuais da solução completa de Hoagland e Arnon (1950)).

Lavres Jr. e Monteiro (2003) observaram interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio significativa, em dois cortes da gramínea, para área foliar no capim-Mombaça. Em doses de nitrogênio e potássio na solução nutritiva similares às estudadas neste experimento, os autores relataram que nas combinações das mais baixas doses a área foliar foi cerca de 11 vezes menor que na combinação das mais altas doses. Também, a área foliar foi 22% maior na combinação das mais altas doses do que nas doses de nitrogênio (15 mmol L⁻¹) e potássio (6 mmol L⁻¹) da solução de Hoagland e Arnon (1950). Fica comprovada a necessidade de adequado suprimento de nitrogênio e potássio, quando se utilizam gramíneas tropicais e se emprega a solução de Hoagland e Arnon (1950).

Com o suprimento das mais baixas doses de nitrogênio e de potássio, para o segundo corte do capim-Marandu, a área foliar foi 20 vezes menor do que nas doses mais elevadas doses de nitrogênio e de potássio, mantendo-se 70% maior em relação à área foliar obtida com o emprego de nitrogênio de 15 mmol L⁻¹ e potássio de 6,0 mmol L⁻¹. A área foliar nas mais altas doses foi maior na ocasião do segundo corte das plantas, pois com o sistema radicular formado, no segundo período de crescimento, a planta disponibiliza as reservas do sistema radicular para emissão de novos perfilhos e folhas, aumentando a área foliar.

Marschner (1995) ressaltou que o nitrogênio promove alterações na morfologia das plantas, sendo que em condições de alto suprimento de nitrogênio pode-se obter maior área foliar do que em fornecimento de dose mais baixa desse nutriente. Chapmam e Lemaire (1993) descreveram que o nitrogênio proporciona alongação foliar e incrementa a área foliar em gramíneas. O potássio é responsável pelo potencial osmótico das células, promovendo maior a turgidez celular e aumento da área foliar nas plantas.

A análise da morfogênese e da nutrição do capim-Marandu possibilitou verificar que a produtividade de gramíneas forrageiras decorre de sua capacidade de emissão de folhas e perfilhos, processo importante na restauração da área foliar sob condições de corte ou pastejo. Assim, como resultante desses efeitos, o crescimento do capim-Marandu foi influenciado pela doses de nitrogênio e doses de potássio na solução nutritiva.

A interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio foi significativa para a produção de massa seca da parte aérea, no primeiro e segundo cortes (Figura 4), e para a produção de massa seca de raízes (Figura 5) do capim-Marandu. Tanto a máxima produção de massa seca da parte aérea na ocasião dos dois cortes do capim-Marandu, quanto a produção de raízes seria atingida com a combinação de doses de nitrogênio e potássio superiores às estudadas neste experimento.

Figura 4 - Massa seca da parte aérea (MSPA), no primeiro (a) e segundo (b) cortes do capim-Marandu, submetido a combinações de doses de nitrogênio e potássio na solução nutritiva

Pode ser observado na Figura 4 que das mais baixas para as mais altas combinações de doses de nitrogênio e de potássio, a produção de massa seca da parte aérea, no primeiro e segundo cortes, revela incremento de 12 e 10 vezes, respectivamente. Isto também foi constatado por Monteiro et al. (1980), Cherney, Ketterings e Orloski (2004), Fitzpatrick e Guilard (2004) e Lavres Jr. et al. (2004), que observaram terem sido as doses de nitrogênio e de potássio grandes moduladoras tanto da produção de massa seca da parte aérea quanto das raízes.

Quando se comparou a combinação da mais baixa dose de nitrogênio (2 mmol L^{-1}) e de potássio ($0,5 \text{ mmol L}^{-1}$) com as doses de 33 e $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$ de nitrogênio e potássio, respectivamente, não se verificou diferença acentuada na produção de massa seca da parte aérea do capim-Marandu (Figuras 4a e 4b). Isto confirma observação de Monteiro et al. (1980), que na utilização do adubo nitrogenado é necessário cuidar do suprimento de potássio, para que não haja limitação de resposta da gramínea forrageira ao nitrogênio. Resultados similares foram relatados também por Lavres Jr. e Monteiro (2002), que constataram na combinação de altas doses de

nitrogênio (33 mmol L^{-1}) e de baixas doses de potássio ($0,5 \text{ mmol L}^{-1}$) baixo incremento na produção de massa seca da parte aérea, diferente de quando ambos o potássio e o nitrogênio foram adicionados em altas doses (33 e 11 mmol L^{-1}) na solução nutritiva, que possibilitavam maximizar a produção de massa seca da parte aérea do capim-Mombaça. Também Cherney, Ketterings e Orloski (2004) encontraram baixa produção de massa seca da gramínea *Phalaris arundinaceae*, mesmo em mais elevadas doses de nitrogênio combinadas com mais baixas doses de potássio.

Schiavuzzo, Monteiro e Lavres Jr. (2000), cultivando o capim-Marandu e utilizando doses de nitrogênio até 33 mmol L^{-1} em solução nutritiva trocada a cada 14 dias, observaram ajuste linear no incremento da produção de massa seca da parte aérea. Como os autores trabalharam com a solução de Hoagland e Arnon (1950) é provável que o potássio tenha limitado a expressão de maior potencial de produção da planta forrageira, uma vez que estava na concentração de 6 mmol L^{-1} na solução nutritiva.

Fitzpatrick e Guillard (2004), avaliando a resposta do Kentucky bluegrass (*Poa pratensis*) à aplicação de doses de nitrogênio e doses de potássio na recuperação e eficiência do nitrogênio, encontraram que em baixas doses de potássio a eficiência do uso de nitrogênio foi cerca de 5 gramas de massa seca por grama de nitrogênio aplicado, enquanto que em mais elevadas doses de potássio essa eficiência aumentou para mais de 12 gramas massa seca por grama de nitrogênio aplicado. Acrescentaram que a recuperação de nitrogênio em baixas doses de potássio foi cerca de 30% e em mais altas doses de potássio essa recuperação aumentou para 55%. Esses autores concluíram ainda que mais elevadas doses de potássio ajudam a reduzir a poluição pelo nitrogênio, devido maior eficiência do uso e recuperação de nitrogênio pela planta.

A maior produção de massa seca da parte aérea, no segundo corte do capim-Marandu, foi resultado da utilização das reservas das raízes para emissão de novos perfilhos (60%) e folhas (68%) mais no segundo corte, em relação ao primeiro. Tal fato pode ser comprovado pela alta correlação positiva entre tais atributos com a produção de massa seca da parte aérea, como está mostrado na Tabela 2. Lavres Jr. e Monteiro (2002) também constataram mais elevada produção de massa seca da parte aérea no segundo corte do que no primeiro corte das plantas. Abreu et al. (2004), trabalhando com doses de nitrogênio e potássio e idades de rebrota no capim-Quicuiu da Amazônia (*Brachiaria humidicola*), também observaram maior produção de massa seca da parte aérea no segundo corte da gramínea.

O crescimento das plantas está condicionado primariamente à obtenção de energia proveniente da radiação solar, que deve ser interceptada pela área foliar, a qual é influenciada pelo número de perfilhos e de folhas. As folhas são o principal constituinte da área fotossinteticamente ativa e eficiente, e são produzidas de acordo com a programação morfogênica das plantas que sofre influência direta de fatores de ambiente (LEMAIRE; CHAPMAN, 1996). Assim, para o incremento da massa seca da parte aérea das gramíneas forrageiras torna-se necessário o suprimento racional de doses nitrogênio combinadas com doses de potássio, com o objetivo de maximizar o número de perfilhos e folhas, responsáveis por esse aumento de produção de massa seca.

A formação e o desenvolvimento de sucessivos perfilhos, processo relacionado com o aparecimento de folhas, por sua vez, determina o incremento da produção de massa seca das plantas forrageiras (LEMAIRE; AGNUSDEI, 2000). Assim, se para cada folha nova surgida existe uma gema axilar capaz de originar um novo perfilho, o aparecimento de folhas pode ser considerado a característica central da morfogênese, e o incremento da massa seca o somatório das produções de perfilhos individuais formadores das plantas.

Tabela 2 - Correlações de Pearson entre produção de massa seca da parte aérea (MSPA), número de perfilhos (NP), número de folhas (NF) e área foliar (AF), no primeiro (1) e segundo (2) cortes do capim-Marandu, submetido a combinações de doses de nitrogênio e potássio na solução nutritiva

	MSPA1	MSPA2	NP1	NP2	NF1	NF2	AF1	AF2
MSPA1	-	-	-	-	-	-	-	-
MSPA2	0,99***	-	-	-	-	-	-	-
NP1	0,94***	0,94***	-	-	-	-	-	-
NP2	0,96***	0,96***	0,97***	-	-	-	-	-
NF1	0,92***	0,92***	0,98***	0,96***	-	-	-	-
NF2	0,96***	0,96***	0,98***	0,99***	0,96***	-	-	-
AF1	0,98***	0,98***	0,95***	0,95***	0,96***	0,95***	-	-
AF2	0,99***	0,99***	0,96***	0,95***	0,95***	0,98***	0,98***	-

*** significativo a 0,1% de probabilidade

A interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio foi significativa para a produção de massa seca de raízes (Figura 5). Na comparação da combinação das mais baixas doses (N=2 e K=0,5 mmol L⁻¹) com as mais altas doses (N=33 e K=11 mmol L⁻¹) de nitrogênio e potássio na solução nutritiva a produção de massa seca de raízes aumentou 37 vezes. As doses de nitrogênio e de potássio recomendadas por Hoagland e Arnon (1950) proporcionam 65% menos massa seca de raízes que as máximas doses de nitrogênio e potássio utilizadas. Marschner (1995) relatou que

o suprimento de nutrientes altera fortemente o crescimento e a morfologia das raízes e o efeito é mais marcante para o fornecimento de nitrogênio, e acrescentou que a mais elevada dose de amônio do que nitrato promove o incremento da produção de massa seca de raízes. Brower (1962) relacionou a falta de nitrogênio com o crescimento radicular estando ligado com o acúmulo de carboidratos na ausência de nitrogênio, tanto na parte aérea como nas raízes.

Figura 5 - Massa seca de raízes (MSR) do capim-Marandu, submetido a combinações de doses de nitrogênio e potássio na solução nutritiva

Nas doses mais baixas de potássio, além da menor massa radicular do que em altas doses desse nutriente, as raízes apresentaram-se quebradiças e raquíticas, desfazendo-se facilmente com as sucessivas lavagens, mostraram ainda aspecto melado e forte odor característico de material em decomposição. Ferrari Neto, Faquin e Vale (1994), em trabalho com gramíneas forrageiras, relataram que a fragilidade das raízes ocorreu devido à absorção e translocação do potássio para a parte aérea em intenso crescimento, porém, em quantidades insuficientes para exercer a função de transportador de fotoassimilados até o sistema radicular. Conforme esses autores, a omissão de potássio proporcionou redução significativa na produção de massa seca da parte aérea e, principalmente, na massa seca das raízes. Tal resposta também pôde ser observada no presente trabalho (Figura 5), comprovando ser o potássio um nutriente potencializador da biomassa radicular.

O nitrogênio e o potássio são os nutrientes absorvidos em maiores quantidades pelas plantas na interface solo-raiz. O processo de absorção desses nutrientes depende da espécie de

planta, das características químicas da solução, da interface solo-raiz e do histórico nutricional da planta (SUBASINGHE, 2006). Estudos mostraram que a absorção de nitrato estimula a absorção de K^+ em vários cultivos, sugerindo que o íon NO_3^- favorece a absorção do K^+ e/ou o seu transporte (ZSOLDOS et al., 1990; SUBASINGHE, 2006).

