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

**Nitrogênio, potássio e boro: aspectos produtivos, morfológicos, nutricionais e
frações fibrosas e proteicas do capim-tanzânia**

Elisângela Dupas

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição
de Plantas

**Piracicaba
2012**

Elisângela Dupas
Engenheiro Agrônomo

**Nitrogênio, potássio e boro: aspectos produtivos, morfológicos, nutricionais e
frações fibrosas e proteicas do capim-tanzânia**

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

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutor em Ciências. Área de concentração: Solos
e Nutrição de Plantas

**Piracicaba
2012**

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

Dupas, Elisângela

Nitrogênio, potássio e boro: aspectos produtivos, morfológicos, nutricionais e frações fibrosas e proteicas do capim-tanzânia / Elisângela Dupas.- - Piracicaba, 2012.

89 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

1. Capim-tanzânia 2. Fertilizantes nitrogenados 3. Fertilizantes potássicos
4. Folhas - Plantas 5. Produção vegetal 6. Proteínas de plantas 7. Fibras vegetais
8. Sistema radicular I. Título

CDD 633.2
D931n

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

Aos meus amados pais **Alberto C. Dupas e Maria Célia G. Dupas**,
à minha irmã e amiga **Elaine Dupas** e
ao meu namorado **André Luís Sarto**,
pelo amor, carinho, incentivo e compreensão

OFEREÇO E DEDICO

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, acima de tudo, pela oportunidade dessa existência e por sempre estar me iluminando e guiando em todas as etapas da minha vida.

Ao professor e amigo **Dr. Francisco Antonio Monteiro**, pela orientação, dedicação, auxílio, compreensão e ensinamentos, nesses quatro anos de verdadeira amizade. Pelo exemplo de profissional e, principalmente, pelas oportunidades e confiança depositadas em mim.

À pesquisadora e amiga **Dr^a Maria Lúcia Silveira**, pela oportunidade de realização do doutorado-sanduíche na Universidade da Flórida, além do excelente exemplo profissional. À técnica do laboratório Soil and Water Science, Cindy Holley e aos demais funcionários da estação experimental.

Aos professores da Pós-graduação, em especial Prof. Dr. Antonio Roque Dechen, Prof. Dr. Quirino Augusto de Camargo Carmello e Prof. Dr. Pablo Vidal Torrado, pela amizade e por todos os conhecimentos transmitidos, que contribuíram com a minha formação.

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 Doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos no Brasil, e a CAPES, pela concessão da bolsa para estudos no Exterior.

Às funcionárias e grandes amigas do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas: Edinéia S. Mondoni, Lúcia Helena Spessoto Pavan Forti, Lurdes A. D. González, Nivanda M. M. Ruiz e Sueli Bovi pela atenção e apoio dispensados.

Aos colegas de Pós-Graduação, por toda ajuda e companheirismo: Adriana Guirado Artur, Beatriz Nastaro, Carla Elisa Alves Bastos, Cristiane Prezotto Silveira, Fabiano Daniel

de Bona, Fabiana Schmidt, Flávio Henrique Silveira Rabêlo, Ioná Rech, Lucíola Ellen Calió Martins, Márcio Mahmoud Megda, Marcos Rodrigues e Tiago Barreto Garcez.

Ao grupo de estagiários da Nutrição Mineral de Plantas e grandes amigos: Andressa Morato Freitas, Alessandra Garbo, Carlos Henrique Silveira Rabêlo, Douglas Bottrel, Elisa Mário Gomes, Juliana Benetti, e em especial Pedro Vítor Ferrari Machado, Felipe Furlan, Rafael Rodrigues Monteiro, por toda amizade e apoio durante a condução do experimento. Sem a ajuda desses importantes companheiros, certamente, não seria possível desenvolver todas as etapas do experimento.

Aos colegas que fiz durante o doutorado-sanduíche na Universidade da Flórida: Abhishant Guleria, Alejandra Maria Jimenez Madrid, André Luis da Silva Valente, José Luiz Calderaro Neto, José Luiz Carvalho de Souza Dias, Neha Rana, Pedro Augusto Ribeiro Salvo e Ruth Marisol Orellana Rivas.

A todos os professores do curso que direta, ou indiretamente, auxiliaram na minha formação acadêmica.

Aos amigos Lísia Borges Attílio, Castellane Ferreira da Silva e Anita Attílio Ferreira, pela convivência fraterna nesses anos de pós-graduação. Vocês são mais que grandes amigos, fazem parte da minha família.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar.
Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”

Madre Teresa de Calcuta

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	13
1 INTRODUÇÃO.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 Capim-tanzânia.....	17
2.2 Nitrogênio em plantas forrageiras.....	18
2.3 Potássio em plantas forrageiras.....	19
2.4 Boro em plantas forrageiras.....	20
Referências.....	22
3 SUPRIMENTO DE NITROGÊNIO, POTÁSSIO E BORO: ASPECTOS MORFOLÓGICOS, PRODUTIVOS E ESTADO NUTRICIONAL DO CAPIM-TANZÂNIA.....	27
Resumo.....	27
Abstract.....	27
3.1 Introdução.....	28
3.2 Material e métodos.....	29
3.3 Resultados e discussão.....	32
3.4 Conclusões.....	46
Referências.....	46
4 NITROGÊNIO, POTÁSSIO E BORO NAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, PRODUTIVAS E NUTRICIONAIS DAS RAÍZES DE CAPIM-TANZÂNIA CULTIVADO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA.....	51
Resumo.....	51
Abstract.....	51
4.1 Introdução.....	52
4.2 Material e métodos.....	53
4.3 Resultados e discussão.....	56
4.4 Conclusões.....	64
Referências.....	64

5 COMPONENTES DE PAREDE CELULAR E FRACIONAMENTO DE PROTEÍNAS DO CAPIM-TANZÂNIA CULTIVADO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA COM NITROGÊNIO, POTÁSSIO E BORO.....	69
Resumo.....	69
Abstract.....	69
5.1 Introdução.....	70
5.2 Material e métodos.....	72
5.3 Resultados e discussão.....	75
5.4 Conclusões.....	84
Referências.....	84
6 CONCLUSÕES GERAIS.....	89

RESUMO

Nitrogênio, potássio e boro: aspectos produtivos, morfológicos, nutricionais e frações fibrosas e proteicas do capim-tanzânia

A adubação equilibrada com nitrogênio, potássio e boro pode alterar a nutrição, produção e valor nutritivo das gramíneas forrageiras. Mediante as aplicações de combinações de doses de nitrogênio, potássio e boro objetivou-se avaliar os efeitos: a) nos aspectos morfológicos, na produção de massa seca e no estado nutricional da parte aérea; b) nas características morfológicas, produtivas e nutricionais das raízes e, c) nos componentes de parede celular e fracionamento de proteínas do capim-tanzânia. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no período de janeiro a maio de 2010, utilizando quartzo moído como substrato. Cinco doses de nitrogênio (2, 10, 18, 26 e 34 mmol L⁻¹) foram combinadas com cinco doses de potássio (0,2; 3,1; 6,0; 8,9 e 11,8 mmol L⁻¹), que foram combinadas com cinco doses de boro (0; 45,45; 90,90; 136,35 e 181,80 µmol L⁻¹) em fatorial 5³ fracionado, perfazendo 23 combinações de nitrogênio, potássio e boro, com quatro repetições. Realizaram-se três cortes das plantas de capim-tanzânia, nos seguintes períodos: 32 dias após o transplante, 39 dias após o primeiro corte e 45 dias após o segundo corte. As doses de boro não interferiram nos aspectos produtivos e morfológicos da parte aérea e das raízes nem na composição de parede celular e frações proteicas. O boro somente influenciou a concentração de nitrogênio, potássio e boro da parte aérea. A interação doses de nitrogênio x doses de potássio foi significativa para as variáveis número de perfilhos, número de folhas, área foliar, valor SPAD e produção de massa seca da parte aérea. Com o pouco crescimento da planta ocorreu acumulação de nitrogênio, potássio e boro e diluição desses nutrientes nas folhas diagnósticas com a maior produção das plantas. A produção de massa seca das raízes, comprimento total e superfície total aumentaram com as combinações de doses de nitrogênio e potássio. As concentrações de nitrogênio, potássio e boro nas raízes foram influenciadas pela combinação das doses de nitrogênio com potássio. As concentrações de nitrato e amônio foram influenciadas positivamente pela combinação das doses de nitrogênio e potássio, tendo ocorrido maior concentração de amônio do que nitrato nas raízes. Com o aumento das doses de nitrogênio e potássio o comprimento específico e a superfície específica das raízes diminuíram. Os teores de FDN, FDA aumentaram e a relação FE+LM/CB diminuiu com as doses de potássio no segundo e terceiro cortes. O teor de PB no segundo corte aumentou com as doses de nitrogênio e diminuiu com as doses de potássio. As frações proteicas B1+B2 aumentaram e a fração B3 diminuiu no segundo e terceiro cortes com o aumento das doses de nitrogênio. A fração C para o terceiro corte diminuiu com as doses de nitrogênio. A combinação das doses de nitrogênio e potássio aumentou os teores da fração A para o terceiro corte. O suprimento de nitrogênio e potássio proporcionou aumento nos aspectos produtivos, morfológicos e nutricionais da parte aérea e das raízes, além de ter melhorado o valor nutritivo do capim-tanzânia.

Palavras-chave: Área foliar; Comprimento radicular; Número de folhas; Número de perfilhos; *Panicum maximum*; Proteína bruta; Relação folha/colmo; Superfície radicular

ABSTRACT

Nitrogen, potassium and boron: productive, morphological and nutritional parameters, and fiber and protein fractions of Tanzania guineagrass

The balanced fertilization with nitrogen, potassium and boron may change plant nutrition, yield and nutritive value of forage grass. Through the supply of combinations of nitrogen, potassium and boron it was aimed to evaluate the following effects on Tanzania guineagrass: a) plant morphology, dry matter production and nutritional status in the shoots; b) morphological, productive and nutritional aspects in the roots and c) cell wall components and protein fractions in the shoots. The experiment was conducted in a greenhouse from January to May 2010, using ground quartz as substrate. Five rates of nitrogen (2, 10, 18, 26 and 34 mmol L⁻¹) were combined with five rates of potassium (0.2, 3.1, 6.0, 8.9 and 11.8 mmol L⁻¹) and five rates of boron (0, 45.45, 90.90, 136.35 and 181.8 µmol L⁻¹) in 5³ fractionated factorial design, which had 23 combinations of nitrogen, potassium and boron, with four replications. Three harvests of Tanzania guineagrass were made: 32 days after transplanting, 39 days after the first harvest and 45 days after the second harvest. Boron rates did not interfere with production and morphological aspects of shoots and roots and in cell wall composition and protein fractions. Boron only influenced the concentration of nitrogen, potassium and boron in the shoots. The interaction nitrogen rates x potassium rates was significant for the number of tillers, number of leaves, leaf area, SPAD value and shoots dry matter production. When plants had short growth, nitrogen, potassium and boron accumulated in plant tissues and those nutrients were diluted in plants with great growth. The dry mass of roots, total root length, total root area increased with the combination of nitrogen and potassium rates. The concentration of nitrogen, potassium and boron were influenced by the combinations of nitrogen and potassium rates. The concentrations of nitrate and ammonium were positively influenced by the combinations of nitrogen and potassium rates, and higher concentrations of ammonium than nitrate were found in root tissues. Root specific length and specific surface area decreased as rates of nitrogen and potassium increased. The NDF and ADF increased and EF+MB/SS ratio decreased with the potassium rates in the second and third harvests. The CP content of the second harvest increased with the nitrogen and decreased with potassium rates. Fractions B1+B2 increased and fraction B3 decreased for the second and third harvests with increasing nitrogen rates. The fraction C for the third harvest decreased with nitrogen rates. The combination of nitrogen and potassium increased the content of fraction A in the third harvest. Nitrogen and potassium supply provided to increase the productive changes, morphological and nutritional aspects in shoots and roots well as it improved the nutritive value of Tanzania guineagrass.

Keywords: Crude protein; Leaf area; Leaf/stem ratio; Number of leaves; Number of tillers; *Panicum maximum*; Root length; Root surface

1 INTRODUÇÃO

As gramíneas forrageiras representam a forma mais econômica de alimentação animal, e ocupam amplas áreas em todo o território brasileiro, onde não tem seu potencial adequadamente explorado. Uma das principais causas para o não aproveitamento desse potencial está na falta de atendimento das exigências nutricionais das plantas nas pastagens. Assim, há que se ter cuidado especial e considerar as demandas nutricionais das plantas forrageiras e realizar adubação das pastagens.

O nitrogênio, usualmente, é o nutriente extraído em maior quantidade pelas plantas. Esse nutriente é componente da molécula de clorofila e dos aminoácidos, interferindo diretamente no processo fotossintético e participando da síntese de proteínas. Em gramíneas forrageiras, o nitrogênio promove alterações nas emissões de perfilhos e de folhas, na área foliar e, conseqüentemente, na 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, participando de processos fisiológicos e bioquímicos nas plantas, além de influenciar a absorção de nitrogênio e participar da síntese proteica e do processo fotossintético. O boro desempenha funções no metabolismo de carboidratos, transporte de açúcares através das membranas, síntese de ácidos nucleicos e fitohormônios, formação de parede celular e divisão celular, e está envolvido no metabolismo do nitrogênio.

A combinação de doses de nitrogênio com doses de potássio assume importante papel na nutrição mineral das plantas, visto que o potássio maximiza os efeitos do nitrogênio. Em alguns casos, a ausência de resposta à adubação nitrogenada está relacionada a não inclusão de potássio na adubação. Com a maximização da produção de massa seca pela aplicação de nitrogênio e de potássio poderá ocorrer maior demanda de outros nutrientes e dentre eles está o micronutriente boro.

A hipótese é que a combinação de doses de nitrogênio, potássio e boro pode alterar parâmetros morfológicos e nutricionais, a produção de massa seca, a composição da parede celular e a síntese proteica em plantas de capim-tanzânia e que a adição de nitrogênio e potássio pode conduzir as plantas à maior demanda de boro.

Com base nessas considerações e visando contribuir para o entendimento das interações nitrogênio $\times$ potássio $\times$ boro no metabolismo e na produção das gramíneas, bem como no valor nutritivo do capim-tanzânia, desenvolveu-se o presente trabalho com os objetivos de: i) estudar os aspectos morfológicos, a produção de massa seca e o estado

nutricional do *Panicum maximum* cv. Tanzânia; ii) avaliar as características morfológicas, produtivas e nutricionais das raízes desse capim e iii) avaliar os componentes de parede celular e frações proteicas dessa gramínea forrageira.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Capim-tanzânia

As plantas do gênero *Panicum* pertencem à família *Poaceae* e a tribo *Paniceae* possui cerca de 80 gêneros e mais de 1460 espécies. A espécie *Panicum maximum* tem seu centro de origem na África tropical, apresenta-se como espécie pioneira ocupando o solo recém-desmatado e em pastagens sob sombra de árvores e encontra o maior potencial de diversidade da espécie na região leste africana (JANK, 1995). Há na literatura mais de uma versão sobre a introdução de ao menos um acesso de *Panicum maximum* no Brasil. Segundo Chase (1944), a introdução dessa gramínea forrageira no Brasil ocorreu por meio da vinda de escravos africanos ao país, pois, o capim era utilizado como cama nos navios, e essa gramínea logo se estabeleceu nas regiões onde os navios eram descarregados. Posteriormente, o vento, os pássaros, os próprios escravos e outras pessoas se encarregaram da disseminação do capim pelo país, mesmo não sendo esse o propósito.

A introdução de plantas de *Panicum maximum* cv. Tanzânia foi através do cultivar Tanzânia-1, que foi coletado pelos franceses do *Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer* (ORSTOM) em 1969, entre Korogwe e Kilosa, na Tanzânia, identificado como ORSTOM T58 e introduzido no Brasil em 1984, com o germoplasma do ORSTOM, recebendo o registro de BRA-007218. Em 1991, o Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (CNPGC) lançou comercialmente o cultivar Tanzânia-1 (JANK et al., 2010).

O capim-tanzânia é uma planta cespitosa que pode atingir a altura de até 1,20 m (quando em crescimento livre), largura de folhas em torno de 2,7 cm, manchas roxas nas espiguetas, ausência de pilosidade nas folhas e colmos, ausência de cerosidade nos colmos e folhas decumbentes. As inflorescências são do tipo panícula. O metabolismo fisiológico C4 confere a essas plantas alta eficiência no uso da radiação solar, nutrientes e água (TAIZ; ZEIGER, 2009).

As plantas de capim-tanzânia apresentam como principais características alto potencial de produção de massa seca e bom valor nutritivo (MACHADO et al., 1998; REGO, 2001) e são caracterizadas por serem exigentes em fertilidade do solo. Essas plantas são responsivas à adubação, principalmente, a nitrogenada. Segundo Jank (1995), a produção do capim-tanzânia foi 21% menor sem adubação nitrogenada, comparado a plantas que receberam nitrogênio. Outra característica do capim-tanzânia é que mesmo após o florescimento ele não é tão rejeitado pelo animal, devido menor lignificação de seus colmos.

2.2 Nitrogênio em plantas forrageiras

O nitrogênio é o nutriente extraído e exportado em maior quantidade pelas culturas, com concentração variando de 20 a 50 g kg⁻¹ na massa seca dos tecidos vegetais (MENGEL; KIRKBY, 2001) e participa integralmente 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. É essencial para utilização de carboidratos pelas plantas, além de estimular o crescimento e o desenvolvimento de folhas, caules e raízes, promovendo maior absorção de outros nutrientes (HOPKINS, 1995; MARSCHNER, 1995; MENGEL; KIRKBY, 2001; TAIZ; ZEIGER, 2009). Esse nutriente exerce ação nas plantas forrageiras promovendo rápido crescimento, aumentando a produção de massa seca e melhorando o valor nutritivo (WERNER, 1984).

As principais formas inorgânicas de nitrogênio absorvidas pelas plantas são nitrato e amônio, e a maior absorção de uma forma em relação à outra é acompanhada por variações no pH do meio. O meio ácido inibe a absorção do amônio e favorece a de nitrato, enquanto em pH neutro ou alcalino, há o favorecimento da absorção de amônio, possivelmente, devido aos 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, ao passo que a absorção de amônio pode restringi-la.

A busca de ferramentas que auxiliem na avaliação do estado nutricional das plantas, principalmente, tratando-se do nitrogênio, que é um nutriente de alto custo no fertilizante e, facilmente, perdido por diversos processos no solo, se faz necessária para que o pecuarista possa utilizar o fertilizante no momento e na dose corretos.

A concentração de clorofila está, diretamente, relacionada à concentração de nitrogênio nas folhas e, por conseguinte, com a nutrição e a produção vegetal. A relação entre o valor SPAD e a concentração de nitrogênio, usualmente, é 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). Lavres Júnior e Monteiro (2006) constataram que o clorofilômetro pode ser utilizado para a avaliação do estado nutricional do capim-aruaana (*Panicum maximum* cv. Aruana).

De acordo com Colozza (1998), diversos estudos têm demonstrado aumentos significativos na produção de massa seca e no valor nutritivo de *Panicum maximum* com o suprimento de nitrogênio e, apesar da maioria desses experimentos apresentarem respostas

lineares ao nitrogênio para essas variáveis, a magnitude dessas respostas tem sido variável, o que mostra a necessidade de estudar as doses e a frequência no suprimento de nitrogênio para melhor entender o comportamento produtivo dessas plantas.

Megda (2009) avaliou doses de nitrogênio (2, 8, 14, 24 e 33 mmol L⁻¹) e doses de potássio (0,5; 3; 6; 8,5 e 11 mmol L⁻¹) e observou que o nitrogênio e o potássio alteraram as características morfogênicas do capim-marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu), sendo determinantes para produção de massa seca da parte aérea e das raízes e, também, relatou que o desenvolvimento do sistema radicular dependeu de adequada nutrição mineral, principalmente, do fornecimento de nitrogênio. Nitrogênio e potássio influenciaram o estado nutricional do capim-marandu, causando, ainda, alterações no valor SPAD, na atividade da enzima redutase do nitrato e nas concentrações de nitrogênio, potássio, nitrato e amônio nessa gramínea.

Dupas et al. (2010) trabalharam com ausência e doses de nitrogênio (50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) e observaram aumentos nos teores de proteína bruta, fibra em detergente neutro e aumentos na produtividade de massa do capim-marandu, com o aumento das doses de nitrogênio.

2.3 Potássio em plantas forrageiras

O potássio é o cátion mais abundante presente no citoplasma das células vegetais e ocupa o segundo lugar em quantidade extraída pelas plantas. A alta concentração desse nutriente no citoplasma das células garante ótima atividade enzimática, mantém a neutralização de ânions (ácidos orgânicos e inorgânicos solúveis e ânions de macromoléculas) e o pH em níveis adequados para o funcionamento da célula, isto é, pH de 7,0-7,5 no citosol e, aproximadamente, 8,0 no estroma (MARSCHNER, 1995). Apesar da abundância de potássio nos solos, o manejo incorreto e a grande extração pelas plantas podem exaurir o solo, resultando em necessidade de reposição pela adubação (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007).

O potássio tem concentrações de 15 a 30 g kg⁻¹ na massa seca dos tecidos vegetais (MENGEL; KIRKBY, 2001) e é absorvido na forma de K⁺, não sofrendo alteração em sua forma no interior das plantas e caracterizando-se por alta mobilidade dentro de células e tecidos vegetais (MARSCHNER, 1995). Participa na translocação dos carboidratos sintetizados, no processo fotossintético, na síntese proteica, 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; MENGEL; KIRKBY, 2001; EPSTEIN; BLOOM, 2005).

O potássio, além de ser ativador enzimático, exerce funções fisiológicas fundamentais às plantas, como o controle da abertura e fechamento dos estômatos, pois eleva o potencial osmótico das células-guarda, resultando em absorção de água por essas células e pelas células adjacentes, ocasionando a abertura dos estômatos (MARSCHNER, 1995).

Mattos et al. (2002) estudaram sete doses de potássio (0; 0,25; 1; 2; 4; 6 e 8 mmol L⁻¹) para o capim-tanzânia e verificaram respostas positivas às doses de potássio para o perfilhamento, produção de massa seca de lâminas de folhas maduras, de folhas recém-expandidas, de colmos mais bainhas e, conseqüentemente, na massa seca da parte aérea.

Lavres Júnior e Monteiro (2003) trabalharam com o capim-mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça) submetido às combinações de doses de nitrogênio (28, 112, 210, 336 e 462 mg L⁻¹) com potássio (19,5; 117; 234; 312 e 429 mg L⁻¹) e reportaram que as doses de nitrogênio e potássio interagiram nos dois cortes desse capim para a área foliar, comprimento radicular, superfície radicular e perfilhamento no segundo corte. A superfície e o comprimento das raízes do capim-mombaça atingiriam valores máximos com o fornecimento de doses de nitrogênio e de potássio superiores às utilizadas.

2.4 Boro em plantas forrageiras

O boro tem concentração na faixa de 5 a 10 mg kg⁻¹ na massa seca do tecido vegetal de gramíneas forrageiras (WERNER et al., 1996) e é absorvido pelas plantas na forma de ácido bórico não dissociado (H₃BO₃). Há dúvidas quanto a natureza do processo de absorção, se é, predominantemente, passivo ou ativo (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). O boro participa do metabolismo de carboidratos e fenóis; transporte de açúcares pela membrana; síntese de ácidos nucleicos e fitohormônios; síntese, integridade e lignificação da parede celular; germinação de grãos de pólen e crescimento do tubo polínico (MARSCHNER, 1995). Esse elemento é essencial para a atividade meristemática da planta e dentre essas diversas funções, duas estão muito bem definidas, a síntese da parede celular e a integridade da membrana plasmática (CAKMAK; RÖMHELD, 1998).

Em plantas superiores, pelo menos uma proporção substancial do boro total é complexada em configurações *cis*-diol nas paredes celulares. Os sintomas de deficiência de boro são mais evidentes em leguminosas forrageiras quando comparado às gramíneas forrageiras, pois, em leguminosas forrageiras, há maior proporção de compostos com

configurações *cis*-diol nas paredes celulares (LOOMIS; DURST, 1992), fazendo com que a deficiência ocorra em menor proporção no campo para as gramíneas.

O importante papel do boro na integridade da membrana celular foi demonstrado por Cakmak; Kurz e Marschner (1995), em trabalho com girassol (*Helianthus annuus*), quando observaram que o efluxo era 35 vezes maior para o potássio, 45 vezes maior para a sacarose e sete vezes maior para os fenólicos e aminoácidos nas folhas deficientes em boro do que nas folhas com suficiência em boro. A deficiência de boro, além de ter diminuído a eficiência da adubação potássica, liberou sacarose e aminoácidos que são alimentos para pragas e patógenos de plantas.

Devido a sua influência na expansibilidade das células e limitada mobilidade na maioria das plantas, o boro deve ser fornecido durante todo o ciclo do vegetal, preferencialmente, via solo (GUPTA, 1979). A exigência desse micronutriente, normalmente, é maior durante a fase de florescimento e frutificação, devido à participação no processo de germinação do grão de pólen e crescimento do tubo polínico. Sua carência resulta em aumento da taxa de abortamento foliar, chochamento de grãos e em macho-esterilidade (EPSTEIN; BLOOM, 2005).

Foi demonstrado que o boro influencia a atividade de componentes específicos da membrana celular, aumentando a capacidade das raízes em absorver fósforo, cloro e potássio (MALAVOLTA, 2006). A absorção do potássio aumenta com o fornecimento de boro, e quase não ocorre na sua ausência, ou seja, muitos casos de deficiência, aparentemente, de potássio, podem ser, de fato, deficiência de boro (YAMADA, 2000). A ATPase ativada pelo K^+ mostra baixa atividade nas raízes das plantas deficientes em boro, sendo essa atividade restaurada pela adição do micronutriente. O boro tem papel indispensável no transporte de fósforo através da membrana e, assim como ocorre com o potássio, casos de deficiência de fósforo podem ser reflexo de deficiência de boro (YAMADA, 2000).

Eraslan et al. (2007) trabalharam com doses de boro (0; 0,5; 5 e 50 mg kg⁻¹) em tomateiro (*Lycopersicon esculentum*) e pimenteira (*Capsicum annuum*) e observaram que o aumento das doses de boro resultou em incrementos na atividade da redutase do nitrato, na permeabilidade da membrana e nas concentrações de fósforo e de potássio no tomateiro, e de nitrogênio e de fósforo nas plantas de pimenta.

Oliveira et al. (2007), no guia de identificação de deficiências nutricionais em capim-marandu, observaram que a deficiência de boro resultou em menor desenvolvimento da planta, menor crescimento da lâmina foliar, clorose nas folhas novas (partindo da lígula em

direção ao ápice da folha), menor perfilhamento, folhas rígidas e quebradiças, raízes numerosas, pequenas e debilitadas e despigmentadas e excesso de raízes laterais curtas.

Silva (2007) trabalhou com doses de nitrogênio associadas às doses e fontes de boro em capim-tifton 85 (*Cynodon* spp) e observou que a adubação nitrogenada intensificou a extração de boro do solo e que esse aumento na extração de boro pode diminuir tanto a disponibilidade desse micronutriente no solo, a ponto de não mais atender a demanda do capim. A insuficiência de boro na planta pode desencadear o aparecimento de sintomas de deficiência que, certamente, resulta em prejuízos à produtividade do pasto e à qualidade da forragem.