Avaliando o capim-Tanzânia com relação à interação doses de potássio $\times$ doses de magnésio, Monteiro e Consolmagno (2008) verificaram que a máxima produção de massa seca de raízes foi obtida com o fornecimento da dose de potássio de $8,4 \text{ mmol L}^{-1}$ com a dose de magnésio de $1,9 \text{ mmol L}^{-1}$, sendo, provavelmente, a demanda por potássio limitada pela dose de nitrogênio de apenas 15 mmol L^{-1} . É possível que a demanda por potássio para a máxima produção de massa seca de raízes seria maior caso tivesse sido fornecida mais alta dose de nitrogênio na solução nutritiva que a dose recomendada por Hoagland e Arnon (1950).

O suprimento de potássio, independente da dose, associado à baixa dose de nitrogênio não permite alcançar elevada produção de massa seca do capim, enquanto que altas doses de potássio combinadas com altas doses de nitrogênio interagem para proporcionar elevadas produções de massa seca da parte aérea das raízes (Figuras 4 e 5). Desse modo, os resultados reportados no presente trabalho comprovam mais uma vez a importância do equilíbrio no suprimento de nitrogênio e potássio, para alcançar ótima produtividade da planta forrageira.

Pela constatação dos pontos de máxima produção da massa seca da parte aérea e de raízes, números de perfilhos e de folhas e área foliar torna-se nítido que as doses de nitrogênio e potássio da solução de Hoagland e Arnon (1950) não são suficientes para que a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu expresse todo seu potencial produtivo. Para maximizar essas características morfogênicas e produtivas do capim-Marandu são necessárias doses bem mais elevadas que as daquela solução.

Para o comprimento total e o comprimento específico radicular foi observada significância para a interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio na solução nutritiva (Figura 6). Na combinação das mais baixas doses de nitrogênio e potássio (2 e $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$), o comprimento total de raízes foi 99 m por vaso, enquanto na combinação das mais altas doses de nitrogênio e de potássio (33 e 11 mmol L^{-1}) foram totalizados 141 m por vaso. Por sua vez, na combinação da mais alta dose de nitrogênio com a mais baixa de potássio (33 e $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$) o comprimento total radicular foi 685 m por vaso. Os resultados de comprimento total radicular

comprovam que o sistema radicular atinge maior comprimento quando a planta está deficiente em nitrogênio e/ou potássio.

Figura 6 - Comprimento total radicular (a) e comprimento específico radicular (b) do capim-Marandu submetido a combinações de doses de nitrogênio e potássio na solução nutritiva

Lavres Jr. e Monteiro (2003) constataram que o comprimento total das raízes foi incrementado em 80% quando se comparou a combinação das mais baixas doses de nitrogênio e de potássio com a combinação das mais altas doses desses dois nutrientes e que para a obtenção do máximo comprimento total das raízes do capim-Mombaça seria necessário o fornecimento de mais altas doses de nitrogênio na solução nutritiva e de potássio na dose de 11 mmol L⁻¹ (5 mmol L⁻¹ a mais que a dose recomendada por Hoagland e Arnon (1950). Isto está em consonância com o relatado por Marschner (1995), que o nitrogênio é o principal nutriente modulador do sistema radicular.

Batista e Monteiro (2006), estudando as combinações de doses de nitrogênio e enxofre no capim-Marandu, observaram que a interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa para o comprimento total radicular, o qual foi alterado apenas pelas doses de nitrogênio, com a obtenção do ponto de máximo na dose desse nutriente de 29 mmol L⁻¹. Esses autores verificaram aumento de 8,4 vezes, quando compararam a mais baixa dose de nitrogênio (1 mmol L⁻¹) com a dose relativa ao ponto de máximo comprimento radicular. Essas constatações estão de acordo com Marschner (1995), que relatou ter o suprimento de nutrientes potencial para alterar sensivelmente o crescimento e a morfologia das raízes.

O comprimento específico radicular (razão entre o comprimento total radicular e a massa seca de raízes) atingiu o valor mínimo nas combinações das mais altas doses de nitrogênio e potássio na solução nutritiva (Figura 6b). O comprimento específico foi diminuindo à medida que se aumentavam as doses de potássio, expressando o maior diâmetro médio das raízes ou espessura das raízes (raízes mais grossas) e corroborando as afirmações de Fitter (1996), Lavres Jr. e Monteiro (2003) e Batista e Monteiro (2006), que alto comprimento específico revela estarem as raízes mais finas buscando nutrientes, em condições de baixa disponibilidade de nutrientes.

Para a superfície total e a superfície específica radicular foi observada significância para a interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio na solução nutritiva (Figura 7). Comparando-se a combinação das mais baixas doses de nitrogênio e de potássio, com a combinação das mais altas doses de ambos os nutrientes pode-se constatar o incremento de 7,2 vezes na superfície total radicular. Quando se compara a combinação das menores doses de nitrogênio e de potássio com as doses que promoveram máxima superfície radicular ($N=33$ e $K=0,5$ mmol L⁻¹) constata-se incremento de 9,6 vezes. Nas doses recomendadas por Hoagland e Arnon (1950), de nitrogênio e de potássio de 15 e 6 mmol L⁻¹, respectivamente, a superfície radicular foi 1,6 vezes menor do que aquela obtida na combinação das mais altas doses de nitrogênio e de potássio.

Figura 7 - Superfície total radicular (a) e superfície específica radicular (b) do capim-Marandu submetido a combinações de doses de nitrogênio e potássio na solução nutritiva

Lavres Jr. e Monteiro (2003), comparando a superfície de raízes na combinação das mais baixas doses de nitrogênio e de potássio na solução com as mais elevadas doses de ambos, constataram incremento de seis vezes na superfície radicular. Quando a comparação esteve entre as doses de nitrogênio e potássio na solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950), com as doses mais elevadas de nitrogênio e de potássio esse aumento correspondeu a 68%. Batista e Monteiro (2006) relataram efeito benéfico das doses de nitrogênio na superfície radicular do capim-Marandu, com os resultados ajustando-se ao modelo quadrático de regressão e o ponto de máxima superfície de raízes foi encontrado com a dose de nitrogênio de 32 mmol L⁻¹.

A superfície específica radicular (razão entre a superfície total radicular e a massa seca de raízes) atingiu o valor mínimo na combinação das mais altas doses de nitrogênio e potássio na solução nutritiva (Figura 7b). Quando o potássio foi fornecido nas mais baixas doses, mantendo-se o nitrogênio nas mais altas doses, foram observados incrementos de até quatro vezes na superfície específica em relação a mais alta dose de potássio na solução nutritiva. Isto foi devido às baixas produções de massa seca de raízes, que ocorreram nas mais baixas doses de potássio. Lavres Jr. e Monteiro (2003) não encontraram significância para interação doses de nitrogênio x doses de potássio para a superfície específica do capim-Mombaça, que foi influenciada tanto pelas doses de nitrogênio quanto de potássio, com pontos de mínima superfície específica de raízes para o nitrogênio e o potássio nas doses de 21 e 7 mmol L⁻¹, respectivamente.

O desenvolvimento do sistema radicular foi bem modificado pelas doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva. Observando-se as Figuras 5, 6 e 7, constata-se que o suprimento de nitrogênio dependeu da combinação com o fornecimento de potássio para influir no desenvolvimento das raízes, e que a solução recomendada por Hoagland e Arnon (1950) não atende as exigências do sistema radicular, no que diz respeito à maximização dos atributos radiculares.

3.4 Conclusões

As combinações de doses de nitrogênio e de potássio promoveram alterações nas características morfogênicas e produtivas da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu;

As doses de nitrogênio e de potássio necessárias para maximizar as características morfogênicas e produtivas do capim-Marandu foram mais elevadas que as Hoagland e Arnon (1950);

As doses de nitrogênio e de potássio que maximizaram características morfogênicas e produtivas do capim-Marandu foram de 30 e 9 e 33 e 11 mmol L⁻¹, respectivamente.

Referências

- ABREU, J.B.R.; CÓSER, A.C.; DEMINICIS, B.B.; BRUM, R.P.; SANT'ANA, N.F.; TEIXEIRA, M.C.; SANTOS, A.M. Avaliação da produção de matéria seca, relação folha/colmo e composição químico-bromatológica de *Brachiaria humidicola* (rendle), submetida à diferentes idades de rebrota e doses de nitrogênio e potássio. **Revista Universidade Rural**, Rio de Janeiro, v. 24, p. 135-141, 2004.
- ALEXANDRINO, E.; NASCIMENTO Jr., D. do; REGAZZI, A.J.; MOSQUIM, P.R.; ROCHA, F.C.; SOUZA, D. de P. Características morfogênicas e estruturais da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetida a diferentes doses de nitrogênio e frequências de cortes. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 27, p. 7-14, 2005.
- AUDA, H.; BLASER, R.E.; BROWN, R.H. Tillering and carbohydrate contents of orchardgrass as influenced by environmental factors. **Crop Science**, Madison, v. 6, p. 139-143, 1976.
- BATISTA, K. ; MONTEIRO, F.A. Sistema radicular do capim-Marandu considerando as combinações de doses de nitrogênio e de enxofre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 821-828, 2006.
- BROWER, R. Nutritive influences on the distribution of dry matter in the plant. **Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 10, p. 342-399, 1962.
- CARVALHO, M.M.; MARTINS, C.E.; VERNEQUE, R.S.; SIQUEIRA, C. Respostas de uma espécie de *Brachiaria* à fertilização com nitrogênio e potássio em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, p. 195-200, 1991.
- 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.
- CHERNEY, J.H.; KETTERINGS, Q.M.; ORLOSKI, J.L. Plant and soil elemental status as influenced by multi-year nitrogen and potassium fertilization. **Journal of Plant Nutrition**. New York, v. 27, p. 991-1014, 2004.
- CORSI, M. Pastagens de alta produtividade. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 8., 1986, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1986. p. 499-512.
- CRESTANA, S.; GUIMARÃES, M.S.; 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**, Campinas, v. 18, p. 365-371, 1994.

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

FERRAGINE, M.D.C.; MONTEIRO, F.A.; SILVA, S.C. Leaf appearance rate in *Brachiaria decumbens* grown in nitrogen and potassium rates. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., 2001, São Pedro. **Proceedings**. Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 69-70.

FERRARI NETO, J.; FAQUIN, V.; VALE, F.R. Limitações nutricionais do colômbio (*Panicum maximum* Jacq.) e da braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.), em amostras de um Latossolo do noroeste do Paraná: I. Produção de matéria seca e perfilhamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 23, p. 538-551, 1994.

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

FITZPATRICK, R.J.M.; GUILLARD, K. Kentucky Bluegrass response to potassium and nitrogen fertilization. **Crop Science**, Madison, v.44, p.1721-1728, 2004.

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

LANGER, R.H.M. Tillering in herbage grasses. **Herbage Abstracts**, v. 33, p. 141-148, 1963.

LAUDE, H.M. External factors tiller development. In: YOUNGNER, V.B.; McKELL, C.M. (Ed.). **The biology and utilization of grasses**. New York: Academic Press, 1972. p. 146-154.

LAVRES Jr., 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.

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

LEMAIRE, G., AGNUSDEI, M. Leaf tissue turn-over and efficiency of herbage utilization. In: LEMAIER, G., HODGSON, J., MORAES, A. (Ed.). **Grassland ecophysiology and grazing ecology**. Wallingford: Cab International, 2000. p. 265-288.

LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. Tissue fluxes in grazing plant communities. In: HODGSON, J.; ILLIUS, A.W. (Ed.). **The ecology and management of grazing systems**. Wallingford: Cab International, 1996. p. 3-36.

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.

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

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

McKENZIE, F.R. The influence of applied nitrogen on the vigour of *Lolium perenne* during the establishment year under subtropical conditions. **Tropical Grasslands**, Brisbane, v. 30, p. 345-249, 1996.