Com o aumento na produção de forragem proporcionado pela adubação nitrogenada combinada com a adubação potássica, a extração de outros nutrientes do solo pode aumentar. Monteiro (1991) alertou sobre a possibilidade de aparecimento de deficiências de micronutrientes em pastagens que recebem doses elevadas de nitrogênio e sejam, intensivamente, utilizadas. Entre as deficiências de micronutrientes, a de boro é provável de ocorrer no país em razão de muitos solos brasileiros apresentarem baixos teores de boro disponíveis (ABREU et al., 2005). O problema nutricional pode incidir, precocemente, em pastos destinados à fenação, nos quais os nutrientes contidos na forragem enfardada são, definitivamente, removidos do campo, não havendo qualquer retorno à pastagem.

Consolmagno Neto, Monteiro e Silva (2003) trabalharam com doses de nitrogênio e boro para o capim-aruaana e observaram que correram efeitos significativos das doses de boro no número de perfilhos, no número de folhas, na área foliar e na produção de massa seca, enquanto as doses de nitrogênio influenciaram o número de folhas e a produção de massa seca do capim.

Referências

ABREU, C.A.; VAN RAIJ, B.; ABREU, M.F.; GONZÁLES, A.P. Routine soil testing to monitor heavy metals and boron. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, p. 564-571, 2005.

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.

CAKMAK, I.; RÖMHELD, V. Boron deficiency-induced impairments of celular functions in plants. In: DELL, B.; ROWN, P.H.; BELL, R.W. (Ed.). **Boron in soil and plants: review**. Symposium, Chiang Mai, reprinted Plant and Soil, v. 193, p. 71-83, 1998.

CAKMAK, I.; KURZ, H.; MARSCHNER, H. Short-term effects of boron, germanium and high light intensity on membrane permeability in boron deficient leaves of sunflower. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 95, p. 11-18, 1995.

CHASE, A. Grasses of Brazil and Venezuela. **Agriculture in the America**, Washington, v. 4, p. 123-126, 1944.

COLOZZA, M.T. **Rendimento e diagnose foliar dos capins Aruana e Mombaça cultivados em Latossolo Vermelho-Amarelo**. 1998. 127p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

CONSOLMAGNO NETO, D.; MONTEIRO, F.A.; SILVA, H.S. Respostas fisiológicas e produtivas do capim-aruaana a combinações de doses de boro e nitrogênio. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 11., 2003. Piracicaba. **Anais...** 1 CD-ROM

DUPAS, E.; BUZETTI, S.; SARTO, A.L.; HERNANDEZ, F.B.T.; BERGAMASCHINE, A.F. Dry matter yield and nutritional value of Marandu grass under nitrogen fertilization and irrigation in cerrado in São Paulo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa v. 39, p. 2598-2603, 2010.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives**. 2nd ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2005. 400p.

ERASLAN, F.; INAL, A.; GUNES, A.; ALPASLAN, M. Boron toxicity nitrate reductase activity, proline accumulation permeability, and mineral constituents of tomato and pepper plants. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 30, p. 981-994, 2007.

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. cap. 9, p. 551-594.

GUPTA, U.C. Boron nutrition of crops. **Advances in Agronomy**, New York, v. 31, p. 273-307, 1979.

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

JANK, L. Melhoramento e seleção de variedades de *Panicum maximum*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12., Piracicaba, 1995. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1995. p. 21-58.

JANK, L.; MARTUSCELLO, J.A.; EUCLIDES, V.P.B.; VALLE, C.B.; RESENDE, R.M.S. *Panicum maximum*. In: FONSECA, D.M.; MARTUSCELLO, J.A. (Ed.). **Plantas forrageiras**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2010. cap. 5, p. 166-196.

LAVRES JÚNIOR, J.; MONTEIRO, F.A. Perfilamento, 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 JÚNIOR, J.; MONTEIRO, F.A. Diagnose nutricional de nitrogênio no capim-aruaana em condições controladas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 829-837, 2006.

LOOMIS, W.D.; DURST, R.W. Chemistry and biology of boron. **Biofactors**, Amsterdam, v. 3, p. 229-239, 1992.

MACHADO, A.O.; CECATO, U.; MIRA, R.T.; PEREIRA, L.AF.; DAMASCENO, J.C. Avaliação da composição química e digestibilidade in vitro da matéria seca de cultivares e acessos de *Panicum maximum* Jacq. sob duas alturas de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 27, p. 1057-1063, 1998.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

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

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

MEGDA, M.M. **Suprimento de nitrogênio e de potássio e características morfológicas, nutricionais e produtivas do capim-marandu**. 2009. 84p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

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

MONTEIRO, F.A. Micronutrientes em forrageiras. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Ed.). **Micronutrientes em agricultura**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. p. 651-682.

OLIVEIRA, P.P.A.; MARCHESIN, W.; LUZ, P.H.C.; HERLING, V.R. **Guia de identificação de deficiências nutricionais em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu**. São Carlos: EMBRAPA, 2007. 38p. (Comunicado Técnico, 76).

REGO, F.C.A. **Avaliação da qualidade, densidade e características morfológicas do capim-Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq cv. Tanzânia-1) manejado em diferentes alturas, sob pastejo**. 2001. 90p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2001.

SILVA, A.R. **Respostas do capim-tifton 85 a doses de nitrogênio associados a doses e fontes de boro**. 2007. 102p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4th ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

WERNER, J.C. **Adubação de pastagens**. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1984. 49p. (Boletim Técnico, 18).

WERNER, J.C.; PAULINO, V.T.; CANTARELLA, H.; ANDRADE, N.O.; QUAGGIO, J.A. Forrageiras. In: VAN RAIJ, B.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Fundação IAC, 1996. p. 263-274. (Boletim Técnico, 100).

YAMADA, T.B. **Boro**: Será que estamos aplicando a dose suficiente para o adequado desenvolvimento das plantas? Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fosfato, 2000. p. 1-5. (Informações Agronômicas, 90).

3 SUPRIMENTO DE NITROGÊNIO, POTÁSSIO E BORO: ASPECTOS MORFOLÓGICOS, PRODUTIVOS E ESTADO NUTRICIONAL DO CAPIM-TANZÂNIA

Resumo

O fornecimento de potássio para as plantas estimula o aproveitamento do nitrogênio e, conseqüentemente, pode alterar os componentes morfológicos e produtivos das plantas, eventualmente, proporcionando maior demanda de boro. Objetivou-se avaliar os aspectos morfológicos, produtivos e o estado nutricional de *Panicum maximum* cv. Tanzânia, em resposta às combinações de doses de nitrogênio, potássio e boro em solução nutritiva. O experimento foi realizado em casa de vegetação, no período de janeiro a maio de 2010, empregando-se o delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições, em esquema fatorial 5^3 fracionado. As doses de nitrogênio estudadas foram de 2, 10, 18, 26 e 34 mmol L⁻¹, as doses de potássio de 0,2; 3,1; 6,0; 8,9 e 11,8 mmol L⁻¹ e as doses de boro de 0; 45,45; 90,90; 136,35 e 181,80 µmol L⁻¹. Realizaram-se três cortes da parte aérea das plantas de capim-tanzânia aos 32 dias após o transplantio, 39 dias após o primeiro corte e 45 dias após o segundo corte. As doses de boro interferiram somente na concentração de nitrogênio, potássio e boro no tecido vegetal. A interação doses de nitrogênio x doses de potássio foi significativa para as variáveis número de perfilhos, número de folhas, área foliar, valor SPAD e produção de massa seca da parte aérea. Com o pouco crescimento da planta ocorreu acumulação de nitrogênio, potássio e boro e diluição desses nutrientes nas folhas diagnósticas com a maior produção das plantas. O suprimento balanceado entre nitrogênio e potássio proporcionou alta produção de massa seca e melhoria nos aspectos morfológicos e nutricionais do capim-tanzânia.

Palavras-chave: Área foliar; Número de folhas; Número de perfilhos; *Panicum maximum*; Valor SPAD

Abstract

Potassium supply to plants stimulates nitrogen utilization and therefore may increase morphological and dry matter production and eventually may increase boron demand to plants. The objective was to evaluate plant morphology changes, dry matter production and nutritional status of *Panicum maximum* cv. Tanzania, in response to combinations of nitrogen, potassium and boron rates in nutrient solution. The experiment was carried out in a greenhouse from January to May 2010, by using a 5^3 fractionated factorial in a randomized block design, with four replications. Nitrogen rates were 2, 10, 18, 26 and 34 mmol L⁻¹, potassium rates were 0.2, 3.1, 6.0, 8.9 and 11.8 mmol L⁻¹, and boron rates were 0, 45.45, 90.90, 136.35 and 181.8 µmol L⁻¹. Harvests of the shoots in Tanzania guineagrass plants were made 32 days after transplanting, 39 days after the first harvest and 45 days after the second harvest. Boron rates interfered only the concentration of nitrogen, potassium and boron in plant tissue. The interaction nitrogen rates x potassium rates was significant for the number of tillers, number of leaves, leaf area, SPAD value and shoots dry matter production. When plants had short growth, nitrogen, potassium and boron accumulated in plant tissues and those nutrients were diluted in plants with great growth. The well balanced supply of nitrogen and potassium rates resulted in high dry matter production and increases in morphological variables and in the nutritional status of Tanzania guineagrass.

Keywords: Leaf area; Number of leaves; Number of tillers; *Panicum maximum*; SPAD value

3.1 Introdução

A disponibilidade de nitrogênio, potássio e boro, e a adequada proporção entre eles no meio de crescimento são fatores importantes para o bom desenvolvimento das plantas. A produtividade de gramíneas forrageiras depende da contínua emissão de folhas e perfilhos, processo importante para a restauração da área foliar após desfolha por pastejo ou corte das plantas. A rápida expansão do dossel de folhas, para eficiente captura de CO₂ pela fotossíntese e conversão em açúcar e massa seca, é o principal determinante de crescimento e pré-requisito para altas produtividades das pastagens (GOMIDE; GOMIDE, 2000).

O nitrogênio é importante para produtividade de plantas forrageiras, atua no tamanho e número de folhas, no aparecimento e desenvolvimento dos perfilhos, e está, diretamente, relacionado à produção de massa seca das gramíneas (WERNER, 1986). Esse macronutriente é o principal responsável pela expansão do dossel foliar, que é alcançado pelo aumento na divisão e expansão celular que também necessita de absorção de potássio para a manutenção do turgor (MILFORD; JOHNSTON, 2007). Quando a planta cresce em ambiente sem fatores limitantes ao desenvolvimento (condições edafoclimáticas), tem-se encontrado resposta à aplicação de fertilizantes nitrogenados (JARVIS, 1998).

O potássio além de desempenhar diversas funções nas plantas, está envolvido no processo metabólico do nitrogênio, como a incorporação do nitrogênio mineral e, especialmente, na redutase do nitrato (RUAN; WU; HARDTER, 1999; XU; WOLF; KAFKAFI, 2002). O potássio, combinado com nitrogênio, maximiza os efeitos desse, ou seja, a adubação nitrogenada promove incrementos expressivos nos aspectos morfológicos e na produção de massa seca com a presença de adequadas concentrações de potássio (LAVRES JÚNIOR; MONTEIRO, 2003; MEGDA; MONTEIRO, 2010; VIANA; KIEHL, 2010).

O boro desempenha importante papel no metabolismo do nitrogênio e participa da elongação celular, por fazer parte dos polissacarídeos da parede celular (BLEVINS; LUKASZEWSKI, 1998).

Nesse contexto, objetivou-se avaliar os aspectos morfológicos, a produção de massa seca e as concentrações de nitrogênio, potássio e boro de *Panicum maximum* cv. Tanzânia, considerando o fornecimento de nitrogênio, potássio e boro em solução nutritiva.

3.2 Material e métodos

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação localizada em Piracicaba, São Paulo (22° 43' S, 47° 38' O), Brasil, no período de janeiro a maio de 2010, cultivando a gramínea forrageira *Panicum maximum* cv. Tanzânia. A temperatura média do ar no interior da casa de vegetação permaneceu em torno de 30 °C durante o período experimental.

Foram utilizadas cinco doses de nitrogênio (2, 10, 18, 26 e 34 mmol L⁻¹), cinco doses de potássio (0,2; 3,1; 6,0; 8,9 e 11,8 mmol L⁻¹) e cinco doses de boro (0; 45,45; 90,90; 136,35 e 181,80 µmol L⁻¹) combinadas em soluções nutritivas (Tabela 1) preparadas a partir da solução de Hoagland e Arnon (1950). Em cada solução nutritiva, foi mantida constante a proporção de 65% de N-NO₃⁻ e 35% de N-NH₄⁺.

Foi empregado o esquema fatorial 5³ incompleto modificado de um composto central, no qual as cinco doses de nitrogênio, cinco doses de potássio e cinco doses de boro foram arranjasdas segundo a metodologia de superfície de resposta (MONTGOMERY, 2005). Assim, foram empregadas 23 combinações, as quais foram distribuídas segundo o delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições.

As sementes do capim-tanzânia foram colocadas para germinar em bandejas plásticas contendo areia lavada com água de torneira e, posteriormente, com água desionizada e regadas, periodicamente, com água desionizada. Quando as plântulas atingiram em torno de quatro centímetros de altura, foram transplantadas quinze mudas para cada vaso plástico com volume de 3,6 litros, contendo quartzo moído (sílica) como substrato. Foram realizados desbastes periódicos até permanecerem cinco plantas por vaso. Um dia após o transplante das mudas, foi fornecido um litro de solução diluída a 20% da dose correspondente a cada combinação de nitrogênio, potássio e boro. Inicialmente, as soluções permaneceram nos vasos durante o dia e a noite, sendo circuladas pelo substrato quatro vezes ao dia no período de uma semana. Posteriormente, foram drenadas à noite e fornecidas pela manhã. Após quatro dias do transplante, as soluções com concentração definitiva foram adicionadas aos vasos e foram trocadas a cada 14 dias.

Para a determinação indireta da concentração de clorofila em valor SPAD, foi utilizado o *Chlorophyll Meter SPAD-502*, (*Soil-Plant Analysis Development Section, Minolta Camera Co., Osaka, Japan*). As leituras do clorofilômetro foram realizadas no segundo dia após a segunda troca de solução de cada crescimento, no terço médio das lâminas das duas folhas recém-expandidas. Foi computada a média de dez leituras executadas nas plantas de cada vaso.

Tabela 1 - Volumes das soluções estoque empregadas no preparo das soluções nutritivas para as combinações de doses de nitrogênio, potássio e boro utilizadas no experimento com capim-tanzânia

Nitrogênio (mmol L ⁻¹)	2	2	2	2	2	10	10	10	10	18	18	18	18	18	26	26	26	26	34	34	34	34	34
Potássio (mmol L ⁻¹)	0,2	0,2	6,0	11,8	11,8	3,1	3,1	8,9	8,9	0,2	0,2	6,0	11,8	11,8	3,1	3,1	8,9	8,9	0,2	0,2	6,0	11,8	11,8
Boro (μmol L ⁻¹)	0,00	181,8	90,9	0,00	181,8	45,45	136,35	45,45	136,35	90,9	0,00	90,9	181,8	90,9	45,45	136,35	45,45	136,35	0,00	181,8	90,9	0,00	181,8
Solução estoque	Volume (mL L ⁻¹)																						
KH ₂ PO ₄ (1 mol L ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	1	1	1
KCl (1 mol L ⁻¹)	0,2	0,2	6	11,8	11,8	3,1	3,1	8,9	8,9	-	6	6	6	11,8	2,1	2,1	7,9	2,1	-	-	-	5,8	5,8
KNO ₃ (1 mol L ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,2	5	5	5
Ca(NO ₃) ₂ (1 mol L ⁻¹)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	1,5	1,5	1,5	1,5	2,6	2,7	2,7	2,7	2,7	3,9	3,9	3,9	3,9	5	5	2,6	2,6	2,6
CaCl ₂ (1 mol L ⁻¹)	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	3	3	3	3	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,1	1,1	1,1	1,1	-	-	2,4	2,4	2,4
Ca(H ₂ PO ₄) ₂ .H ₂ O (0,05 mol L ⁻¹)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	-	-	-	-	10	10	-	-	-
NH ₄ NO ₃ (1mol L ⁻¹)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	3,5	3,5	3,5	3,5	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	9,1	9,1	9,1	9,1	7,9	7,9	11,9	11,9	11,9
(NH ₄) ₂ SO ₄ (1mol L ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-
MgSO ₄ (1mol L ⁻¹)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-	-	2	2	2
Mg(NO ₃) ₂ .6H ₂ O (1mol L ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-
Micro-Fe-B*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	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	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
H ₃ BO ₃ ***	-	4	2	-	4	1	3	1	3	2	-	2	4	2	1	3	1	3	-	4	2	-	4

* A solução com micronutrientes menos ferro e boro, teve a seguinte composição, em g L⁻¹: 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 por uma noite e completando o volume a 1 L com água desionizada.

*** Dissolveram-se 2,82 g de H₃BO₃ e completou-se a 1L com água desionizada. (B = 45,45 mmol L⁻¹)

Os cortes foram realizados a cinco centímetros do colo das plantas em relação ao substrato, quando a maioria das folhas maduras estava senescendo. O primeiro corte foi realizado 32 dias após o transplântio, o segundo 39 dias após o primeiro corte, e o terceiro corte foi realizado 45 dias após o segundo corte. A parte aérea das plantas foi separada em folhas emergentes (FE = folhas do ápice da planta, ainda enroladas e sem lígula visível); lâminas das folhas recém-expandidas (LR = lâminas das duas folhas recém-expandidas com lígula visível); lâminas das folhas maduras (LM = lâminas das demais folhas totalmente expandidas) e colmos mais bainhas (CB = colmos e bainhas que foram mantidas presas a eles).

Por ocasião da colheita, foram quantificados, também, o número de perfilhos, o número de folhas e a área foliar das plantas. A área foliar foi determinada com o auxílio de aparelho integrador de área foliar LI-COR®, modelo LI 3100. A produção de massa seca foi determinada para a parte aérea pela soma da massa seca dos seus componentes (FE, LR, LM e CB), nos três cortes da gramínea forrageira.

As determinações das concentrações de nitrogênio, potássio e boro foram realizadas nas folhas recém-expandidas (folhas diagnósticas - LR) do capim-tanzânia, de acordo com Monteiro (2005) e efetuadas conforme metodologia descrita por Sarruge e Haag (1974). Para a determinação da concentração do nitrogênio, a digestão foi a sulfúrica e o método analítico, o micro-Kjeldahl. Para a concentração de potássio, foi empregada a digestão nítrico-perclórica, enquanto o método analítico foi o de fotometria de chama. A concentração de boro foi determinada pela digestão via seca, com o emprego do método analítico colorimétrico, conforme metodologia descrita por Bataglia et al. (1983).

Os resultados receberam o recomendado tratamento estatístico, com o emprego do *Statistical Analysis System* (SAS, 2004). Inicialmente, foi realizada a análise de variância e, nos casos de significância do teste F para as interações nitrogênio $\times$ potássio, nitrogênio $\times$ boro e potássio $\times$ boro, efetuou-se o estudo de regressão polinomial (superfície de resposta) por meio do procedimento RSREG. Nos casos em que as interações nitrogênio $\times$ potássio, nitrogênio $\times$ boro e potássio $\times$ boro não foram significativas, efetuou-se o estudo de regressão de primeiro e segundo graus para as doses de nitrogênio e/ou de potássio e/ou de boro, por meio do comando GLM. Utilizou-se o nível de significância de 5% em todos os testes estatísticos. Os símbolos (*) e (**) nos membros das equações de regressão indicam significância de 5 e 1%, respectivamente.

3.3 Resultados e discussão

A interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio $\times$ doses de boro não foi significativa para o número de perfilhos, número de folhas, área foliar, valor SPAD e massa seca da parte aérea, somente a interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio. O boro não influenciou nenhum dos parâmetros morfológicos e produtivos estudados, semelhante aos resultados reportados por Monson e Gaines (1986), que trabalharam com doses de boro em sete espécies de *Cynodon dactylon* e não observaram efeito desse micronutriente na produtividade de massa seca e na qualidade dessas gramíneas forrageiras. Esses autores concluíram que os resultados não suportavam recomendação de suplementação de boro em *Cynodon dactylon*.

A interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio foi significativa para o número de perfilhos contados nos três cortes do capim-tanzânia. O número máximo de perfilhos foi encontrado com as respectivas doses de nitrogênio e de potássio, em mmol L⁻¹, 25,77 e 8,59 no primeiro corte; 29,77 e 12,14 no segundo corte e 31,92 e 8,47 no terceiro corte (Figura 1). Essas combinações de nitrogênio e potássio proporcionaram número médio de perfilhos de 20, 31 e 38 nas ocasiões do primeiro, segundo e terceiro cortes das plantas, respectivamente.

O perfilhamento responde, positivamente, à disponibilidade de nutrientes, sendo o nitrogênio o nutriente que mais altera a densidade populacional de perfilhos (MEGDA; MONTEIRO, 2010; ARTUR, 2010). Essa resposta está associada ao estímulo do nitrogênio no crescimento e na multiplicação de células vegetais, uma vez que esse nutriente constitui as proteínas e os ácidos nucleicos celulares. Nabinger (1996) afirmou que o déficit de nitrogênio aumenta o número de gemas dormentes, enquanto o suprimento desse nutriente proporciona elevado perfilhamento. Além do nitrogênio, a influência positiva do potássio no perfilhamento de gramíneas forrageiras foi reportada em diversos estudos (MARTIM, 1997; LAVRES JÚNIOR; MONTEIRO, 2003; MEGDA; MONTEIRO, 2010).

Pereira (2001) evidenciou o efeito significativo do potássio em solução nutritiva no perfilhamento do capim-mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça), em dois períodos de crescimento das plantas. No primeiro corte, as doses de potássio de 8 e 12 mmol L⁻¹ proporcionaram maior número de perfilhos, enquanto que, na ocasião do segundo corte, a dose de potássio de 12 mmol L⁻¹ proporcionou maior número de perfilhos em relação às demais doses avaliadas.

Figura 1 - Número de perfilhos em função das combinações de doses de nitrogênio (N) e potássio (K) em solução nutritiva, determinados no primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) cortes do capim-tanzânia

A capacidade das gramíneas em originar novos perfilhos auxilia o estabelecimento e a perenidade das gramíneas forrageiras, assegura maior proteção do solo contra a ação de fatores ambientais, confere maior resistência a pragas e doenças, controla a ausência de plantas daninhas e determina a produção de forragem (PEDREIRA; MELLO; OTANI, 2001). Nesse sentido, o número de perfilhos é, frequentemente, utilizado como indicador de vigor ou persistência da gramínea na pastagem (SILVA; PEDREIRA, 1997). Portanto, a adubação nitrogenada combinada com a potássica, além de aumentar a produção de massa seca, contribui para a redução da degradação do solo, pois diminui a exposição ao impacto da chuva e a exposição ao sol (SILVA et al., 2009).

A interação doses de nitrogênio x doses de potássio foi significativa para o número de folhas no primeiro e segundo cortes do capim-tanzânia (Figuras 2a e 2b). O número máximo

de folhas nas duas ocasiões não foi atingido dentro das doses de nitrogênio e potássio utilizadas nesse experimento. No terceiro corte das plantas (Figura 2c), a significância ocorreu somente para as doses de nitrogênio, os resultados ajustaram-se à equação de segundo grau e o número máximo de folhas foi obtido com a dose de nitrogênio de 33,23 mmol L⁻¹.

Figura 2 - Número de folhas em função das combinações de doses de nitrogênio (N) e potássio (K) em solução nutritiva no primeiro (a) e segundo (b) cortes e em função das doses de nitrogênio (N) no terceiro corte (c) do capim-tanzânia

Ruggieri, Favoretto e Malheiros (1994) observaram aumento no número de folhas em todos os períodos de crescimento avaliados do capim-marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu), com o incremento das doses de nitrogênio. O aumento no número de folhas pela aplicação de doses de nitrogênio foi resultado do estímulo à formação de novos tecidos foliares (OLIVEIRA et al., 2007). A maior disponibilidade de lâminas foliares com os

fertilizantes pode ser atribuída, principalmente, aos efeitos do nitrogênio, que potencializaram a taxa de reações enzimáticas e químicas no metabolismo da planta (MISTURA et al., 2006).

De acordo com Oliveira et al. (2007), em condição de alta disponibilidade de nitrogênio, ocorre aumento do crescimento da planta, com alongamento dos entrenós, fazendo com que a folha nova saia da bainha da folha precedente, o que pode resultar em aumento na taxa de aparecimento foliar. Silveira e Monteiro (2007) também verificaram que as doses de nitrogênio influenciaram, positivamente, o número total de folhas em capim-tanzânia adubado com nitrogênio e cálcio.

Com os resultados verificados nesse experimento, observou-se que para obtenção do número máximo de folhas expandidas foi necessário alto suprimento de nitrogênio combinado com altas doses de potássio. Nesse contexto, para adequada produção de massa seca para o capim é importante ter maior número de folhas e perfilhos, e fica evidente que o fornecimento de alta dose de nitrogênio à gramínea deve ser acompanhado de adequado suprimento de potássio, corroborando os resultados apresentados por Megda e Monteiro (2010).

A interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio foi significativa para a área foliar, nos três cortes do capim-tanzânia. Para o primeiro e segundo cortes, com relação ao nitrogênio e potássio, o valor máximo não foi atingido dentro das doses utilizadas nesse experimento (Figuras 3a e 3b). Para o terceiro corte a máxima área foliar foi obtida com 29,62 mmol L⁻¹ de nitrogênio combinada com 10,32 mmol L⁻¹ de potássio (Figura 3c).

Com o suprimento das mais baixas doses de nitrogênio (2 mmol L⁻¹) e de potássio (0,2 mmol L⁻¹), a área foliar foi 26, 55 e 67 vezes menor do que nas doses mais elevadas de nitrogênio (34 mmol L⁻¹) e potássio (11,8 mmol L⁻¹), respectivamente, no primeiro, segundo e terceiro cortes. Isso evidencia o impacto da combinação de doses de nitrogênio e potássio na área foliar do capim-tanzânia. Resultados semelhantes foram relatados por Lavres Júnior e Monteiro (2003), que trabalharam com doses de nitrogênio e potássio no capim-mombaça, e observaram que o suprimento de baixas doses de nitrogênio (2 mmol L⁻¹) e potássio (0,5 mmol L⁻¹) em solução resultou em área foliar 11 vezes menor do que nas doses de nitrogênio e potássio de 30 e 2,65 mmol L⁻¹, respectivamente.

Figura 3 - Área foliar em função das combinações de doses de nitrogênio (N) e potássio (K) em solução nutritiva, determinada no primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) cortes do capim-tanzânia

Marschner (1995) ressaltou que o nitrogênio promove alterações morfológicas nas plantas, destacando 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, como resultado, há incremento na área foliar das gramíneas. O potássio é responsável pelo potencial osmótico das células, promovendo maior turgidez celular e aumento da área foliar nas plantas. Pastagens compostas por plantas com maior área foliar permitem maior interceptação de luz e, conseqüentemente, maiores taxas de fotossíntese, logo depois do pastejo, tendem a manter maior área foliar residual após o processo de desfolha, o que favorece o restabelecimento da pastagem (THORNTON; MILLARD, 1996).

Os resultados dos valores SPAD, avaliados durante o primeiro e terceiro crescimentos do capim-tanzânia, apresentaram significância para a interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio (Figuras 4a e 4c). O máximo valor SPAD para o primeiro crescimento foi encontrado com as doses de nitrogênio e potássio de 28,58 e 7,81 mmol L⁻¹, respectivamente. Para o terceiro crescimento, os máximos valores SPAD não foram atingidos com as doses estudadas de nitrogênio e potássio. Para o segundo crescimento, as respostas significativas foram observadas para doses individuais de nitrogênio, com os resultados ajustando-se ao modelo quadrático (Figura 4b).