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.; LIMA, S.A.A.; WERNER, J.C.; MATTOS, H.B. Adubação potássica em leguminosas e em capim-Colonião (*Panicum maximum* Jacq.) adubado com níveis de nitrogênio ou consorciado com leguminosas. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 37, p. 127-148, 1980.

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.

NELSON, C.J.; ZARROUGH, K.M. Tiller density and tiller weight as yield determinants of vegetative swards. In: WRIGTH, C.E. (Ed.). **Plant physiology and herbage production**. Hurley: British Grassland Society, 1981. p. 25-29.

PINTO, J.C.; GOMIDE, J.A.; MAESTRI, M. Produção de matéria seca e relação folha/caule de gramíneas forrageiras tropicais, cultivadas em vaso, com duas doses de nitrogênio. **Revista da Sociedade Brasileira Zootecnia**, Viçosa, v. 23, p. 313-326, 1994.

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

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

RYLE, G.J.A. Effects of two levels of applied nitrogen on the growth of S27 cocksfoot in small simulated swards in a controlled environment. **Journal British Grassland Society**, London, v. 25, p. 20-29, 1970.

SAS INSTITUTE. **Propriety software release 6.11**. Cary, 1996.

SCHIAVUZZO, P.F.; LAVRES Jr., J.; MONTEIRO, F.A. Respostas fisiológicas do capim-Marandu ao suprimento de nitrogênio. In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 7., 1999, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1999. p. 313.

SCHIAVUZZO, P.F.; MONTEIRO, F.A.; LAVRES Jr., J. Nitrogênio na produção e na nutrição da braquiária-Marandu. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., 2000, Viçosa. **Resumos...** Viçosa: SBZ, 2000. p. 107.

SUBASINGHE, R. Effects of nitrogen and potassium stress and cultivar differences on potassium ions and nitrate uptake in sugarcane. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 29, p. 809-825, 2006.

VICENTE-CHANDLER, J; PEARSON, R.W.; ABRUÑA, F.; FIGARELLA, J. Potassium fertilization of intensive managed grasses under humid tropical conditions. **Agronomy Journal**, Madison, v. 54, p. 450-453, 1962.

ZSOLDOS, F.; HAUNOLD, E.; HERGER, P.; VASHEGYI, A. Effects of sulfate and nitrate on K^+ uptake and growth of wheat and cucumber. **Physiologia Plantarum**, Kobenhavn, v. 80, p. 425-430, 1990.

4 FORNECIMENTO DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO E A NUTRIÇÃO MINERAL NESSES NUTRIENTES NO CAPIM-MARANDU

Resumo

As adubações nitrogenada e potássica podem influenciar a produção do capim-Marandu e, também, alterar o estado nutricional das plantas. Assim, objetivou-se avaliar o efeito das combinações de doses de nitrogênio e de potássio nas concentrações de nitrogênio total, potássio, nitrato e amônio nas lâminas de folhas recém-expandidas e nas raízes, no valor SPAD, na atividade da enzima redutase do nitrato e na distribuição do nitrato e amônio nas partes do capim-Marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) submetido a combinações de doses de nitrogênio e potássio, em solução nutritiva. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, empregando-se sílica como substrato, no período do verão. Utilizou-se o esquema fatorial 5^2 fracionado, com 13 combinações de nitrogênio e potássio, as quais foram distribuídas segundo o delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições. Foram realizados dois cortes nas plantas. A interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio foi significativa para a concentração de nitrogênio, potássio, nitrato e amônio nas lâminas de folhas recém-expandidas e nas raízes. A enzima redutase do nitrato teve sua atividade aumentada pelas doses de nitrogênio e potássio. A distribuição percentual de nitrato e amônio se deu na seguinte ordem: colmos+bainhas > lâminas de folhas recém-expandidas > folhas em expansão > lâminas de folhas maduras, evidenciando os colmos+bainhas como parte da planta com acumulação de nitrato e amônio e de baixa atividade da enzima redutase do nitrato. As doses de nitrogênio se mostraram moduladoras do valor SPAD. As combinações de doses de nitrogênio e de potássio afetaram a nutrição mineral do capim-Marandu, modificando as concentrações de nitrogênio, amônio, nitrato e potássio. A atividade da redutase do nitrato se correlacionou com as concentrações de nitrato e de amônio nas lâminas de folhas recém-expandidas. A concentração de nitrato na parte aérea foi mais alta que a de amônio, enquanto nas raízes ocorreu o inverso.

Palavras-chave: Amônio; *Brachiaria brizantha*; Folha diagnóstica; Nitrato; Redutase do nitrato; SPAD

NITROGEN AND POTASSIUM SUPPLY AND THESE NUTRIENTS MINERAL NUTRITION IN MARANDU PALISADEGRASS

Abstract

Nitrogen and potassium fertilizations may influence Marandu palisadegrass forage yield, and also change the mineral nutrition status of the plants. The objective was to study the effects of nitrogen rates and potassium rates combinations on the concentrations of nitrogen, potassium, nitrate and ammonium in the recently expanded leaf laminae and roots, SPAD value, nitrate reductase activity, and nitrate and ammonium distribution in parts of Marandu palisadegrass (*Brachiaria brizantha* Marandu cultivar) in response to nitrogen and potassium rates in the nutrient solution. The experiment was carried out in a greenhouse, with nutrient solution in a ground quartz substrate, during the Summer season. A fractionated 5^2 factorial was used, with 13 nitrogen and potassium rates combinations, which were set in a randomized block design, with four replications. Two harvests were done in plants. Nitrogen rates $\times$ potassium rates interaction was significant for nitrogen, potassium, nitrate and ammonium concentrations in the recently expanded leaf laminae and in the roots. Increasing rates of both nitrogen and potassium increased nitrate reductase activity. Nitrate and ammonium contents in plant shoots were distributed

following the order: culms+sheaths > recently expanded leaf laminae > emergent leaves > mature leaf laminae, and culms+sheaths accumulated both nitrate and ammonium and had low nitrate reductase activity. Nitrate rates highly affected SPAD values. Nitrogen and potassium affected the mineral nutrition status of *Marandu palisadegrass* by changing nitrogen, ammonium, nitrate and potassium concentrations. Nitrate reductase activity highly correlated with nitrate and ammonium concentrations in the recently expanded leaf laminae. Nitrate concentration was higher than the ammonium concentration in shoots, whereas the contrary occurred in the roots.

Keywords: Ammonium; *Brachiaria brizantha*; Diagnostic leaf; Nitrate; Nitrate reductase; SPAD

4.1 Introdução

A variação na disponibilidade de nutrientes no substrato usualmente promove alterações no desenvolvimento das plantas, com reflexos diretos na nutrição do vegetal e consequentemente na produção de massa seca. Assim, o fornecimento de nutrientes é, muitas vezes, indispensável para nutrir adequadamente e atingir o rendimento máximo das plantas. O nitrogênio e o potássio são os nutrientes absorvidos em maiores quantidades pelas plantas e que, portanto, necessitam de atenção especial quando se busca obter patamares de produção.

A adubação é um procedimento indispensável para a manutenção de adequado estado nutricional das plantas e obtenção de altos rendimentos de massa seca. O nitrogênio é importante por ser componente de aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, hormônios, clorofila e de outros compostos orgânicos, e constitui-se no nutriente de maior impacto na produção de massa das plantas forrageiras. O potássio também tem influência direta na produção de forragem, pois participa na fotossíntese e está envolvido em reações bioquímicas componentes do metabolismo vegetal, é ativador de mais de 60 enzimas e está relacionado ao metabolismo do nitrogênio.

Toda a dinâmica desses nutrientes na planta deve ser conhecida, a fim de se entender melhor as interações e aperfeiçoar o uso dos fertilizantes nitrogenados. Dada a sua importância, o nitrogênio tem sido intensamente estudado no sentido de maximizar a eficiência do seu uso. Para tanto, tem-se procurado melhorar a sua absorção pelos vegetais, utilizando fontes que forneçam formas nítricas e/ou amoniacais e entender seu metabolismo no interior da planta.

Considerando o fato de que as concentrações dos nutrientes no tecido vegetal têm estreita relação com a produção da planta forrageira, as demandas pelos conhecimentos dessas concentrações são necessárias, visto que a determinação das concentrações de nitrogênio total, nitrato e amônio, bem como de potássio para as plantas forrageiras reflete o estado nutricional das plantas forrageiras, que por sua vez ocasiona, usualmente, variações em suas características morfológicas, fisiológicas, bioquímicas, nutricionais e qualitativas.

A principal forma de aquisição de nitrogênio pelas plantas é a nítrica, porém para ser utilizado o nitrato necessita ser reduzido, em um processo dependente de energia e mediado pelas enzimas redutase do nitrato e redutase do nitrito, enquanto o amônio dispensa essa etapa para ser assimilado. A enzima redutase do nitrato, que é considerada a enzima chave na regulação do metabolismo do nitrogênio tem sua atividade influenciada pelo estado nutricional da planta, que

merece atenção, visto que a mais elevada atividade dessa enzima significa maior capacidade em responder à adubação nitrogenada.

Em média, a eficiência de utilização do nitrogênio pelas plantas é de aproximadamente 33%. Buscando ferramentas e alternativas para maximizar o uso de fertilizantes, principalmente o nitrogenado, o monitoramento do teor de clorofila e da assimilação do nitrogênio por meio da avaliação da atividade da enzima redutase do nitrato têm se mostrado como índices de alta precisão para o manejo da fertilização nitrogenada.

Desta forma, formulou-se a hipótese que as doses de nitrogênio e de potássio interagem, promovendo alterações nos aspectos da nutrição nesses nutrientes na *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Objetivou-se avaliar o efeito das combinações de doses de nitrogênio e de potássio em: a) concentrações de nitrogênio total, potássio, nitrato e amônio nas lâminas de folhas recém-expandidas e nas raízes; b) valor SPAD; c) atividade da enzima redutase do nitrato e d) distribuição do nitrato e amônio nas partes da planta forrageira.

4.2 Material e Métodos

O estudo foi conduzido em casa de vegetação, em Piracicaba-SP, em vasos com capacidade de 3,6 L, tendo sílica como substrato e utilizando a gramínea forrageira *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. Marandu.

Foram estudadas as combinações de cinco doses de nitrogênio (2; 8; 15; 24 e 33 mmol L⁻¹) com cinco doses de potássio (0,5; 3,0; 6,0; 8,5 e 11,0 mmol L⁻¹), em esquema fatorial 5² fracionado, como descrito por Littell e Mott (1975). As 13 combinações das doses de nitrogênio com as de potássio na solução nutritiva, em mmol L⁻¹, foram: 2,0 e 0,5; 2,0 e 6,0; 2,0 e 11,0; 8,0 e 3,0; 8,0 e 8,5; 15,0 e 0,5; 15,0 e 6,0; 15,0 e 11,0; 24,0 e 3,0; 24,0 e 8,5; 33,0 e 0,5; 33,0 e 6,0 e 33,0 e 11,0. As doses dos demais nutrientes nas soluções foram as recomendadas por Hoagland e Arnon (1950). As soluções nutritivas foram preparadas como mostrado na Tabela 1, mantendo-se constante a relação nitrato:amônio em 1,8:1,0 (64,4% N-NO₃⁻ e 35,6% N-NH₄⁺). O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições.

As sementes do capim foram colocadas para germinar em bandejas plásticas, contendo areia lavada em água corrente e água desionizada. A areia foi mantida úmida com água desionizada e aos 16 dias após a semeadura, transplantaram-se 15 mudas para cada vaso, as quais foram desbastadas até ficarem cinco plantas de capim-Marandu em cada vaso. Após o transplante

e durante três dias, cada vaso recebeu 1 L de solução diluída a 1/3 da concentração total correspondente a cada combinação estudada. A partir do quarto dia, a solução com concentração definitiva foi adicionada.

Tabela 1 - Volumes das soluções estoques empregados no preparo das soluções nutritivas para as doses de nitrogênio e potássio

Combinações de doses de nitrogênio e potássio (mmol L ⁻¹)													
Soluções *	2N			8N		15N			24N		33N		
	0,5K	6K	11K	3K	8,5K	0,5K	6K	11K	3K	8,5K	0,5K	6K	11K
Volumes (mL L ⁻¹)													
NH ₄ NO ₃	0,21	0,71	0,71	2,86	2,86	4,84	5,34	5,34	8,54	8,54	11,25	11,75	11,75
Ca(NO ₃) ₂	0,54	0,29	0,29	1,14	1,14	2,41	2,16	2,16	3,46	3,46	5	4,75	4,75
KH ₂ PO ₄	0,5	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1	0,5	1	1
NH ₄ H ₂ PO ₄	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-
CaCl ₂	4,46	4,71	4,71	3,86	3,86	2,6	2,84	2,84	1,54	1,54	-	0,24	0,24
KCl	-	5	10	2	7,5	-	5	10	2	7,5	-	5	10
MgSO ₄	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Micro-Fe**	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Fe-EDTA***	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pressão													
Osmótica	0,552	0,798	1,044	0,756	1,002	0,780	1,025	1,271	1,035	1,281	1,095	1,340	1,586
(atm)													

* Com exceção das soluções de micronutrientes e do fosfato de amônio (0,5 mol L⁻¹), as soluções estoque tiveram concentração de 1 mol L⁻¹.

** A solução com micronutrientes menos ferro, teve a seguinte composição, em g L⁻¹: H₃BO₃=2,86; MnCl₂.4H₂O=1,81; ZnCl₂=0,10; CuCl₂=0,04 e H₂MoO₄.H₂O=0,02.

*** Dissolveram-se 26,1 g de EDTA dissódico em 286 mL de NaOH 1 mol L⁻¹, misturando-se 24,0 g de FeSO₄.7H₂O, arejando-se por uma noite e completando-se a 1 L de água desionizada.

Dois cortes das plantas foram realizados, sendo o primeiro aos 46 dias após o transplântio das mudas e o segundo 30 dias após o primeiro corte. Cortaram-se as plantas a 4 cm de altura do solo e o material colhido foi separado nas frações: folhas emergentes (FE), lâminas das duas folhas recém-expandidas (LR), lâminas das folhas maduras (LM) e colmos+bainhas (CB). Todo o material vegetal foi colocado para secagem em estufa de ventilação forçada a 70 °C, até massa constante.

Cada componente da parte aérea e as raízes foram moídos em moinho do tipo Wiley, sendo as amostras acondicionadas em sacos plásticos e levadas para determinação das concentrações de nitrogênio e potássio, conforme método descrito por Sarruge e Haag (1974). O nitrogênio foi determinado pelo método analítico semi-micro Kjeldahl, após digestão sulfúrica, enquanto a digestão nítrico-perclórica foi realizada para a preparação dos extratos contendo

potássio em solução. Para determinação de potássio, utilizou-se o método de fotometria de chama, enquanto para a determinação das concentrações de amônio e nitrato nas lâminas de folhas recém-expandidas, utilizou-se metodologia relatada por Tedesco, Volkweiss e Bohnen (1985).

A avaliação da enzima redutase do nitrato e as leituras SPAD foram realizadas no mesmo dia. As leituras SPAD obtidas pelo Chlorophyll Meter SPAD-502 (MINOLTA CAMERA Co., 1989), em duas lâminas de folhas recém-expandidas, de cinco plantas por vaso, computando-se a média de dez medições. A atividade da redutase do nitrato *in vivo* foi determinada de acordo com o método descrito por Mulder, Boxma e van Venn (1959), aos 18 dias após o transplante das mudas e aos 17 dias após o primeiro corte das plantas, coletando-se as amostras do terço médio das lâminas de folhas recém-expandidas, evitando-se a nervura central.

Os resultados receberam tratamento estatístico, com o emprego do Statistical Analysis System (SAS, 1996), adotando-se o nível de 5% de significância. Inicialmente, foi realizada a análise de variância e, quando ocorria significância do teste F para a interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio efetuou-se o estudo de regressão polinomial, por meio do procedimento RSREG. Os pontos de máxima e mínima resposta para as doses de nitrogênio e potássio foram obtidos na análise de superfície de resposta efetuada pelo SAS. Para as variáveis-resposta nas quais a interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio não foi significativa, efetuou-se a análise de regressão para as doses de cada nutriente. Os pontos de máxima resposta foram obtidos por meio de derivadas das equações de segundo grau. Também, procedeu-se ao estudo das correlações entre as variáveis avaliadas.

4.3 Resultados e Discussão

O valor SPAD, avaliado durante o primeiro e segundo crescimentos do capim-Marandu, não apresentou significância para a interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio. Entretanto, respostas significativas foram observadas para as doses individuais de nitrogênio, com os resultados ajustando-se aos modelos quadrático e linear de regressão, no primeiro e segundo períodos de crescimento, respectivamente (Figura 1).

Figura 1 – Valor SPAD no primeiro (a) e segundo (b) períodos de crescimento do capim-Marandu, em função das doses de nitrogênio na solução nutritiva

Os valores SPAD nas lâminas de folhas recém-expandidas atingiram valor máximo de 55 unidades SPAD na dose de nitrogênio de 29 mmol L⁻¹, no primeiro crescimento do capim-Marandu. Comparando-se o ponto de máximo com a dose de nitrogênio de 2 mmol L⁻¹, constatou-se redução de 58% no valor SPAD, comprovando a estreita relação existente entre o valor SPAD e o suprimento de nitrogênio.

Lavres Jr. e Monteiro (2002) constataram que, no primeiro crescimento, o valor SPAD do capim-Mombaça na concentração de 2 mmol L⁻¹ atingiu valor correspondente à 45% (47 – 21 unidades SPAD) do valor SPAD, obtido na concentração mais alta de nitrogênio (33 mmol L⁻¹) empregada no estudo. Santos (1997) observou que os valores SPAD para a *Brachiaria decumbens* foram de 17 e 50 e 24 e 52 para a condição de omissão e aplicação de nitrogênio as quais corresponderam às doses de nitrogênio de 24 e 32 mmol L⁻¹, no primeiro e segundo crescimentos, respectivamente. O máximo valor de 55 unidades SPAD observado no primeiro crescimento do capim-Marandu, é muito próximo daquele verificado por Lavres Jr. e Monteiro (2006) no capim-Aruana, que apresentou máximo de 52 unidades SPAD nas LR, quando a dose de nitrogênio foi de 33 mmol L⁻¹.

O valor SPAD no segundo período crescimento variou entre 27 e 39 unidades SPAD, quando se considera das mais baixas para as mais altas doses de nitrogênio. As leituras SPAD nas folhas do capim, no segundo período de crescimento mostraram mais baixos valores do que no primeiro crescimento, e isto pode ter sido devido à maior produção de massa seca da parte aérea

no segundo período de crescimento, diminuindo a intensidade do verde das folhas. Rajcan, Dwyer e Tollenaar (1999) relataram que a concentração de macronutrientes, especialmente o nitrogênio, existentes nas folhas é variável que pode ser correlacionada com o teor de clorofila no tecido foliar. Segundo Bullock e Anderson (1998), mais clorofila é sintetizada com o aumento da disponibilidade de nitrogênio para a planta, resultando em incremento na intensidade do verde nas folhas. Porém, esse aumento no teor de clorofila ocorre até atingir patamar denominado ponto de maturidade fotossintética, que se mantém invariável, mesmo com mais incremento na concentração de nitrogênio na planta (SCHEPERS et al., 1992; COSTA et al., 2001). Esse patamar foi observado no primeiro crescimento das plantas (Figura 1a), em que se constatou essa estabilidade no valor SPAD, que atingiu 55 unidades e ocorreu a partir da dose de 29 mmol L⁻¹ de nitrogênio na solução nutritiva.

As avaliações das leituras SPAD nas LR e a concentração de nitrogênio mostraram correlação positiva com coeficientes de correlação de Pearson de ($r = 0,94^{**}$ e $0,87^{**}$), para o primeiro e segundo crescimentos do capim, respectivamente. Outros autores também constataram correlação positiva entre teor de clorofila na folha e concentração de nitrogênio na planta (SCHADCHINA; DMITRIEVA, 1995) e com o rendimento das culturas (SMEAL; ZHANG, 1994; PIEKIELEK; FOX, 1992).

O clorofilômetro apresenta facilidade de operação, permite avaliações *in situ* e pode ser utilizado como ferramenta auxiliar podendo identificar deficiência de nitrogênio. Como observado na Figura 1, as mais baixas doses de nitrogênio (0 a 2 mmol L⁻¹) apresentaram valores SPAD variando de 20 a 30 unidades SPAD, enquanto que as mais altas doses de nitrogênio (29 a 33 mmol L⁻¹) apresentaram valores SPAD variando de 40 a 55 unidades SPAD no capim-Marandu.

A constatação de que as concentrações de nitrogênio no tecido vegetal e de clorofila correlacionam-se positivamente com o valor SPAD foi relatada por, foi relatada por Marquard e Tipton (1987) estudando doze culturas, Piekielek e Fox (1992) e Blackmer e Schepers (1995) em milho (*Zea mays*), Guimarães et al. (1999) em tomateiro (*Lycopersicum esculentum*), Yamamoto et al. (2004) em sorgo (*Sorghum bicolor*) e feijão guandu (*Cajanus cajan*), Lavres Jr. e Monteiro (2006) no capim-Aruana e Lavres Jr., Monteiro e Schiavuzzo (2008) no capim-Marandu.

O clorofilômetro foi capaz de identificar plantas deficientes em nitrogênio, podendo ser utilizado para prever o aparecimento inicial da deficiência de nitrogênio no capim-Marandu.

Trabalhos que reportem valores SPAD críticos para plantas forrageiras são escassos. Colozza et al. (2000) constatarem valores críticos de nitrogênio variando entre 32 e 39 unidades SPAD para o capim-Mombaça. Lavres Jr. e Monteiro (2006) indicaram valores críticos de concentração de nitrogênio nas LR variando de 29 a 34 g kg⁻¹, correspondendo a valores críticos SPAD, respectivamente, de 49 a 43, para o primeiro e segundo crescimento do capim-Aruana.

A interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio foi significativa para a concentração de nitrogênio nas LR coletadas nas ocasiões do primeiro e segundo períodos de crescimento do capim-Marandu (Figura 2). A concentração de nitrogênio na primeira coleta das lâminas de folhas recém-expandidas foi de 11 g kg⁻¹ na combinação de 2 e 0,5 mmol L⁻¹ de nitrogênio e potássio. Quando o nitrogênio e o potássio foram supridos nas doses de 33 e 0,5 mmol L⁻¹, a concentração de nitrogênio atingiu 44 g kg⁻¹, constatando-se incremento de quatro vezes. Batista e Monteiro (2007) também constatarem que a concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas foi estritamente relacionada ao suprimento de nitrogênio na solução nutritiva, e observaram variação de 16 a 26 g kg⁻¹ no capim-Marandu, com o suprimento das mais baixas até as mais altas doses de nitrogênio (1 a 33 mmol L⁻¹).

Figura 2 – Concentração de nitrogênio (N) nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR), no primeiro (a) e segundo (b) cortes do capim-Marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva

Em estudo de doses de nitrogênio em pastagem de capim-Marandu, Oliveira et al. (2005) também verificaram mais alta concentração de nitrogênio na parte aérea da planta com o

incremento no fornecimento de nitrogênio. Neste mesmo sentido, Braga (2001) observou que a concentração de nitrogênio no capim-Mombaça, aumentou com a aplicação de doses do fertilizante nitrogenado. Ferragine e Monteiro (1999), Cherney, Ketterings e Orloski (2004) e Batista e Monteiro (2007) também relataram influência das doses de nitrogênio na concentração do nutriente nas folhas das plantas.