Figura 4 - Valor SPAD durante o primeiro (a) e terceiro (c) crescimentos do capim-tanzânia em função das combinações de doses de nitrogênio (N) e potássio (K) e durante o segundo crescimento (b) em função das doses de nitrogênio (N) em solução nutritiva

Segundo Zoratelli et al. (2002), a clorofila é sintetizada em maior quantidade com aumento da disponibilidade de nitrogênio para a planta, acentuando a intensidade do verde nas folhas, pois o nitrogênio participa com quatro átomos na molécula de clorofila. Porém, esse aumento de clorofila (valor SPAD) atinge um patamar denominado ponto de maturidade fotossintético. Nesse ponto, o nitrogênio não é mais assimilado e sim acumulado na forma de nitrato, e tende a estabilizar a intensidade de verde, de forma a refletir o acúmulo de nitrato (COSTA et al., 2001; BATISTA; MONTEIRO, 2007).

Aumentos nos valores SPAD devido às combinações de doses de nitrogênio e potássio foram significativas, pois, além da relação nitrogênio e clorofila, o potássio participa de diversas reações bioquímicas responsáveis pela construção de todo o aparato enzimático e moléculas orgânicas, entre elas, a clorofila (LAVRES JÚNIOR, 2001). Zhao, Oosterhuis e Bednarz (2001) trabalharam com doses de potássio em algodão (*Gossypium hirsutum*), e observaram que plantas deficientes em potássio reduziram sua capacidade fotossintética e o conteúdo de clorofila.

Viana e Kiehl (2010) trabalharam com doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo (*Triticum aestivum*) e relataram incrementos no teor de clorofila com a combinação de doses de nitrogênio e potássio. O aumento no teor de clorofila foi promovido pela maior concentração de nitrogênio total nos tecidos e pelo importante papel do potássio em auxiliar o nitrogênio na formação de clorofila no tecido vegetal.

A interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio foi significativa para a produção de massa seca da parte aérea, nos três cortes do capim-tanzânia. Para o primeiro, segundo e terceiro cortes, com relação às doses de nitrogênio e potássio, o valor máximo não foi atingido dentro dos limites utilizados nesse experimento (Figura 5).

Quando se comparou a combinação das mais baixas doses de nitrogênio (2 mmol L^{-1}) e de potássio ($0,2 \text{ mmol L}^{-1}$) com a mais alta dose de nitrogênio (34 mmol L^{-1}) e mais baixa dose de potássio ($0,2 \text{ mmol L}^{-1}$), não se verificou diferença acentuada na produção de massa seca da parte aérea do capim-tanzânia (Figura 5), demonstrando que a baixa disponibilidade de potássio restringe a resposta do capim ao fornecimento de nitrogênio. A adubação nitrogenada somente promoveu incrementos expressivos na produção de massa seca na presença de potássio. Esses resultados são corroborados por Monteiro et al. (1980), onde descreveram que é necessário cuidar do suprimento de potássio na utilização do fertilizante nitrogenado em pastagem, para que não haja limitação de resposta da gramínea forrageira ao nitrogênio.

Figura 5 - Massa seca da parte aérea (MSPA) em função das combinações de doses de nitrogênio (N) e potássio (K) em solução nutritiva no primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) cortes do capim-tanzânia

Resultados similares foram relatados por Megda e Monteiro (2010), que constataram baixo incremento na produção de massa seca da parte aérea na combinação de alta dose de nitrogênio (33 mmol L^{-1}) com baixa dose de potássio ($0,5 \text{ mmol L}^{-1}$). Por outro lado, quando potássio e nitrogênio foram adicionados em altas doses (33 e 11 mmol L^{-1}) em solução nutritiva, conseguiram maximizar a produção de massa seca da parte aérea do capim-marandu. Cherney, Ketterings e Orloski (2004) também encontraram baixa produção de massa seca da gramínea *Phalaris arundinaceae*, mesmo com doses mais elevadas de nitrogênio combinadas com doses de potássio mais baixas.

As características de crescimento são influenciadas pelo nitrogênio, que estimula a taxa de alongação e aparecimento foliar (WERNER, 1986; FAGUNDES et al., 2006) e incrementa a área foliar do perfilho, contribuindo para a maior massa da lâmina foliar, ou seja, maior produção de massa seca.

Nakashgir (1992), em experimento realizado com milho (*Zea mays*), observou que a produtividade e a eficiência na utilização do nitrogênio pelo milho aumentaram com o suprimento adequado de potássio, e que o excesso de nitrogênio e potássio não promoveu maiores incrementos na produtividade do milho.

Além de aumentar a produção de massa seca das plantas forrageiras pelo aumento da área foliar, número de folhas e número de perfilhos, a interação nitrogênio e potássio é importante para a manutenção da qualidade e proteção das plantas contra estresses. O potássio é reconhecido por melhorar a qualidade das culturas e proteger as plantas contra estresses bióticos e abióticos, enquanto excessivas concentrações de nitrogênio, muitas vezes, causam menor qualidade e maior susceptibilidade das culturas às doenças, ou seja, a interação dos nutrientes consegue manter um equilíbrio (ZHANG et al., 2010).

A concentração de nitrogênio nas folhas recém-expandidas (folhas diagnósticas do capim) coletadas no primeiro corte do capim-tanzânia mostrou significância das interações doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio (Figura 6a), doses de nitrogênio $\times$ doses de boro (Figura 6b) e doses de potássio $\times$ doses de boro (Figura 6c).

Com as maiores doses de nitrogênio e menores de potássio, a concentração de nitrogênio no tecido foliar foi mais elevada, pelo acúmulo de nitrogênio na planta, pelo pouco crescimento observado. Entretanto, na combinação das mais altas doses de nitrogênio e potássio foi verificado efeito de diluição do nitrogênio nas lâminas foliares do capim, devido à elevada produção de massa seca vegetal (Figura 6a).

Pode-se observar maior concentração de nitrogênio nas folhas diagnósticas do capim, com combinação das mais altas doses de nitrogênio e baixas doses de boro (Figura 6b). Esse resultado não pode ser explicado pelo efeito de diluição, pois as doses de boro não interferiram na produção de massa seca da parte aérea. Para a interação doses de potássio $\times$ doses de boro, notam-se maiores concentrações de nitrogênio nas lâminas foliares, com menores doses de potássio e maiores de boro, e menores concentrações de nitrogênio quando se aplicaram altas doses de potássio e boro. Esse fato é explicado pelo efeito de diluição (Figura 6c). Além desse efeito, o fornecimento de boro pode ter estimulado a maior absorção de nitrogênio pela planta, já que o boro participa dos processos que envolvem os compostos nitrogenados na síntese proteica (DUGGER, 1983).

Figura 6 - Concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) coletadas no primeiro corte do capim-tanzânia, em função das combinações de doses de nitrogênio (N), potássio (K) e boro (B) em solução nutritiva

Para o segundo e terceiro cortes, somente a interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio foi significativa para a concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas (Figuras 7a e 7b). As maiores concentrações de nitrogênio foram obtidas com menores doses de potássio e altas doses de nitrogênio, condição em que foi verificado pouco crescimento da planta e o nitrogênio se concentrou no tecido vegetal. Para as mais altas doses de nitrogênio e potássio, ocorreram as menores concentrações de nitrogênio, o que é decorrente da diluição do nutriente no tecido, em função do maior crescimento da planta.

Figura 7 - Concentração de nitrogênio nas folhas diagnósticas (LR) em função das combinações de doses de nitrogênio (N) e potássio (K) em solução nutritiva no segundo (a) e terceiro (b) crescimentos do capim-tanzânia

Lavres Júnior e Monteiro (2003) também relataram que, na mais alta dose de nitrogênio (33 mmol L⁻¹), quando o potássio variou da mais baixa (0,5 mmol L⁻¹) para a mais alta dose (11 mmol L⁻¹), foi verificada mais baixa concentração de nitrogênio nas lâminas das folhas recém-expandidas do capim-mombaça.

As plantas com deficiência de nitrogênio apresentaram crescimento reduzido, com folhas cloróticas. Os tratamentos com baixa dose de potássio (0,2 mmol L⁻¹) e alta dose de nitrogênio (34 mmol L⁻¹), independentemente, das doses de boro, não apresentaram rebrotação após o primeiro corte da parte aérea.

A interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio foi significativa para a concentração de potássio nas folhas diagnósticas coletadas no primeiro e terceiro cortes do capim-tanzânia (Figuras 8a e 8c). Para as folhas amostradas no segundo corte, as combinações entre as doses dos nutrientes em solução nutritiva não foram significativas, mas foi verificado efeito significativo para as doses potássio, com os resultados ajustando-se ao modelo de primeiro grau (Figura 8b).

Observaram-se maiores concentrações de potássio nas lâminas das folhas recém-expandidas, com as combinações das menores doses de nitrogênio e potássio, condição em que o potássio se concentrou no tecido vegetal em virtude do pouco crescimento da planta. Na amostragem das folhas no segundo corte, os resultados da concentração de potássio ajustaram-se à equação de primeiro grau.

Figura 8 - Concentração de potássio nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) coletadas no primeiro (a), segundo (b) e terceiro crescimentos (c) do capim-tanzânia submetido às combinações de doses de nitrogênio (N) e potássio (K) em solução nutritiva

A concentração de potássio nas lâminas das folhas recém-expandidas foi afetada pela oferta de nitrogênio e potássio, e foi maior no primeiro corte do que no segundo e a do segundo foi maior do que a do terceiro corte da planta. Nos estádios iniciais de crescimento, as concentrações de potássio nas plantas são mais elevadas, decrescendo nos estádios mais avançados, devido à menor atividade das raízes e à menor quantidade do macronutriente metabolicamente absorvido (FAGERIA, 1982; RÖMHELD; KIRKBY, 2010).

As plantas deficientes em potássio apresentaram folhas amarelo alaranjadas, com manchas necróticas nas pontas e nas margens, e em lâminas mais maduras necrosaram da ponta para a base, com intensidade maior nas margens. Os colmos ficaram finos, raquíticos e pouco resistentes ao tombamento. Sintomas de deficiência de potássio, também, foram

descritos por Martim (1997) em Tifton 85 e coastcross; Mattos (1997) em capim-braquiária e Snyder e Cisar (2000) em *Cynodon dactylon* e *Cynodon transvaalensis*.

Somente a interação doses de potássio $\times$ doses de boro foi significativa para a concentração de boro nas lâminas de folhas recém-expandidas, coletadas no primeiro corte do capim-tanzânia (Figura 9a). Com as menores doses de potássio e maiores doses de boro, ocorreram as maiores concentrações de boro nas lâminas foliares. Isso se deve ao pouco crescimento verificado nas plantas que receberam essas baixas doses de potássio, com a consequente concentração do micronutriente no tecido vegetal.

Para as lâminas foliares amostradas no segundo corte das plantas, as interações doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio (Figura 9b) e doses de nitrogênio $\times$ doses de boro (Figura 9c) foram significativas para as concentrações de boro no tecido vegetal. Com o aumento das doses de nitrogênio e de potássio, ocorreu diminuição na concentração de boro nas lâminas recém-expandidas, o que pode ser explicado pelo efeito de diluição. Para a interação doses de nitrogênio $\times$ doses de boro, as maiores concentrações de boro nas lâminas foliares ocorreram com as menores doses de nitrogênio e as maiores de boro, pois a planta cresceu pouco e acumulou boro.

As doses de nitrogênio, potássio e boro não influenciaram a concentração de boro nas lâminas recém-expandidas coletadas no terceiro corte do capim. As plantas não apresentaram sintomas de deficiência ou toxidez de boro em todos os períodos de crescimento. De acordo com Lee et al. (1996), os sintomas de deficiência ou toxidez de boro são mais evidentes quando se realiza estudos em casa de vegetação com solução nutritiva, mas, nesse experimento isso não ocorreu. Uma possível explicação para esse fato é que as sementes do capim-tanzânia apresentavam concentrações de boro de 6 mg kg^{-1} , por isso, mesmo na ausência de boro em solução nutritiva a planta não apresentou sintomas de deficiência. De acordo com Werner et al. (1996), a faixa adequada de concentração de boro para os capins do gênero *Panicum* é de 10 a 30 mg kg^{-1} . No presente experimento, as máximas concentrações chegaram a 100 mg kg^{-1} e as plantas não apresentaram sintomas de toxidez.

A ausência de deficiência ou toxidez de boro para o capim-tanzânia também pode estar relacionada à menor exigência das gramíneas (monocotiledôneas - 3 a 10 mg kg^{-1} na massa seca) por boro quando comparadas às dicotiledôneas (20 a 30 mg kg^{-1} na massa seca). Supostamente, esse fato está relacionado com as mais altas proporções de compostos com configurações *cis*-diol nas paredes celulares das dicotiledôneas (LOOMIS; DURST, 1992), e pelo menos uma proporção substancial da concentração de boro total é complexada em configurações *cis*-diol nas paredes celulares.

Figura 9 - Concentração de boro nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) coletadas no primeiro (a) e segundo cortes (b e c) do capim-tanzânia submetido às combinações de doses de nitrogênio (N), potássio (K) e boro (B) em solução nutritiva

Em estudo sobre a localização do boro na parede celular de plantas de tabaco (*Nicotiana tabacum*), Hu e Brown (1994) observaram que, nas plantas em que a deficiência causou inibição do crescimento, os tecidos permaneceram verdes e não apresentaram sintoma visível adicional até uma semana sem adição de boro. Isso ocorreu mesmo em condições de baixa concentração de boro a nível citoplasmático, sugerindo que o boro está, amplamente, associado à parede celular das plantas superiores e que é exigida uma pequena quantidade de boro para as funções citoplasmáticas.