Pode-se constatar na Figura 2 que nas mais altas doses de nitrogênio a concentração de nitrogênio nas LR diminuiu com o aumento das doses de potássio. Também Lavres Jr. e Monteiro (2002) relataram que na mais alta dose de nitrogênio (33 mmol L^{-1}), quando o potássio variou da mais baixa ($0,5 \text{ mmol L}^{-1}$) para a mais alta dose (11 mmol L^{-1}), diminuiu a concentração de nitrogênio nas LR do capim-Mombaça. Isto certamente é resultante do efeito de diluição do nitrogênio no tecido vegetal, proporcionado pelo aumento na produção de massa seca da parte aérea, à medida que as doses de potássio são aumentadas.

Cherney, Ketterings e Orloski (2004) estudaram as adubações nitrogenada e potássica em *Phalaris arundinaceae* e constataram que, com o incremento na dose de nitrogênio tanto a concentração de nitrogênio nas folhas quanto a produção de massa seca mostraram aumentos significativos. Esses autores concluíram que a adubação nitrogenada, em relação à adubação potássica, influenciou mais a concentração de nutrientes e a produção de massa seca, mas o potássio foi fundamental para não limitar a resposta das plantas ao nitrogênio.

Segundo Werner et al. (1996), as concentrações médias de nitrogênio, para obtenção de altas produções de massa seca, de *Brachiaria brizantha*, devem mostrar valores a partir de 13 g kg^{-1} . No presente experimento foram observadas as mais baixas produções de massa seca da parte aérea do capim-Marandu, quando a concentração de nitrogênio nas LR estava ao redor de 13 g kg^{-1} . Deve-se ressaltar que a composição foliar para avaliação do estado nutricional das plantas forrageiras, especificada por Werner et al. (1996) foi aquela que simula o animal pastejando (brotação nova e folhas verdes). Lavres Jr. e Monteiro (2006) constataram mais baixa produção de massa seca da parte aérea quando a concentração de nitrogênio era de 14 g kg^{-1} , no capim-Aruana. Também Batista e Monteiro (2007) encontraram mais baixa produção de massa seca da parte aérea quando a concentração de nitrogênio foi de 16 g kg^{-1} nas LR do capim-Marandu, no primeiro corte das plantas.

As doses de nitrogênio e potássio que resultaram nas mais elevadas produções de massa seca da parte aérea foram mais elevadas que as estudadas no presente experimento. No entanto,

os resultados permitiram constatar que para as mais elevadas produções de massa seca da parte aérea, do capim-Marandu seriam necessárias concentrações de nitrogênio nas LR mais altas que as descritas por Werner et al. (1996). Na combinação das mais altas doses de nitrogênio e potássio essa concentração foi de 33 e 20 g kg⁻¹ de nitrogênio.

Carvalho et al. (1991) observaram que a concentração de nitrogênio no capim-Braquiária foi incrementada linearmente com a aplicação das doses de nitrogênio, atingindo valores de 17 a 21 g kg⁻¹. Entretanto, essa concentração diminuiu com o aumento da dose de potássio na adubação, em decorrência do incremento da produção de massa seca. Martim, Monteiro e Carmello (1997) também constatarem as mais elevadas concentrações de nitrogênio nas mais baixas doses de potássio fornecidas ao capim-Coastcross (*Cynodon spp*), caracterizado pelo efeito de concentração de nitrogênio no tecido vegetal, uma vez que as plantas pouco se desenvolveram.

Para a concentração de potássio nas LR, no primeiro e segundo cortes do capim-Marandu, a interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio foi significativa (Figura 3). Primavesi et al. (2005) verificaram que o capim-Marandu demandou elevadas quantidades de nutrientes, principalmente potássio, quando recebeu doses altas de nitrogênio. Deve-se ressaltar que, para obtenção de elevados patamares de produção de massa seca, a concentração de potássio no tecido foliar não deve limitar os efeitos do nitrogênio como de promotor de crescimento. Na Figura 3 constatou-se que o incremento nas doses de potássio e nitrogênio promoveram mais altas concentrações de potássio nas LR do capim-Marandu.

No primeiro corte (Figura 3a), a concentração de potássio nas LR variou de 2 a 25 g kg⁻¹, quando se considera a mais baixa dose de nitrogênio (2 mmol L⁻¹) em combinação com a mais baixa dose de potássio (0,5 mmol L⁻¹) e a mais alta (11 mmol L⁻¹) dose de potássio, respectivamente. Na combinação das mais altas doses de nitrogênio e de potássio foi verificada concentração de potássio de 31 g kg⁻¹. Monteiro et al. (1995) relataram que a concentração de potássio na parte aérea do capim-Marandu, quando compararam os tratamentos com omissão de potássio com o completo, variou de 4,3 a 28,0 g kg⁻¹.

A concentração de potássio nas LR foi incrementada com aumento das doses de nitrogênio e potássio na solução nutritiva. Ferragine e Monteiro (1999) constatarem que as mais altas doses de nitrogênio proporcionaram as mais baixas concentrações de potássio no capim-Braquiária, fato explicado pelo efeito de concentração de potássio na planta, frente ao pouco

desenvolvimento das plantas em baixas doses de nitrogênio. Fernandes e Rossiello (1985) também relataram redução de 30 a 32% na concentração de potássio na parte aérea do capim-Braquiária quando as doses de nitrogênio foram incrementadas. Tal fato não foi observado na Figura 3, visto que as doses de nitrogênio e potássio necessárias para a máxima concentração de potássio foram superiores às estudadas neste experimento.

Figura 3 – Concentração de potássio (K) nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR), no primeiro (a) e segundo (b) cortes do capim-Marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio e potássio na solução nutritiva

Segundo Werner et al. (1996), para obtenção de altas produções de massa seca, da *Brachiaria brizantha*, a concentração de potássio deve ser, pelo menos, de 18 g kg⁻¹. No presente experimento, foram observados valores de produção de massa seca da parte aérea intermediárias, quando a concentração de potássio estava ao redor de 18 g kg⁻¹, porém as mais elevadas produções de massa seca da parte aérea foram observadas quando a concentração de potássio foi mais elevada que 30 g kg⁻¹.

Vale ressaltar que o método de coleta de material vegetal descrito por Werner et al. (1996), para avaliação do estado nutricional das plantas forrageiras, foi aquele que simula o animal pastejando (brotação nova e folhas verdes) e por vezes pode resultar em concentração de nutrientes deferente da indicada pelas LR. Em sistemas de alta produção de forragem, que utilizam elevadas doses de nitrogênio, tem-se encontrado concentrações de potássio necessárias à

máxima produção de massa seca na ordem de 56 g kg^{-1} (PRIMAVESI et al., 2006) e 35 g kg^{-1} (MATTOS; MONTEIRO, 1998;), ambos para o capim-Marandu. Essas concentrações são mais elevadas que as recomendadas por Werner et al. (1996), podendo a baixa concentração de potássio estar limitando a máxima resposta produtiva das plantas ao nitrogênio.

Mattos (1997) conduziu experimento em casa de vegetação com solução nutritiva, avaliando a diagnose nutricional do capim-Marandu. Os autores verificaram que o incremento das doses de potássio na solução nutritiva proporcionou aumento na produção de massa seca da parte aérea, correlacionando-se com concentração de potássio nos componentes da parte aérea. Constataram também que o nível crítico de potássio nas LR no primeiro e segundo cortes, foi de 23 e 20 g kg^{-1} .

Nas LR coletadas no segundo corte do capim-Marandu (Figura 3b) foram observadas concentrações de potássio mais baixas às colhidas no primeiro corte, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio. Mattos e Monteiro (1998), testando doses de potássio no capim-Marandu, relataram também mais baixa concentração de potássio nas LR coletadas no segundo corte, em relação ao primeiro corte. Tal fato está em consonância com as mais elevadas produções de massa seca da parte aérea, ocasionando efeito de diluição do nutriente no tecido vegetal. Os resultados comprovam que mais elevadas concentrações de nitrogênio e potássio nas LR do capim-Marandu foram necessárias para maximização da produção de massa seca da parte aérea.

A interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio na solução nutritiva foi significativa tanto para a concentração de nitrogênio quanto para a de potássio nas raízes do capim-Marandu (Figura 4). A concentração de nitrogênio nas raízes, nas combinações das mais altas doses de nitrogênio com as mais baixas doses de potássio, foi 45% mais alta em relação às combinações das mais altas doses de ambos os nutrientes. Esse resultado pode ser atribuído ao maior desenvolvimento das raízes, nas condições de alto suprimento de potássio, que resultou no efeito de diluição do nutriente nas raízes (Figura 4a).

Batista e Monteiro (2006), estudando o capim-Marandu, relataram que as doses de nitrogênio foram determinantes para o incremento na concentração de nitrogênio nas raízes e na produção de massa seca de raízes. Constataram que, na mais baixa dose de nitrogênio (2 mmol L^{-1}), a produção de raízes representou 6% da máxima produção de massa seca de raízes,

enquanto a concentração de nitrogênio nas raízes variou entre 2,4 a 29,5 g kg⁻¹, quando se comparou a mais baixa com o ponto de máxima resposta às doses de nitrogênio.

Figura 4 – Concentração de nitrogênio (a) e potássio (b) nas raízes do capim-Marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva

A mais alta concentração de potássio nas raízes foi observada na combinação das mais baixas doses de nitrogênio com as mais altas doses de potássio. Isto ocorreu devido ao pouco desenvolvimento do sistema radicular, proporcionado pelo baixo suprimento de nitrogênio, que segundo Marschner (1995) é o nutriente que mais modula as características do sistema radicular. Observou-se que a concentração de potássio nas raízes foram mais baixos com incremento das doses de nitrogênio na solução nutritiva variando a concentração de potássio de 32 a 5 g kg⁻¹ das mais baixas às mais altas doses de nitrogênio, com o potássio na mais alta dose.

Lavres Jr. (2001) verificou que, em presença de nitrogênio de 2 mmol L⁻¹, as doses de potássio proporcionaram aumentos lineares na concentração de potássio nas raízes, variando de 2 g kg⁻¹ (K=0,5 mmol L⁻¹) a 12 g kg⁻¹ (K=11 mmol L⁻¹). O mesmo ocorreu, no presente estudo, com a variação das doses de potássio dentro da dose de nitrogênio de 33 mmol L⁻¹, pois quando se aumentou a disponibilidade de potássio a planta absorveu mais potássio e incrementou a concentração no tecido vegetal. Constatou-se também que, na dose de potássio de 0,5 mmol L⁻¹, a concentração de potássio nas raízes variou com as doses de nitrogênio, estando entre 2 g kg⁻¹

(N=2 mmol L⁻¹) e 0,2 g kg⁻¹ (N=33 mmol L⁻¹). A mais baixa concentração de potássio no tecido radicular foi observada na mais alta dose de nitrogênio associada à mais baixa dose de potássio na solução, enquanto a mais alta concentração de potássio nesse tecido foi obtida com a combinação das doses de nitrogênio e de potássio, respectivamente, de 2 e 11 mmol L⁻¹.

Pereira (2001) verificou aumentos significativos na concentração de potássio nas raízes do capim-Mombaça com a elevação das doses de potássio na solução nutritiva, ajustando-se à equação de primeiro grau. Isto comprova a possibilidade da obtenção de mais elevada concentração de potássio nesse tecido, caso tivessem sido fornecidas doses mais altas de potássio que as utilizadas no experimento. Constatou também que a concentração de potássio nas raízes variou de 1,8 a 13,0 g kg⁻¹ quando as doses desse nutriente variaram de 0,25 a 12 mmol L⁻¹, respectivamente, o que está de acordo com os resultados do presente estudo.

Monteiro et al. (1995), em experimento de omissão de nutrientes no capim-Marandu, relataram que na omissão de potássio na solução nutritiva a concentração de potássio nas raízes foi 3,6 g kg⁻¹, enquanto que no tratamento completo a concentração foi de 25 g kg⁻¹. Na Figura 4b constatou-se que a concentração de potássio nas raízes na mais baixa dose de potássio foi 2 g kg⁻¹, enquanto que na mais alta dose foi 34 g kg⁻¹. Monteiro e Consolmagno (2008) relataram resposta linear para concentração de potássio nas raízes do capim-Tanzânia (*Panicum maximum* cv. Tanzânia), que variou de 2 a 9 g kg⁻¹ quando adicionaram doses de potássio na solução nutritiva.

Os resultados comprovam que o estado nutricional das plantas tem efeito nos atributos de crescimento de raízes, como observado por Eshel e Waisel (1996). Um sistema radicular bem desenvolvido garante a formação e sustentação da parte aérea. Assim, plantas bem supridas em nitrogênio e potássio apresentam sistema radicular vigoroso, em relação às plantas deficientes nesses nutrientes, já que os mecanismos envolvidos no crescimento do sistema radicular estão relacionados ao acúmulo de carboidratos.

As plantas de capim-Marandu apresentaram sintomas visuais de deficiência tanto de nitrogênio quanto de potássio, nos dois crescimentos avaliados. Na segunda semana após o transplante das mudas para os vasos foi possível verificar sintomas de deficiência de nitrogênio na dose de 2 mmol L⁻¹, que se caracterizaram por um desenvolvimento reduzido das plantas, com pequeno número de perfilhos e folhas e clorose de lâminas de folhas velhas, que avançavam em direção às partes novas da planta (Figuras 5a e 5d).

Figura 5 – Diversos estágios dos sintomas na *Brachiaria brizantha* cv. Marandu de deficiência de nitrogênio (a) e de potássio (b) nas lâminas foliares e no sistema radicular (c) e diferenças no desenvolvimento da parte aérea (d) em função das combinações de nitrogênio e potássio na solução nutritiva

Os primeiros sintomas visuais de deficiência de potássio foram constatados aos 14 dias após o transplante das mudas para os vasos, nas plantas crescendo na dose de potássio de $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$. Esses sintomas caracterizaram-se pela clorose na forma de “V” invertido na borda

das lâminas de folhas velhas, o qual avançou em direção à nervura principal com as plantas apresentando desenvolvimento reduzido e pequeno número de perfilhos e folhas (Figuras 5b e 5d). Esses sintomas são semelhantes aos descritos por Monteiro et al. (1995) e Lavres e Monteiro (2002). No final do período experimental foi possível constatar maior desenvolvimento do sistema radicular nas doses mais elevadas de nitrogênio e potássio do que nas mais baixas doses desses nutrientes (Figuras 5c).

A interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio não foi significativa para atividade da enzima redutase do nitrato no primeiro e segundo períodos de crescimento do capim-Marandu, sendo verificado efeito das doses de nitrogênio, com ajuste ao modelo de regressão quadrático e das doses de potássio, com ajuste ao modelo de regressão linear (Figura 6).

No primeiro e segundo períodos de crescimento (Figura 6a), quando se compara a mais baixa dose com a mais alta dose de nitrogênio, observa-se incremento de cerca de 80% na atividade da redutase do nitrato. Mengel e Kirkby (2001) relataram que a atividade da enzima redutase do nitrato é influenciada, além da luminosidade e da temperatura, pela concentração de nitrato no substrato. Manarin (2000) constatou que as doses de nitrogênio utilizadas na solução nutritiva proporcionaram aumento na concentração de nitrogênio total e na atividade da enzima redutase do nitrato nas folhas do capim-Mombaça, em função do incremento nas doses de nitrogênio na solução nutritiva.

Johnson, Whittington e Blackwood (1976) propuseram o uso da atividade da enzima redutase do nitrato como indicadora do *status* de nitrogênio na planta. Fernandes, Ferreira e Freire (1978) constataram que a atividade da redutase do nitrato em *Brachiaria* sp, correlacionou-se positivamente ($r = 0,97$) com a concentração de nitrogênio nas folhas e bainhas. Esses autores relataram atividade da enzima redutase do nitrato abaixo de $1 \mu\text{mol g}^{-1} \text{MF h}^{-1}$, tanto nas folhas quanto nas bainhas. Também, na Figura 1, constatam-se variações na atividade da redutase do nitrato abaixo de $1 \mu\text{mol g}^{-1} \text{MF h}^{-1}$, para as LR. Do mesmo modo Lavres Jr. e Monteiro (2006) encontraram valores entre 0,06 a $0,15 \mu\text{mol g}^{-1} \text{MF h}^{-1}$ da atividade da redutase nas LR do capim-Aruana. Deve -se salientar que as diferenças nas atividades da enzima redutase do nitrato podem ser atribuídas a espécies distintas, como também às diferentes épocas de avaliação.

Figura 6 – Atividade da enzima redutase do nitrato (At.RNase) *in vivo* no primeiro (a, b) e segundo (c, d) crescimentos do capim-Marandu, em função das doses de nitrogênio (N) e de potássio (K) na solução nutritiva

A atividade da enzima redutase do nitrato variou significativamente em função das doses de potássio, no primeiro e segundo crescimentos do capim-Marandu (Figura 6). Com o incremento das doses de potássio na solução nutritiva (0,5 a 11 mmol L⁻¹) foi constatado incremento de 81 e 48% na atividade da enzima, respectivamente, para o primeiro e segundo crescimentos. Marschner (1995) relatou que a importância do potássio para a atividade da redutase do nitrato, estaria na participação da ativação desta enzima, bem como o requerimento deste cátion para a síntese da redutase do nitrato. A importância da nutrição potássica e seu efeito na regulação da atividade enzimática da redutase de nitrato em algumas culturas foi demonstrada por Umar e Bansal (1995) em mostarda (*Sinapsis alba*), soja (*Glicine max*) por Anuradha e

Sarma (1995), algodão (*Gossypium hirsutum*) por Song e Mao (1996) e capim-Mombaça por Lavres Jr. (2001). Porém, faltam estudos neste sentido com outras gramíneas forrageiras tropicais.

A interação doses de nitrogênio x doses de potássio na solução nutritiva foi significativa para as concentrações de nitrato e de amônio nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) coletadas no primeiro e no segundo cortes do capim-Marandu (Figura 7).

Figura 7 – Concentração de nitrato (N-NO₃) e amônio (N-NH₄) nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR), no primeiro (a e c) e segundo (b e d) cortes do capim-Marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva

A concentração de nitrato, nas LR no primeiro e segundo cortes, na combinação da dose de nitrogênio 33 mmol L⁻¹ com potássio de 11 mmol L⁻¹ foram de 0,77 e 0,65 mg kg⁻¹. Do mesmo modo, na combinação das mais baixas doses de nitrogênio e de potássio foram de 0,94 e 0,85 mg kg⁻¹, enquanto que foram encontradas as mais elevadas concentrações de nitrato (1,26 e 1,09 mg kg⁻¹) para mais alta dose de nitrogênio com a mais baixa dose de potássio e de 1,20 e 1,10 mg kg⁻¹ para a mais baixa dose de nitrogênio com a mais alta dose de potássio.

As concentrações de amônio, nas LR no primeiro e segundo cortes, na combinação das doses de nitrogênio e de potássio de 33 e 11 mmol L⁻¹ foram de 4,78 e 4,71 mg kg⁻¹ e, do mesmo modo, na combinação das mais baixas doses de nitrogênio e de potássio a concentrações de amônio foram as mais baixas de, 0,21 e 0,14 mg kg⁻¹. Foram encontradas concentrações de amônio de 0,73 e 0,58 mg kg⁻¹ para mais alta dose de nitrogênio com a mais baixa dose de potássio de 0,87 e 1,05 mg kg⁻¹ para a combinação da mais baixa dose de nitrogênio com a mais alta dose de potássio.

Os resultados revelam que em condições de desequilíbrio entre os nutrientes a atividade da enzima redutase do nitrato foi baixa. Comparando-se as Figuras 6 e 7 constata-se que nas combinações de doses de nitrogênio e de potássio em que foram observadas as mais baixas concentrações de nitrato, a atividade da enzima redutase do nitrato foi mais alta, ou seja, onde houve suprimento adequado de nitrogênio e de potássio. Do mesmo modo nas Figuras 7c e 7d, pode-se notar que onde atividade da enzima é mais alta observa-se mais alta concentração de amônio nas LR, mostrando que a enzima foi estimulada pelo substrato, onde mais nitrato foi reduzido, o que está de acordo com o relatado por Mengel e Kirkby (2001).

Verifica-se, na Figura 7, que em quaisquer doses de nitrogênio fornecidas na solução nutritiva combinadas com a dose mais baixa de potássio, praticamente não há variação tanto da concentração de nitrato quanto de amônio. Isto se relaciona com a atividade enzimática, destacando assim a importância do potássio na ativação da enzima enzimática da redutase do nitrato, conforme descrito por Marschner (1995).

Fernandes e Rossiello (1985) constataram que o aumento da concentração de amônio nas plantas pode ocorrer em condições específicas, como na absorção excessiva de amônio ou pela falta de esqueletos carbônicos para a sua incorporação. Como o presente experimento foi conduzido em sistema em que os nutrientes estiveram prontamente disponíveis na solução nutritiva, provavelmente as plantas absorveram e acumularam os nutrientes em seus tecidos, em

mais altas concentrações, já que não houve restrição de luz e gás carbônico para formação dos esqueletos carbônicos. Segundo Fernandes, Ferreira e Freire (1978), a maior concentração de amônio nas folhas do capim-Braquiária proporcionou aumento na atividade da enzima redutase do nitrato, devido ao incremento na absorção de nitrato e isto foi favorecido com a troca das soluções durante o experimento.

As concentrações de nitrato e amônio nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Marandu representaram pequena parte do nitrogênio total (Figura 2), assim como observado na Figura 7. Enquanto as concentrações de nitrogênio total estiveram em torno de 40 a 50 e de 30 a 40 g kg⁻¹, no primeiro e segundo cortes, respectivamente, as de nitrato estiveram na faixa de 0,80 a 1,30 e de 0,70 a 1,10 mg kg⁻¹ e as de amônio de 0,20 a 5,00 mg kg⁻¹. Costa et al. (2008) conduziram experimentos para avaliar a nutrição do capim-Marandu, submetido a doses e fontes de nitrogênio. Esses autores também encontraram concentrações nitrogênio total nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Marandu em torno de 22 g kg⁻¹ e concentrações mais baixas de nitrato e amônio, em torno de 0,50 e 0,80 mg kg⁻¹, respectivamente.

As concentrações de nitrato encontradas no tecido do capim-Marandu estão dentro dos padrões normais, pois o limite de concentração tóxica para os animais está entre 3,5 e 4,5 g kg⁻¹ de nitrato na forragem fresca (WHITEHEAD, 1995). Plantas forrageiras com deficiência de nitrogênio e/ou potássio acumulam nitrato nas folhas, visto que o funcionamento do sistema de redução do nitrato (atividade da enzima redutase do nitrato) é mais baixa ou quase nula. Foram observadas concentrações de nitrato nas LR do capim-Marandu na ordem de 1,30 mg kg⁻¹, enquanto que com alto suprimento de nitrogênio e de potássio as concentrações de nitrato foram na ordem de 0,80 mg kg⁻¹, no primeiro crescimento (Figura 7a).