3.4 Conclusões

A combinação de doses de nitrogênio com doses de potássio influenciou, positivamente, os parâmetros morfológicos e a produção de massa seca do capim-tanzânia, sendo que o suprimento de potássio maximizou os efeitos da adubação nitrogenada. As maiores concentrações de nitrogênio, potássio e boro foram encontradas com as menores produções de massa seca, devido à acumulação dos nutrientes e as menores concentrações foram devidas ao efeito de diluição nas condições de maior crescimento das plantas. O boro influenciou somente a concentração de nitrogênio, potássio e boro no tecido vegetal.

Referências

- ARTUR, A.G. **Adubações com nitrogênio e enxofre**: frações no solo, características estruturais, nutricionais, produtivas e uso da água pelo capim-marandu. 2010. 113p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. p. 29-30. (Boletim Técnico, 78).
- BATISTA, K.; MONTEIRO, F.A. Nitrogen and sulphur in Marandu grass: relationship between supply and concentration in leaf tissues. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, p. 44-51, 2007.
- BLEVINS, D.G.; LUKASZEWSKI, K.M. Boron in plant structure and function. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular and Biology**, Stanford, v. 49, p. 481-500, 1998.
- CHAPMAN, D.F.; LEMAIRE, G. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 17., 1993. Australia, **Proceedings...** Australia, 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**, Philadelphia, v. 27, p. 991-1014, 2004.
- COSTA, C.; DWYER, L.M.; DUTILLEUL, P.; STEWART, D.W.; MA, B.L.; SMITH, D.L. Inter-relationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 24, p. 1173-1194, 2001.
- DUGGER, W.M. Boron in plant metabolism. In: LÄUCHLI, A.; BIELISKI, R.L. (Ed.). **Inorganic plant nutrition**. Berlin: Springer-Verlag, 1983. p. 623-650. Encyclopedia of Plant Physiology (New Series, 15).

FAGERIA, N.K. Nutrição e adubação potássica do arroz no Brasil. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O.; USHERWOOD, N.R. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato; Instituto Internacional de Londrina; Fundação IAPAR, 1982. p. 421-436

FAGUNDES, J.L.; FONSECA, D.M.; MISTURA, C.; MORAIS, R.V.; VITOR, C.M.T.; GOMIDE, J.A.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; CASAGRANDE, D.R.; COSTA, L.T. Características morfogênicas e estruturais do capim-braquiária em pastagem adubada com nitrogênio avaliadas nas quatro estações do ano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, p. 21-29, 2006.

GOMIDE, C.A.M.; GOMIDE, J.A. Morfogênese de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, p. 341-348, 2000.

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

HU, H; BROWN, P.H. Boron uptake by sunflower, squash and cultured tobacco cells. **Physiologia Plantarum**, Frederiksberg, v. 91, p. 435-441, 1994.

JARVIS, S.C. Nitrogen management and sustainability. In: CHERNEY, J.H.; CHERNEY, D.J.R. (Ed.). **Grass for dairy cattle**. New York: CAB Publ., 1998. cap. 7, p. 161-192.

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

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

LEE, C.W.; JACKSON, M.B.; DUYSSEN, M.E.; FREEMAN, T.P.; SELF, J.R. Induced micronutrient toxicity in 'Touchdown' Kentucky bluegrass. **Crop Science**, Madison, v. 36, p. 705-712, 1996.

LOOMIS, W.D.; DURST, R.W. Chemistry and biology of boron. **Biofactors**, Amsterdam, v. 3, p. 229-239, 1992.

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

MARTIM, R.A. **Doses de nitrogênio e potássio para produção, composição e digestibilidade dos capins Coastcross 1 e Tifton 85 em um Latossolo Vermelho-Amarelo**. 1997. 194p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1997.

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

MEGDA, M.M.; MONTEIRO, F.A. Nitrogen and potassium supply and the morphogenic and productive characteristics of marandu palisadegrass. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, p. 1666-1675, 2010.

MILFORD, G.F.J.; JOHNSTON, A.E. Potassium and nitrogen interactions in crop production. In: INTERNATIONAL FERTILISER SOCIETY, 615., 2007. New York. **Proceedings...** New York, 2007. 24p.

MISTURA, C.; FAGUNDES, J.L.; FONSECA, D.M.; MOREIRA, L.M.; VITOR, C.M.T.; DOMICIO NASCIMENTO JÚNIOR, D.; RIBEIRO JÚNIOR, J.I. Disponibilidade e qualidade do capim-elefante com e sem irrigação adubado com nitrogênio e potássio na estação seca. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, p. 372-379, 2006.

MONSON, W.G.; GAINES, T.P. Supplemental boron effects on yield and quality of seven bermudagrasses. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, p. 522-523, 1986.

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

MONTEIRO, F.A.; 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.

MONTGOMERY, D.C. **Design and analysis of experiments**. 6th.ed. Hoboken, NJ: John Wiley, 2005. 643p.

NABINGER, C. Princípios da exploração intensiva de pastagens. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. (Ed.) **Produção de bovinos a pasto**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários "Luiz de Queiroz", 1996. p.15-95.

NAKASHGIR, G.H. Influence of potassium on nitrogen utilization by maize under dryland conditions as affected by water storage. **Journal of Advances in Plant Sciences**, Muzaffarnagar, v. 5, p. 134-142, 1992.

OLIVEIRA, A.B.; PIRES, A.J.V.; MATOS NETO, U.; CARVALHO, G.G.P; VELOSO, C.M.; DA SILVA, F.F. Morfogênese do capim-tanzânia submetido a adubações e intensidades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, p. 1006-1013, 2007.

PEDREIRA, C.G.S.; MELLO, A.C.L.; OTANI, L. O processo de produção de forragem em pastagens. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001. p. 772-807.

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

RÖMHELD, V.; KIRKBY, E.A. Research on potassium in agriculture: needs and prospects. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 335, p. 155-180, 2010.

RUAN, J.; WU, X.; HARDTER, R. Effects of potassium and magnesium nutrition on the quality components of different types of tea. **Journal of Science Food and Agriculture**, New York, v. 79, p. 47-52, 1999.

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.

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

SAS INSTITUTE. **SAS® 9.1.2 windows**. Cary, 2004. 2 CD-ROM.

SILVA, C.C.F.; BONOMO, P.; PIRES, A.J.V.; MARANHÃO, C.M.A.; PATÊS, N.M.S.; SANTOS, L.C. Características morfogênicas e estruturais de duas espécies de braquiária adubadas com diferentes doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, p. 657-661, 2009.

SILVA, S.C.; PEDREIRA, C.G.S. Princípios de ecologia aplicados ao manejo da pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DE PASTAGENS, 3., 1997, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 1997. p. 1-62.

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

SNYDER, G.H.; CISAR, J.L. Nitrogen/potassium fertilization ratios for bermudagrass Turf. **Crop Science**, Madison, v. 40, p. 1719-1723, 2000.

THORNTON, B.; MILLARD, P. Effects of severity of defoliation on root functioning in grasses. **Journal of Range Management**, Denver, v. 49, p. 443-447, 1996.

VIANA, E.M.; KIEHL, J.C. Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo. **Bragantia**, Campinas, v. 69, p. 975-982, 2010.

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

WERNER, J.C.; PAULINO, V.T.; CANTARELLA, H.; ANDRADE, N.O.; QUAGGIO, J.A. Forrageiras. In: VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Fundação IAC, 1996. p. 261-267. (IAC. Boletim Técnico, 100).

XU, G.; WOLF, S.; KAFKAFI, U. Ammonium on potassium interaction in sweet pepper. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 25, p. 719-734, 2002.

ZHANG, F.; NIU, J.; ZHANG, W.; CHEN, X.; LI, C.; YUAN, L.; XIE, J. Potassium nutrition of crops under varied regimes of nitrogen supply. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 335, p. 21-34, 2010.

ZHAO, D.; OOSTERHUIS, D.M.; BEDNARZ, C.W. Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants.

Photosynthetica, Prague, v. 39, p. 103-109, 2001.

ZORATELLI, L.; CARDOSO, E.G.; PICCININ, J.L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; TORRES, E.; ALVES, B.J.R. **Calibração do medidor de clorofila Minolta SPAD-502 para uso na cultura do milho**. EMBRAPA Agrobiologia, 2002. 4p. (Comunicado Técnico, 55).

4 NITROGÊNIO, POTÁSSIO E BORO NAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, PRODUTIVAS E NUTRICIONAIS DAS RAÍZES DE CAPIM-TANZÂNIA CULTIVADO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

Resumo

A produção da parte aérea do vegetal está, intimamente, relacionada ao desenvolvimento radicular. Para que haja mais persistência das plantas, absorção de nutrientes pelas raízes e recuperação das gramíneas forrageiras após a desfolha, é necessário que o sistema radicular do capim esteja bem desenvolvido. Nesse contexto, objetivou-se avaliar as características morfológicas, produtivas e nutricionais das raízes de *Panicum maximum* cv. Tanzânia em resposta às combinações de doses de nitrogênio, potássio e boro fornecidas em solução nutritiva. No período de janeiro a maio de 2010, foi realizado o experimento em casa de vegetação, empregando-se o delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições, em esquema fatorial 5^3 fracionado, com combinações de doses de nitrogênio, potássio e boro. As doses de nitrogênio foram de 2, 10, 18, 26 e 34 mmol L⁻¹, as doses de potássio de 0,2; 3,1; 6,0; 8,9 e 11,8 mmol L⁻¹ e as doses de boro de 0; 45,45; 90,90; 136,35 e 181,8 µmol L⁻¹. Após o terceiro corte da parte aérea das plantas, realizou-se a coleta das raízes, utilizando-se água corrente e desionizada e peneiras de malha de 0,25 e 1,00 mm para a separação da sílica. As doses de boro não interferiram nos parâmetros estudados. A produção de massa seca das raízes, comprimento total e superfície total aumentaram com as combinações de doses de nitrogênio e potássio. As concentrações de nitrogênio, potássio e boro nas raízes foram influenciadas pela combinação das doses de nitrogênio com potássio. As concentrações de nitrato e amônio foram influenciadas, positivamente, pela combinação das doses de nitrogênio e potássio, tendo ocorrido maior concentração de amônio do que nitrato nas raízes. Com o aumento das doses de nitrogênio e potássio, o comprimento específico e a superfície específica das raízes diminuíram. O suprimento de nitrogênio e potássio proporcionou melhoria nos aspectos morfológicos e produtivos do sistema radicular e, consequentemente, maior capacidade para absorção de nutrientes pelas raízes.

Palavras-chave: Comprimento radicular; Gramínea forrageira; *Panicum maximum*; Sistema radicular; Superfície radicular

Abstract

Plant shoot production is closely related to root development. In order to get more plant persistence, nutrient uptake by roots and grass recovery after defoliation, it is necessary that the grass show a well-developed root system. In this context, it was aimed to evaluate the morphological, productive and nutritional characteristics of *Panicum maximum* cv. Tanzania roots, in response to combinations of nitrogen, potassium and boron rates in nutrient solution. An experiment was conducted in a greenhouse from January to May 2010, by using a 5^3 fractionated factorial randomized block design, with four replications. Nitrogen rates were 2, 10, 18, 26 and 34 mmol L⁻¹, potassium rates 0.2, 3.1, 6.0, 8.9 and 11.8 mmol L⁻¹ and boron rates 0, 45.45, 90.90, 136.35 and 181.8 µmol L⁻¹. Just after the third harvest of the shoots roots were collected after 0.25 and 1.00 mm sieves for the separation of roots from ground quartz. The rates of boron did not affect any of the studied parameters. The dry mass of roots, total root length, total root area increased with the combination of nitrogen and potassium rates. The concentration of nitrogen, potassium and boron were influenced by the combinations of nitrogen and potassium rates. The concentrations of nitrate and ammonium were positively influenced by the combinations of nitrogen and potassium rates, and higher

concentrations of ammonium than nitrate were found in root tissues of Tanzania guineagrass. Root specific length and specific surface area decreased as rates of nitrogen and potassium increased. Nitrogen and potassium supply provided an increase in morphological and productive changes in root system, as a consequence, greater root capacity for nutrients absorption.

Keywords: Forage grass; *Panicum maximum*; Root length; Root surface; Root system

4.1 Introdução

Em muitos estudos com plantas forrageiras têm-se dado maior ênfase à parte aérea, resultando em carência acentuada de informações sobre o sistema radicular dessas plantas (CECATO et al., 2004). O desenvolvimento do sistema radicular das plantas é influenciado pelas condições ambientais, como também por fatores edáficos e, particularmente, pela disponibilidade de nutrientes.

Nitrogênio e potássio destacam-se entre os nutrientes por serem os mais extraídos pelas plantas, e o boro por participar em diversos processos metabólicos. A participação do nitrogênio e do potássio no processo fotossintético é de extrema importância (MARSCHNER, 1995), pois, os carboidratos não estruturais produzidos via fotossíntese são utilizados como principais reservas orgânicas e são remobilizados das raízes para a parte aérea para recuperação das plantas após desfolha (SMITH, 1973). O boro é essencial para atividade meristemática da planta, síntese da parede celular e integridade da membrana plasmática, destacando sua participação no alongamento celular, por fazer parte dos polissacarídeos da parede celular, sendo sua desordem nutricional prejudicial ao crescimento radicular (CAKMAK; RÖMHELD, 1998).

Para melhorar o aproveitamento da adubação nitrogenada nas culturas, é necessário cuidar da disponibilidade de potássio, pois a rápida absorção de nitrato depende do adequado teor de potássio no solo (FAGERIA; GHEYI, 1999). Ocorrendo elevação da produtividade das culturas com a utilização de nitrogênio e potássio, pode-se aumentar a demanda das plantas pelos micronutrientes, entre os quais está o boro (WILKINSON; GRUNES; SUMNER, 2000).