Primavesi et al. (2005) também encontraram concentrações de nitrato abaixo do limite tóxico para animais, na ordem de 62 mg kg⁻¹ nas folhas do capim-Coastcross, indicando boa metabolização de nitrogênio pela planta, confirmada pela atividade da enzima redutase do nitrato e aumento da produção de massa seca. Primavesi et al. (2006), em estudo com doses e fontes de nitrogênio no capim-Marandu, encontraram concentração de nitrato de 223 mg kg⁻¹ para a não-aplicação de nitrogênio e de 709 mg kg⁻¹ para a dose máxima de nitrogênio.

A interação doses de nitrogênio x doses de potássio na solução nutritiva foi significativa para as concentrações de nitrato e amônio nas raízes do capim-Marandu (Figura 8). A importância do equilíbrio entre as doses de nitrogênio e de potássio é comprovada pelo aumento

na concentração de nitrato nas raízes, quando as doses de nitrogênio ou potássio diminuem na solução nutritiva, o que, provavelmente se deve à mais baixa atividade da enzima redutase do nitrato, prejudicada pelo desbalanço nutricional. Isto está de acordo com o fato que a atividade da enzima redutase do nitrato nas raízes é fortemente estimulada pela presença de nitrogênio e potássio no substrato, especialmente nitrato, como relatado por Mengel e Kirkby (2001).

Figura 8 – Concentração de nitrato (N-NO₃) e amônio (N-NH₄) nas raízes do capim-Marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva

Nas mais altas doses de nitrogênio e de potássio, a concentração de nitrato nas raízes foi próxima de zero (0,0022 mg kg⁻¹) enquanto que nas mais baixas doses dos dois nutrientes a concentração de nitrato foi de 3,17 mg kg⁻¹. A concentração de amônio nas mais altas doses de nitrogênio e de potássio foi de 2,31 mg kg⁻¹, enquanto nas mais baixas doses dos dois nutrientes essa concentração somente atingiu 0,077 mg kg⁻¹. Esses resultados comprovam a alta atividade da enzima redutase do nitrato nas raízes, em condições de alto suprimento de nitrogênio e de potássio na solução nutritiva.

A maioria das espécies herbáceas, onde se incluem culturas de importância econômica, reduzem o nitrato tanto na parte aérea quanto nas raízes. Em culturas como *Gossypium hirsutum* (RADIN, 1977), *Hordeum vulgare* (LEWIS et al., 1982), *Glicine max* (CRAFTS-BRANDNER; HAPER, 1982) e *Zea mays* (WALLACE, 1972), a atividade da redutase do nitrato tem sido mais alta na parte aérea que nas raízes. Em outras espécies como *Helianthus annuus*, *Lupinus albus* e

Raphanus sativus (WEISSMAN, 1972; PATE, 1980), tem sido relatada atividade da redutase do nitrato mais alta nas raízes do que na parte aérea.

Comparando-se os resultados das Figuras 7 e 8 é possível constatar que a atividade da enzima redutase do nitrato no capim-Marandu é mais elevada na parte aérea das plantas do que nas raízes, visto que a concentração de nitrato na parte aérea é bem mais baixa que no sistema radicular, ocorrendo o contrário com as concentrações de amônio.

Nas Tabelas 2 e 3 pode-se observar a distribuição das quantidades de nitrato e amônio nos componentes da parte aérea da planta: colmos mais bainhas (CB) > lâminas recém-expandidas (LR) > folhas em expansão (FE) > lâminas de folhas maduras (LM). Segundo Marschner (1995), o nitrogênio, por formar aminoácidos solúveis, pode ser redistribuído para as partes novas. Tal fato garante o desenvolvimento vegetal, já que as partes novas da planta não possuem capacidade de produzir compostos necessários ao desenvolvimento. Hageman et al. (1979) relataram que pode ocorrer mais nitrato em colmos mais bainhas das plantas e o nitrato armazenado pode ser distribuído nos outros componentes da planta, quando necessário.

A distribuição do nitrato nos colmos mais bainhas foi, em geral, incrementada pelo maior suprimento de potássio na solução nutritiva, dentro de cada dose de nitrogênio. Em termos de participação porcentual, o nitrato nos colmos mais bainhas representou em torno de 23,9 a 58,8% do total de nitrato presente na parte aérea no primeiro corte e de 22,6 a 58,0% por ocasião do segundo corte da planta forrageira. Por outro lado, a participação do nitrato nas folhas recém-expandidas variou nos limites de 15,5% a 30,4% no primeiro corte e de 15,0% a 29,0% no segundo corte. Nas folhas em expansão e lâminas de folhas maduras, as diferenças na participação porcentual de nitrato nessas partes foram menores relativamente às demais partes, em ambos os cortes do capim (Tabelas 2 e 3). Os resultados de porcentagem de nitrato nos componentes da parte aérea foram consistentes, variando com as combinações de doses de nitrogênio e de potássio e revelando a participação de cada componente da parte aérea no acúmulo de nitrato.

Colozza et al. (2000), estudando a diagnose foliar nos capins Aruana e Mombaça adubados com doses de nitrogênio, encontraram mais alta concentração de nitrato nos colmos mais bainhas, do que nos outros componentes da parte aérea, para a mais elevada dose de nitrogênio. Acrescentou que a mais alta concentração de nitrato ocorreu devido ao efeito de concentração, uma vez que a produção de matéria seca obtida para mais alta dose de nitrogênio

foi menor que a testemunha. Marschner (1995) relatou que o nitrato pode acumular-se nos vacúolos das células, quando ocorre elevado fornecimento dessa forma de nitrogênio.

Tabela 2 - Distribuição percentual da quantidade de nitrato e amônio nos componentes da parte aérea, no primeiro do capim-Marandu submetido a doses de nitrogênio e potássio na solução nutritiva

Combinações N-K (mmol L ⁻¹)	Nitrato				Amônio			
	FE	LR	LM	CB	FE	LR	LM	CB
	------(%)-----							
N _{2,0} K _{0,5}	20,4	25,0	17,7	36,9	24,0	28,0	18,0	30,0
N _{2,0} K _{6,0}	17,2	27,0	15,1	40,7	21,5	30,4	13,3	34,8
N _{2,0} K ₁₁	19,9	25,6	15,0	39,5	24,6	26,7	17,9	30,8
N _{8,0} K _{8,5}	19,5	25,8	13,9	40,8	22,4	27,2	17,6	32,8
N _{8,0} K ₁₁	19,3	21,2	16,2	43,3	21,1	28,1	16,4	34,4
N ₁₅ K _{0,5}	21,1	25,1	16,5	37,3	23,5	26,1	16,5	33,9
N ₁₅ K _{6,0}	18,8	21,9	14,4	44,9	21,0	28,8	16,2	34,0
N ₁₅ K ₁₁	16,5	17,5	9,9	56,1	25,1	27,8	16,2	30,9
N ₂₄ K _{8,5}	17,8	19,4	14,6	48,2	20,1	24,0	16,3	39,6
N ₂₄ K ₁₁	13,5	15,5	12,2	58,8	21,1	30,3	17,9	30,7
N ₃₃ K _{0,5}	19,9	23,7	17,8	38,6	21,5	31,3	9,7	37,5
N ₃₃ K _{6,0}	15,0	28,9	14,7	41,4	18,7	27,9	14,8	38,6
N ₃₃ K ₁₁	23,9	30,5	21,7	23,9	23,8	28,3	16,8	31,1

A distribuição percentual do amônio em cada componente da parte aérea do capim-Marandu foi de 30 a 40% nos colmos mais bainhas de 27,0 a 31,0% nas lâminas de folhas recém-expandidas de 18 a 25% nas folhas em expansão e de 10 a 20% nas lâminas de folhas maduras (Tabelas 2 e 3). Os resultados da porcentagem de amônio nos componentes da parte aérea, com as combinações de doses de nitrogênio e de potássio.

O total de nitrato na parte aérea representou em torno de 69,3 a 83,8% daquele presente na planta inteira, enquanto o nitrato nas raízes representou em torno de 30,6 a 16,2% do total (Tabela 4). Cabe ressaltar que o animal normalmente se alimenta da forragem e principalmente das folhas. Assim, o fato de o nitrato estar presente em mais de metade de sua quantidade total na parte aérea pode ter repercussões tanto na nutrição da forrageira como na do animal que venha pastejá-la.

Tabela 3 - Distribuição percentual da quantidade de nitrato e amônio nos componentes da parte aérea, no segundo do capim-Marandu submetido a doses de nitrogênio e potássio, na solução nutritiva

Combinações N-K (mmol L ⁻¹)	Nitrato				Amônio			
	FE	LR	LM	CB	FE	LR	LM	CB
	------(%)-----							
N _{2,0} K _{0,5}	20,4	24,8	17,6	37,2	19,5	31,7	19,5	29,2
N _{2,0} K _{6,0}	17,2	27,1	14,9	40,8	22,5	29,7	13,0	34,8
N _{2,0} K ₁₁	19,8	25,7	14,8	39,7	23,9	27,3	18,0	30,8
N _{8,0} K _{8,5}	19,3	25,6	14,7	40,4	22,0	28,0	17,1	32,9
N _{8,0} K ₁₁	20,0	20,7	15,7	43,6	21,5	27,9	16,4	34,2
N ₁₅ K _{0,5}	21,1	25,1	16,6	37,2	22,7	28,4	17,1	31,8
N ₁₅ K _{6,0}	18,6	21,8	14,2	45,4	21,7	28,3	15,9	34,1
N ₁₅ K ₁₁	16,1	17,5	10,7	55,7	24,5	28,4	16,8	30,3
N ₂₄ K _{8,5}	17,4	18,8	15,8	48,0	20,0	23,9	16,1	40,0
N ₂₄ K ₁₁	13,0	15,0	14,0	58,0	21,2	30,3	18,1	30,4
N ₃₃ K _{0,5}	20,1	23,9	17,5	38,5	20,4	32,7	9,7	37,2
N ₃₃ K _{6,0}	14,6	28,6	14,6	42,2	18,7	28,1	14,8	38,4
N ₃₃ K ₁₁	25,8	29,0	22,6	22,6	23,7	28,2	16,8	31,3

Tabela 4 - Distribuição percentual da quantidade de nitrato e amônio na parte aérea (%PA) e nas raízes (%R), no segundo corte do capim-Marandu, submetido a doses de nitrogênio e potássio, na solução nutritiva

Combinações N-K (mmol L ⁻¹)	Nitrato		Amônio	
	%PA	%R	%PA	%R
N _{2,0} K _{0,5}	79,1	20,9	18,1	81,9
N _{2,0} K _{6,0}	77,4	22,6	43,4	56,6
N _{2,0} K ₁₁	78,0	22,0	54,5	45,5
N _{8,0} K _{8,5}	77,4	22,6	59,6	40,4
N _{8,0} K ₁₁	76,2	23,8	88,7	11,3
N ₁₅ K _{0,5}	78,5	21,5	31,5	68,5
N ₁₅ K _{6,0}	74,7	25,3	77,2	22,8
N ₁₅ K ₁₁	70,0	30,0	92,5	7,5
N ₂₄ K _{8,5}	73,3	26,7	77,1	22,9
N ₂₄ K ₁₁	69,4	30,6	95,2	4,8
N ₃₃ K _{0,5}	77,7	22,3	40,5	59,5
N ₃₃ K _{6,0}	77,0	23,0	94,6	5,4
N ₃₃ K ₁₁	83,8	16,2	99,6	0,4

A maior participação do nitrato na parte aérea se deve principalmente à necessidade de redução, em um processo dependente de energia e mediado pelas enzimas redutase do nitrato e redutase do nitrito, enquanto o amônio dispensa essa etapa para ser assimilado (MARSCHNER, 1995; TAIZ; ZEIGER, 2004). Blacquiére, Voortman e Stulen (1988) relataram que este fato pode ser um indicativo de que, na presença de amônio, o nitrato absorvido é translocado para a parte aérea da planta, onde é preferencialmente reduzido, enquanto a assimilação de amônio pode ocorrer em proporção apreciável nas raízes.