Lavres Júnior e Monteiro (2003) trabalharam com doses de nitrogênio (2, 8, 15, 24 e 33 mmol L⁻¹) e potássio (0,5; 3; 6; 8 e 11 mmol L⁻¹) para o capim-mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça) e observaram que a superfície total e o comprimento total das raízes desse capim atingiriam valores máximos com o fornecimento de doses de nitrogênio e de potássio superiores às utilizadas no estudo, destacando o papel do nitrogênio como principal nutriente

modulador desses atributos radiculares. Megda e Monteiro (2010) avaliaram doses de nitrogênio e potássio no capim-marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) e observaram que as doses de nitrogênio se mostraram importantes para o desenvolvimento do sistema radicular, enquanto o comprimento e a superfície específica diminuíram quando altas doses desses nutrientes foram fornecidas.

Pavinato et al. (2009) trabalharam com doses de boro em solução nutritiva para arroz (*Oryza sativa*), e observaram toxidez com aumento das doses de boro. As plantas reduziram, expressivamente, o comprimento e aumentaram o diâmetro radicular, o que resultou em menor área de absorção de nutrientes.

Diante da carência de estudos relacionados à relação no fornecimento de nitrogênio, potássio e boro para gramíneas forrageiras, objetivou-se avaliar a produção de massa seca, comprimento total e específico, superfície total e específica e as concentrações de nitrogênio, potássio, boro, nitrato e amônio nas raízes de *Panicum maximum* cv. Tanzânia, considerando o fornecimento de nitrogênio, potássio e boro em solução nutritiva.

4.2 Material e métodos

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação localizada em Piracicaba, São Paulo (22° 43' S, 47° 38' O), Brasil, no período de janeiro a maio de 2010, cultivando a gramínea forrageira *Panicum maximum* cv. Tanzânia. A temperatura média do ar no interior da casa de vegetação permaneceu em torno de 30 °C durante o período experimental.

Foram utilizadas doses de nitrogênio, potássio e boro combinadas em soluções nutritivas (Tabela 1) preparadas a partir da solução de Hoagland e Arnon (1950). Em cada solução nutritiva, foi mantida constante a proporção nitrato: amônio em 1,86:1 (65% de N-NO_3^- e 35% de N-NH_4^+), empregando-se o esquema fatorial 5^3 incompleto modificado de um composto central, no qual as cinco doses de nitrogênio (2, 10, 18, 26 e 34 mmol L^{-1}), cinco doses de potássio (0,2; 3,1; 6,0; 8,9 e 11,8 mmol L^{-1}) e cinco doses de boro (0; 45,45; 90,90; 136,35 e 181,8 $\mu\text{mol L}^{-1}$), foram arrançadas segundo metodologia de superfície de resposta (MONTGOMERY, 2005), perfazendo um total de 23 combinações, as quais foram distribuídas segundo o delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições.

Tabela 1 - Volumes das soluções estoque empregadas no preparo das soluções nutritivas para as combinações de doses de nitrogênio, potássio e boro utilizadas no experimento com capim-tanzânia

Nitrogênio (mmol L ⁻¹)	2	2	2	2	2	10	10	10	10	18	18	18	18	18	26	26	26	26	34	34	34	34	34
Potássio (mmol L ⁻¹)	0,2	0,2	6,0	11,8	11,8	3,1	3,1	8,9	8,9	0,2	0,2	6,0	11,8	11,8	3,1	3,1	8,9	8,9	0,2	0,2	6,0	11,8	11,8
Boro (μmol L ⁻¹)	0,00	181,8	90,9	0,00	181,8	45,45	136,35	45,45	136,35	90,9	0,00	90,9	181,8	90,9	45,45	136,35	45,45	136,35	0,00	181,8	90,9	0,00	181,8
Solução estoque	Volume (mL L ⁻¹)																						
KH ₂ PO ₄ (1 mol L ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	1	1	1
KCl (1 mol L ⁻¹)	0,2	0,2	6	11,8	11,8	3,1	3,1	8,9	8,9	-	6	6	6	11,8	2,1	2,1	7,9	2,1	-	-	-	5,8	5,8
KNO ₃ (1 mol L ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,2	5	5	5
Ca(NO ₃) ₂ (1 mol L ⁻¹)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	1,5	1,5	1,5	1,5	2,6	2,7	2,7	2,7	2,7	3,9	3,9	3,9	3,9	5	5	2,6	2,6	2,6
CaCl ₂ (1 mol L ⁻¹)	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	3	3	3	3	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,1	1,1	1,1	1,1	-	-	2,4	2,4	2,4
Ca(H ₂ PO ₄) ₂ .H ₂ O (0,05 mol L ⁻¹)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	-	-	-	-	10	10	-	-	-
NH ₄ NO ₃ (1mol L ⁻¹)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	3,5	3,5	3,5	3,5	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	9,1	9,1	9,1	9,1	7,9	7,9	11,9	11,9	11,9
(NH ₄) ₂ SO ₄ (1mol L ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-
MgSO ₄ (1mol L ⁻¹)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-	-	2	2	2
Mg(NO ₃) ₂ .6H ₂ O (1mol L ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-
Micro-Fe-B*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	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	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
H ₃ BO ₃ ***	-	4	2	-	4	1	3	1	3	2	-	2	4	2	1	3	1	3	-	4	2	-	4

* A solução com micronutrientes menos ferro e boro, teve a seguinte composição, em g L⁻¹: 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 por uma noite e completando o volume a 1 L com água desionizada.

*** Dissolveram-se 2,82 g de H₃BO₃ e completou-se a 1L com água desionizada. (B = 45,45 mmol L⁻¹)

As sementes do capim-tanzânia foram germinadas em bandejas plásticas contendo areia lavada com água de torneira e água desionizada e foram transplantadas quinze mudas, (de aproximadamente, quatro cm de altura), para os vasos plásticos com volume de 3,6 litros, contendo quartzo moído (sílica). Um dia após o transplante das mudas, foi fornecido 1 L de solução diluída a 20% da dose correspondente a cada combinação de nitrogênio, potássio e boro. Inicialmente, as soluções permaneceram nos vasos durante o dia e à noite, sendo circuladas pelo substrato quatro vezes ao dia, no período de uma semana. Posteriormente, foram drenadas à noite e fornecidas pela manhã. Decorridos quatro dias do transplante das mudas, as soluções com concentração definitiva foram adicionadas aos vasos e foram trocadas a cada 14 dias. Foram realizados desbastes até permanecerem cinco plantas por vaso.

Após os três cortes periódicos da parte aérea das plantas (116 dias após o transplantio das mudas), as raízes foram separadas da sílica e lavadas com água corrente e água desionizada, utilizando-se peneiras de malhas de 0,25 e 1,00 mm. Foi retirada uma subamostra do sistema radicular, cortando-se vertical, e horizontalmente, o volume de raízes com cerca de 20% de massa fresca total, de acordo com Rossiello et al. (1995). Essas subamostras foram colocadas em copos plásticos contendo solução de violeta genciana a 50 g L^{-1} , para que todas as partes das raízes ficassem tingidas. As raízes foram escaneadas para obtenção das imagens, que foram submetidas ao aplicativo SIARCS (Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo) versão 3.0, para determinar o comprimento e a superfície total das raízes de cada vaso. O comprimento específico foi calculado pela razão entre o comprimento total e a massa seca de raízes e a superfície específica foi calculada pela razão entre a superfície e a massa seca de raízes.

Todas as raízes (20% da subamostra e os 80% restantes) foram colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65°C , até atingir massa constante. As raízes foram pesadas e, em seguida, moídas em moinho do tipo Wiley e acondicionadas em sacos plásticos.

Foi determinada a massa seca das raízes das subamostras fazendo-se a correção do comprimento e superfície totais do sistema radicular de cada parcela experimental em função da produção total de massa seca das raízes de acordo com a metodologia proposta por Crestana et al. (1994), por meio de uma regra de três simples.

As determinações das concentrações de nitrogênio e potássio nas raízes foram efetuadas conforme metodologia descrita por Sarruge e Haag (1974). O nitrogênio foi determinado pela digestão sulfúrica e pelo método analítico micro-Kjeldahl. Para o potássio a digestão empregada foi a nítrico-perclórica, enquanto o método analítico foi de fotometria de

chama. A concentração de boro foi determinada pela digestão via seca e o método analítico empregado foi o colorimétrico, conforme metodologia descrita por Bataglia et al. (1983). Para a determinação das concentrações de amônio e nitrato nas raízes, foi utilizada a metodologia relatada por Tedesco, Volkweiss e Bohnen (1985).

Todos os resultados receberam o recomendado tratamento estatístico, com análise em superfície de resposta por meio do *Statistical Analysis System* (SAS, 2004). Inicialmente, foi realizada a análise de variância para as combinações de doses de nitrogênio, potássio e boro e, em função da significância das interações dessas doses no teste F, efetuou-se o estudo de regressão polinomial (superfície de resposta) por meio do procedimento RSREG. Nos casos em que as interações doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio, doses de nitrogênio $\times$ doses de boro e doses de potássio $\times$ doses de boro não foram significativas, efetuou-se o estudo de regressão de primeiro e segundo graus, por meio do comando GLM. Os símbolos (*) e (**) nos membros das equações de regressão indicam significâncias de 5 e 1%, respectivamente. Também, procedeu-se o estudo das correlações entre as variáveis analisadas.

4.3 Resultados e discussão

A interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio $\times$ doses de boro não foi significativa para produção de massa seca de raízes, comprimento total e específico, superfície total e específica e concentrações de nitrato e amônio nas raízes. Não houve influência do boro nesses parâmetros, possivelmente, por esse micronutriente ser requerido em baixas quantidades pelas gramíneas forrageiras. Além disso, a concentração de boro nas sementes do capim-tanzânia na ocasião da semeadura foi de 6 mg kg⁻¹, o que pode ter sido suficiente para desenvolvimento do sistema radicular.

A interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio foi significativa para a produção de massa seca de raízes (Figura 1). A combinação de 33,62 mmol L⁻¹ de nitrogênio com 8,6 mmol L⁻¹ de potássio (relação entre as doses aplicadas de 3,9: 1) proporcionou a máxima produção de massa seca de raízes. Na comparação das combinações das doses de nitrogênio e potássio, observa-se que, quando mantido o nitrogênio na mais alta dose (34 mmol L⁻¹) e variado o potássio de 0,2 a 11,8 mmol L⁻¹, a produção de massa seca das raízes foi aumentada em, aproximadamente, três vezes. Quando estudada a maior dose de potássio (11,8 mmol L⁻¹) variando as doses de nitrogênio (2 e 34 mmol L⁻¹), a produção de massa seca do sistema radicular foi aumentada em quatro vezes. A adição de potássio potencializou a produção de massa seca de raízes e contribuiu para melhor eficiência na utilização das doses de nitrogênio

aplicadas. Com altas doses de nitrogênio e baixas doses de potássio e também com altas doses de potássio e baixas de nitrogênio o capim-tanzânia teve seu sistema radicular reduzido, em relação ao fornecimento adequado de ambos os nutrientes.

$$Y = -0,5404 + 0,5772^{**}N - 0,0118^{**}N^2 + 1,8984^{**}K - 0,1592^{**}K^2 + 0,0250^{**}NK \quad (R^2 = 0,86)$$

Figura 1 - Massa seca de raízes do capim-tanzânia em função das combinações de doses de nitrogênio (N) e potássio (K) em solução nutritiva

O suprimento de nutrientes, principalmente o nitrogênio, altera o crescimento e a morfologia das raízes (MARSCHNER, 1995). Assim, uma planta bem suprida em nitrogênio apresenta sistema radicular maior e mais eficiente em absorver nutrientes do que uma planta deficiente em nitrogênio, porque os mecanismos envolvidos no crescimento do sistema radicular estão relacionados ao acúmulo de carboidratos (BROWER, 1962). Quando a disponibilidade de nitrogênio é baixa e limita o crescimento vegetal, ocorre acúmulo de carboidratos na planta, tanto na parte aérea quanto nas raízes. Como esses carboidratos não podem ser utilizados na formação de novos tecidos, o nitrogênio absorvido reage com os carboidratos do sistema radicular, beneficiando as raízes em detrimento a parte aérea. Quando há disponibilidade de nitrogênio, maiores proporções desse nutriente são transportados à parte aérea, possibilitando o uso de carboidratos na síntese de proteínas e carboidratos (WILKINSON; LANGDALE, 1974).

Vessey e Layzell (1987) trabalharam com soja (*Glycine max*) e relataram que, quando a concentração de nitrogênio era superior ao requerido pelas raízes, esse nutriente foi exportado para a parte aérea, sugerindo que as raízes possuem alta prioridade em nitrogênio quando se encontra deficiente (TOLLEY-HENRY; RAPER JÚNIOR, 1896).

Descrevendo que as raízes velhas e espessas contribuem muito para a quantidade de massa das raízes, mas pouco participam na absorção de água e de nutrientes, Mengel e Kirkby (2001) relataram que somente a determinação da massa seca do sistema radicular não contribui, essencialmente, para a avaliação do crescimento e da nutrição da planta. Também acrescentaram que a densidade das raízes é um dos mais importantes parâmetros a se avaliar, por apresentar uma considerável influência na extensão pela qual o solo vai sendo explorado pelas raízes em nutrientes e água.

Para o comprimento total e específico do sistema radicular do capim-tanzânia, foram observadas significâncias para a interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio (Figura 2). Os resultados comprovam que o sistema radicular atinge maior comprimento (76% maior) quando a planta recebe quantidades adequadas de nitrogênio e potássio que, consequentemente, atendem a demanda para seu crescimento e desenvolvimento.

Figura 2 - Comprimento total (a) e comprimento específico (b) do sistema radicular do capim-tanzânia em função das combinações de doses de nitrogênio (N) e potássio (K) em solução nutritiva

O máximo comprimento total foi obtido com a combinação de 32,72 mmol L⁻¹ de nitrogênio com 8,34 mmol L⁻¹ de potássio, o que significa a relação de concentração na solução entre esses nutrientes de 3,9: 1, realçando assim a maior necessidade de nitrogênio em relação ao potássio para o crescimento do sistema radicular.