Apesar da alta demanda energética para a utilização do nitrato, o crescimento das plantas é melhor quando são supridas com nitrato e não com amônio (BARKER; MILLS, 1980). Essa aparente contradição tem determinado o aprofundamento das pesquisas visando identificar os motivos pelos quais a maioria das plantas cultivadas tem o crescimento reduzido quando no substrato existe apenas o íon amônio. Uma possibilidade é que a necessidade de desintoxicação da planta, em função do excesso de amônio absorvido, anule a vantagem em termos de custo energético (GIVAN, 1979; RAAB; TERRY, 1995; GUO; BRÜCK; SATTELMACHER, 2002).

Quando se observa a distribuição percentual de amônio nas raízes, constata-se que dentro de uma mesma dose de nitrogênio, a participação do amônio diminuiu com incremento da dose de potássio. Quanto mais alta foi a dose de nitrogênio maior foi essa diferença. Isso é devido, provavelmente, ao incremento da produção de massa seca da parte aérea, ocasionado pelo aumento das doses de potássio, o que resultou em maior demanda por compostos nitrogenados.

4.4 Conclusões

As combinações de doses de nitrogênio e de potássio afetaram o estado nutricional do capim-Marandu, modificando as concentrações de nitrogênio, amônio, nitrato e potássio;

O valor SPAD foi influenciado pelas doses de nitrogênio na solução nutritiva e apresentou baixo coeficiente de correlação com a concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas;

A atividade da enzima redutase do nitrato foi altamente influenciada pelas doses de nitrogênio e de potássio, na solução nutritiva e se correlacionou com as concentrações de nitrato e de amônio nas lâminas de folhas recém- expandidas.

O acúmulo de nitrato e amônio nos componentes da parte aérea obedeceu a seguinte ordem CB>LR>FE>LM;

Referências

- ANURADHA, K.; SARMA, P.S. Effect of moisture stress and applied potassium on yield and biochemical parameters of soybean in vertisols. **Journal of Oilseeds Research**, Delhi, v. 12, p. 275-278, 1995.
- BARKER, A.V.; MILLS, H.A. Ammonium and nitrate nutrition of horticultural crops. **Horticultural Review**, Westport, v. 2, p. 395-423, 1980.
- BATISTA, K.; MONTEIRO, F.A. Sistema radicular do capim-Marandu considerando as combinações de doses de nitrogênio e de enxofre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 821-828, 2006.
- _____. Nitrogen and sulphur in Marandu grass: relationship between supply and concentration in leaf tissues. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, p. 44-51, 2007.
- BLACKMER, T.M.; SCHEPERS, J.S. Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. **Journal Production Agriculture**, v. 8, p. 56-60, 1995.
- BLACQUIERE, T.; VOORTMAN, E.; STULEN, I. Ammonium and nitrate nutrition in *Plantago lanceolata* L. and *Plantago major* L. ssp. *major*. II. Nitrogen metabolism. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 106, p.2 3-24, 1988.
- BRAGA, G.J. **Resposta do capim-Mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) a doses de nitrogênio e intervalos de corte**. 2001. 121 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2001.
- BULLOCK, D.G.; ANDERSON, D.S. Evaluation of the Minolta SPAD-502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 21, p. 741-755, 1998.
- CARVALHO, M.M.; MARTINS, C.E.; VERNEQUE, R.S.; SIQUEIRA, C. Respostas de uma espécie de *Brachiaria* à fertilização com nitrogênio e potássio em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, p. 195-200, 1991.
- CHERNEY, J.H.; KETTERINGS, Q.M.; ORLOSKI, J.L. Plant and soil elemental status as influenced by multi-year nitrogen and potassium fertilization. **Journal of Plant Nutrition**. New York, v. 27, p. 991-1014, 2004.
- COLOZZA, M.T.; KIEHL, J.C.; WERNER, J.C.; SCHAMMASS, E.A. Respostas de *Panicum maximum* cv. Aruana a doses de nitrogênio. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 57, p. 21-32, 2000.
- COSTA, C.; DWYER, L.M.; DUTILLEUL, P.; STEWART, D.W.; MA, B.L.; SMITH, L. Inter-relationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 24, p. 1173-1194, 2001.

COSTA, K.A.P.; FAQUIN, F.; OLIVEIRA, I.P.; ARAÚJO, J.L.; RODRIGUES, R.B. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-Marandu. II – Nutrição nitrogenada da planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1601-1607, 2008.

CRAFTS-BRANDNER, S.J.; HARPER, J.E. Nitrate reduction by roots of soybean seedlings. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 69, p. 1298–1303, 1982.

ESHEL, A.; WAISEL, Y. Multiform and multifunction of various constituents of one root system. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Ed.). **Plant roots: the hidden half**. 2nd ed. New York, Marcel Dekker, 1996. p. 175-192.

FERNANDES, M.S.; ROSSILO, R.O.P. Aspectos do metabolismo e utilização do nitrogênio em gramíneas tropicais. In: SIMPÓSIO SOBRE CALAGEM E ADUBAÇÃO DE PASTAGENS, 1., 1985, Nova Odessa. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS, 1986. p. 93-123.

FERNANDES, M.S.; FERREIRA, M.B.; FREIRE, L.R. Efeitos da interação de N-nitrato e amônio na atividade da redutase de nitrato e acumulação de N-protéico com *Brachiaria* sp. **Turrialba**, San José, v. 28, p. 187-191, 1978.

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.

GIVAN, C.V. Metabolic detoxification of ammonia in tissues of higher plants. **Phytochemistry**, Elmsford, v. 18, p. 375-382, 1979.

GUIMARÃES, T.G.; FONTES, P.C.R.; PEREIRA, P.R.G.; ALVAREZ V., V.H.; MONNERAT, P.H. Teores de clorofila determinados por medidor portátil e sua relação com formas de nitrogênio em folhas de tomateiro cultivado em dois tipos de solo. **Bragantia**, Campinas, v. 58, p. 209-216, 1999.

GUO, S.; BRÜCK, H.; SATTELMACHER, B. Effects of supplied nitrogen form on growth and water uptake of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 239, p. 267–275, 2002.

HAGEMAM, R.H. Integration of nitrogen assimilation in relation to yield. In: HEWIT, E.J.; CUTTINGS, C.V. (Ed.). **Nitrogen assimilation in plants**. New York: Academic Press, 1979. p. 591-612.

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

JOHNSON, C.B.; WHITTINGTON, W.J.; BLACKWOOD, G.C. Nitrate reductase as a possible predictive test of crop yield. **Nature**, London, v. 262, p. 133-134, 1976.

LAVRES Jr., J. **Combinações de doses de nitrogênio e potássio para o capim-Mombaça**. 2001. 103 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

LAVRES Jr., 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.

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

LAVRES, Jr., J.; MONTEIRO, F.A.; SCHIAVUZZO, P.F. Concentração de enxofre, valor SPAD e produção do capim-Marandu em resposta ao enxofre. **Revista Brasileira Ciência Agrária**, Recife, v. 3, p. 225-231, 2008.

LEWIS, O.A.M.; WATSON, E.F.; HEWITT, E.J. Determination of nitrate reductase activity in barley leaves and roots. **Annals of Botany**, London, v. 49, p. 31-37, 1982.

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.

MARQUARD, R.D.; TIPTON, J.L. Relationship between extractable chlorophyll and an *in situ* method to estimate leaf greenness. **HortScience**, St. Joseph, v. 22, p. 1327-1338, 1987.

MANARIN, C.A. **Respostas fisiológicas, bioquímica e produtivas do capim-Mombaça a doses de nitrogênio**. 2000. 59p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

MATTOS, W.T. Diagnose nutricional de potássio em duas espécies de braquiárias. Piracicaba, 1997. 74p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

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

MARTIM, A.R.; MONTEIRO, F.A.; CARMELLO, Q.A.C. Interação entre nitrogênio e potássio nos capins-Coastcross 1 e Tifton 85 cultivados em oxissolo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 1 CD-ROM.

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

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. London: Kluwer Academic, 2001. 849 p.

MINOLTA CAMARA Co. **Manual for chlorophyll meter SPAD-502**. Osaka, 1989. 22 p.

MONTEIRO, F.A.; CONSOLMAGNO NETO, D. Sistema radicular do capim-Tanzânia adubado com potássio e magnésio. **Revista Brasileira 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.; BOXMA, R.; VAN VENN, W.L. The effect of molybdenum and nitrogen deficiencies on nitrate reduction in plant tissue. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 10, p. 335-355, 1959.

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

PATE, J.S. Transport and partitioning of nitrogenous solute. **Annual Review of Plant Physiology**, Lancaster, v. 31, p. 313-340, 1980.

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.

PIEKIELEK, W.P.; FOX, R.H. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, p. 59-65, 1992.

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. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, p. 562-568, 2006.

RAAB, T.K.; TERRY, N. Carbon, nitrogen and nutrient interactions in *Beta vulgaris* L. as influenced by nitrogen source, NO_3^- versus NH_4^+ . **Plant Physiology**, Bethesda, v. 107, p. 575-584, 1995.

RADIN, J.W. Contribution of the root system to nitrate assimilation in whole cotton plants. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 4, p. 811-819, 1977.

RAJCAN, I.; DWYER, L.; TOLLENAAR, M. Note on relationship between leaf soluble carbohydrate and chlorophyll concentrations in maize during leaf senescence. **Field Crops Research**, Madison, v. 63, p. 13-17, 1999.

SANTOS, A.R. **Diagnose nutricional e respostas do capim-Braquiária submetido a doses de nitrogênio e enxofre**. 1997. 115p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

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

SAS INSTITUTE. **Propriety software release 6.11**. Cary, 1996.

SCHADCHINA, T.M., DMITRIEVA, V.V. Leaf chlorophyll content as a possible diagnostic mean for the evaluation of plant nitrogen uptake from the soil. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 18, p. 1427-1437, 1995.

SCHEPERS, J.S.; FRANCIS, D.D.; VIGIL, M.; BELOW, F.E. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. **Communication Soil Science Plant Analysis**, Philadelphia, v. 23, p. 2173-2187, 1992.

SMEAL, D., ZHANG, H. Chlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 25, p. 1495-1503, 1994.

SONG, M.Z.; MAO, S.C.; YANG, H.Y. Effect of potassium on dry matter in cotton and physiological activity. **Acta Agriculturae Universitatis Henanensis**, Henanensis, v. 30, p. 191-194, 1996.

TAIZ, L. ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução de R.E. Santarém. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 95 p. (Boletim Técnico, 5).

UMAR, S.; BANSAL, S.K. Potassium requirement of mustard (*Brassica juncea* L.) under moisture stress conditions. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 22, p. 130-135, 1995.

WALLACE, W. The distribution and characteristics of nitrate reductase and glutamate dehydrogenase in the maize seedlings. **Plant Physiology**, Lancaster, v.v52, p.v191-196, 1973.

WERNER, J.C.; PAULINO, V.T.; CANTARELLA, H.; ANDRADE, N.O.; QUAGGIO, J.A. Forrageiras. In: RAIJ, B.VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas; Fundação IAC, 1996. p. 263-273. (IAC. Boletim Técnico, 100).

WEISSMAN, G.S. Influence of ammonium and nitrate nutrition on enzymatic activity in soybean and sunflower. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 49, p. 138-141, 1972.

WHITEHEAD, D.C. **Grassland nitrogen**. Wallingford, CAB International, 1995. 397p.

YAMAMOTO, A.A.; NAKAMURA, T.B.; ADU-GYAMFI, J.J.C.; SAIGUSA, M. Relationship between chlorophyll content in leaves of sorghum and pigeonpea determined by extraction method and by chlorophyll meter (SPAD-502). **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 25, p. 2295–2301, 2002.