Robinson e Rorison (1985) avaliaram o desenvolvimento das raízes de duas espécies forrageiras (*Holcus lanatus* e *Deschampsia flexuosa*) cultivadas em condições de baixo e alto

fornecimento de nitrogênio e constataram diferenças significativas no comprimento total e densidade de raízes em função das adubações com nitrogênio.

O comprimento específico das raízes atingiu valor mínimo nas combinações de 33,44 mmol L⁻¹ de nitrogênio com 8,82 mmol L⁻¹ de potássio em solução nutritiva (Figura 2b). O comprimento específico diminuiu à medida que as doses de nitrogênio e potássio aumentaram, expressando o maior diâmetro das raízes ou espessura das raízes (raízes mais grossas), corroborando os relatos de Fitter (1996); Lavres Júnior e Monteiro (2003); Batista e Monteiro (2006) e Monteiro e Consolmagno Neto (2008), que elevado comprimento específico revela a presença de quantidades maiores de raízes mais finas, buscando nutrientes em condições de baixa disponibilidade dos mesmos.

A superfície total do sistema radicular do capim-tanzânia mostrou resposta significativa às doses de nitrogênio e potássio, isoladamente (Figuras 3a e 3b). A dose de nitrogênio para atingir a máxima superfície total extrapola as doses estudadas, ao passo que a dose de potássio para a obtenção da máxima superfície radicular foi de 6,98 mmol L⁻¹. Nas menores doses de nitrogênio, observou-se menor superfície radicular do capim, quando comparado com o fornecimento das maiores doses de nitrogênio para a gramínea.

Para a superfície específica, foi constatado resultado idêntico ao apresentado para o comprimento específico, ou seja, à medida que ocorreu aumento nas doses de nitrogênio e potássio, a superfície específica ficou menor. A dose para atingir a mínima superfície específica para o nitrogênio foi de 25,79 mmol L⁻¹ e para o potássio foi de 8,77 mmol L⁻¹. Isso se deve ao fato de que as raízes ficam mais finas nas menores doses de nitrogênio (em comparação às altas doses desse nutriente) e, com isso, a superfície específica torna-se maior.

Considerando a mesma quantidade de massa seca, a presença de raízes finas em maior quantidade pode resultar em maior absorção de nutrientes. Sullivan, Jiang e Hull (2000) estudaram *Turfgrass* (*Poa pratensis*), e observaram que a taxa de absorção de nitrato foi, positivamente, correlacionada com o comprimento e a superfície das raízes mais finas e que as raízes grossas (diâmetro $\geq 0,5$ mm) não apresentaram efeito na taxa de absorção de nitrato.

Lavres Júnior e Monteiro (2003) estudaram doses de nitrogênio (2, 8, 15, 24 e 33 mmol L⁻¹) combinadas com doses de potássio (0,5; 3; 6; 8 e 11 mmol L⁻¹) para o capim-mombaça, enquanto Silveira e Monteiro (2011) trabalharam com doses de nitrogênio (2, 9, 16, 23 e 30 mmol L⁻¹) e cálcio (0,50; 1,75; 3,00; 4,25 e 5,50 mmol L⁻¹) para o capim-tanzânia e Garcez et al. (2011) com doses de nitrogênio (2, 9, 16, 23 e 30 mmol L⁻¹) e magnésio (0,05; 0,70; 1,35; 2,00 e 2,65 mmol L⁻¹) para o capim-marandu e observaram que à medida em que aumentaram as doses de nitrogênio e potássio, nitrogênio e cálcio e nitrogênio e magnésio

houve diminuição no comprimento e na superfície específica da gramínea estudada. Independentemente, da gramínea forrageira e dos nutrientes estudados, o comprimento e a superfície específicos diminuíram com o aumento das doses dos nutrientes.

Figura 3 - Superfície total (a e b) e superfície específica (c) do sistema radicular do capim-tanzânia em função das doses de nitrogênio (a), de potássio (b) e das combinações entre essas doses (c) em solução nutritiva

As concentrações de nitrogênio, potássio e boro nas raízes do capim-tanzânia foram influenciadas apenas pela combinação de nitrogênio e potássio (Figura 4). A maior concentração de nitrogênio nas raízes foi encontrada quando as mais altas doses de nitrogênio e menores doses de potássio foram empregadas. O fornecimento de baixa dose de potássio resultou em pouco crescimento das raízes, o que contribuiu para acúmulo de nitrogênio no tecido vegetal das raízes (Figura 4a). O aumento na concentração de nitrogênio nas raízes, promovido pelas doses mais altas desse nutriente, pode ser favorável à rebrotação do capim

após o corte, uma vez que, de todo o nitrogênio presente na parte aérea formada na primeira semana após o corte das plantas, 80% pode ser proveniente da movimentação do nitrogênio a partir das raízes e dos colmos e o restante proveniente da absorção de nitrogênio (CHAPMAN; LEMAIRE, 1996).

Figura 4 - Concentrações de nitrogênio (a), potássio (b) e boro (c) nas raízes do capim-tanzânia em função das combinações de doses de nitrogênio (N) e potássio (K) em solução nutritiva

A maior concentração de potássio nas raízes foi encontrada com a dose de potássio de $9,47 \text{ mmol L}^{-1}$ e com a dose de nitrogênio extrapolando a máxima dose estudada. O potássio é um nutriente para o qual a planta tem consumo de luxo, ou seja, a planta absorve quantidade superior à exigência para maximizar a produção.

Com maiores doses de nitrogênio e potássio, ocorreu maior crescimento das raízes e, com isso, as quantidades absorvidas de nitrogênio e potássio foram diluídas no tecido vegetal. Para o potássio, não foi verificada essa diluição pelo fato da ocorrência do consumo de luxo.

A mínima concentração de boro (Figura 4c) de 9,53 mg kg⁻¹ foi encontrada com as doses de nitrogênio e potássio de 27,93 e 8,53 mmol L⁻¹, respectivamente. Com o aumento das doses de nitrogênio e potássio, a planta produziu mais massa seca de raízes e, com isso, ocorreu diluição na quantidade de boro presente no sistema radicular.

A interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio foi significativa para as concentrações de amônio e nitrato nas raízes (Figuras 5a e 5b). Na combinação de 34 mmol L⁻¹ de nitrogênio e 0,2 mmol L⁻¹ de potássio, observou-se que a concentração de amônio foi 36% maior do que a concentração de nitrato.

Figura 5 - Concentrações de amônio $N-NH_4^+$ (a) e nitrato $N-NO_3^-$ (b) nas raízes do capim-tanzânia em função das combinações de doses de nitrogênio (N) e potássio (K) em solução nutritiva

A menor concentração de nitrato em relação ao amônio nas raízes pode ser interpretada pela concentração de aminoácidos no floema das raízes, que regula a absorção e assimilação de nitrogênio pela planta, como relatado por Imsande e Touraine (1994). Sendo esse mecanismo embasado na constatação de que, durante o rápido crescimento vegetativo, são altas as quantidades de nitrato reduzidas e a síntese de aminoácidos nas folhas. Nessa parte da planta, é utilizada a maioria dos aminoácidos para a síntese de clorofila, rubisco e outras proteínas e, com isso, é baixa a quantidade de aminoácidos que é translocada para as raízes via floema. Aplicando doses de nitrogênio e potássio, Megda (2009) obteve, de forma

contrária ao verificado no presente experimento, maior concentração de nitrato do que de amônio no sistema radicular do capim-marandu. As plantas cultivadas por aquele autor não atingiram a fase de florescimento e foram colhidas em crescimento vegetativo.

Por outro lado, durante a fase reprodutiva, e que no presente experimento a emissão de panículas no terceiro crescimento foi intencional, para se observar efeitos do boro, ocorreu diminuição na quantidade de nitrato reduzido. Em paralelo, em função da remobilização do nitrogênio foliar para o desenvolvimento das inflorescências, aumentou a exportação de aminoácidos das folhas via floema, aumentando a quantidade desses compostos nas raízes. O mecanismo proposto sugere que a maior concentração de aminoácidos nas raízes diminui a quantidade de nitrato reduzido (IMSANDE; TOURAINE, 1994).

De acordo com Fernandes e Rossiello (1995), grande parte do amônio absorvido pelas raízes pode ser incorporada em compostos orgânicos nas próprias raízes e ser armazenada nos vacúolos de suas células, aumentando a concentração desse íon amônio nas raízes. A maior absorção de íons N-NH_4^+ também é favorável devido à ausência de custo energético para o vegetal, pois este íon é absorvido de forma passiva pelas raízes (LEA; AZEVEDO, 2006). Além da ausência de custo energético para absorção, a exigência energética da assimilação do amônio é menor do que a exigência energética para a assimilação do nitrato, em razão do amônio não precisar ser reduzido para sua incorporação em aminoácidos (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000).

As correlações entre produção de massa seca de raízes, comprimento total e específico, superfície total e específica foram significativas (Tabela 2). As correlações entre produção de massa seca de raízes, comprimento total e superfície total foram positivas, ou seja, à medida que aumentou o comprimento e a superfície total das raízes ocorreu incremento na produção de massa seca de raízes e isso foi relacionado com o aumento nas doses de nitrogênio e potássio. Elevados coeficientes de correlação entre essas características eram esperados, uma vez que o desenvolvimento do sistema radicular pode ser medido pelo aumento do comprimento total, que resulta em maior área superficial total e, conseqüentemente, maior produção de massa seca de raízes. Resultados semelhantes foram relatados por Silveira e Monteiro (2011), em estudo do sistema radicular de capim-tanzânia fertilizado com combinações de doses de nitrogênio e cálcio.

Tabela 2 - Correlações de Pearson entre produção de massa seca (PMS), comprimento total (CT), superfície total (ST), comprimento específico (CE) e superfície específica (SE) do sistema radicular do capim-tanzânia, submetido às combinações de doses de nitrogênio, potássio e boro em solução nutritiva

	PMS	CT	ST	CE
PMS	-	-	-	-
Comprimento	0,89***	-	-	-
Superfície	0,93***	0,98***	-	-
CE	-0,74***	-0,53***	-0,58***	-
SE	-0,70***	-0,47***	-0,50***	0,98***

*** significativo a 0,1% de probabilidade.

As correlações entre produção de massa seca, comprimento específico e superfície específica foram negativas, ou seja, à medida que diminuiu o comprimento e a superfície específicos (condição de alta disponibilidade de nutrientes) ocorreu aumento na produção de massa seca de raízes. Avaliando combinações de doses de nitrogênio e doses de enxofre, Batista e Monteiro (2006) obtiveram, de forma semelhante ao verificado no presente experimento, correlação positiva de produção de massa seca de raízes com comprimento e superfície totais e negativa entre comprimento e superfícies específicos.

4.4 Conclusões

Concentrações adequadas de nitrogênio e potássio em solução nutritiva proporcionaram aumento na produção de massa seca de raízes, comprimento e superfície radiculares totais que, por outro lado, diminuíram o comprimento e a superfície específicos e as concentrações de nitrogênio, potássio, boro, nitrato e amônio nas raízes do capim-tanzânia. O boro não influenciou os aspectos produtivos, morfológicos e nutricionais das raízes.

Referências

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. p. 29-30. (Boletim Técnico, 78).

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.

- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C.M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, p. 365-372, 2000.
- BROWER, R. Nutritive influences on the distribution of dry matter in the plant. **Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 10, p. 342-399, 1962.
- CAKMAK, I.; RÖMHELD, V. Boron deficiency-induced impairments of celular functions in plants. In: DELL, B.; ROWN, P.H.; BELL, R.W. (Ed.). **Boron in soil and plants: review**. Symposium, Chiang Mai, reprinted Plant and Soil, v. 193, n. 1/2, p. 71-83, 1998.
- CECATO, U.; JOBIM, C.C.; REGO, A.; LENZI, A. Sistema radicular-componente esquecido das pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 2., 2004, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2004. p. 159-207.
- CHAPMAN, D.; LEMAIRE, G. Tissue flows in grazed plant communities. In: HODGSON, J.; ILLIUS, A.W. (Ed.). **The ecology and management of grazing systems**. Guilford: CAB International, 1996. p. 3-36.
- 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.
- FAGERIA, N.K.; GHEYI, H.R. **Efficient crop production**. Campina Grande: Universidade da Paraíba, 1999. 547p.
- FERNANDES, M.S.; ROSSIELO, R.O.P. Mineral nitrogen in plant physiology and plant nutrition. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Shannon, v. 14, p. 111-118, 1995.
- FITTER, A. Characteristics and functions of root systems. In: WASEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Ed.) **Plant roots: the ridden half**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 1-20.
- GARCEZ, T.B.; MEGDA, M.M.; ARTUR, A.G.; MONTEIRO, F.A. Root system characteristics of Marandu palisadegrass supplied with nitrogen and magnesium rates. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, p. 1428-1434, 2011.
- HOAGLAND, D.; ARNON, D.I. **The water culture method for growing plants without soil**. Berkeley: California Agriculture Experimental Station, 1950. 347p. (Circular, 347)
- IMSANDE, J.; TOURAINE, B.N. Demand and regulation of nitrate uptake. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 105, p. 3-7, 1994.
- LAVRES JÚNIOR, J.; MONTEIRO, F.A. Perfilhamento, área foliar e sistema radicular do capim-mombaça submetido a combinações de doses de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, p. 1068-1075, 2003.
- LEA, P.J.; AZEVEDO, R.A. Nitrogen use efficiency. I. Uptake of nitrogen from the soil. **Annals of Applied Biology**, Oxford, v. 149, p. 243-247, 2006.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

MEGDA, M.M. **Suprimento de nitrogênio e de potássio e características morfológicas, nutricionais e produtivas do capim-marandu**. 2009. 84p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição Mineral de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

MEGDA, M.M.; MONTEIRO, F.A. Nitrogen and potassium supply and the morphogenic and productive characteristics of marandu palisadegrass. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, p. 1666-1675, 2010.

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

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.

MONTGOMERY, D.C. **Design and analysis of experiments**. 6th ed. Hoboken: John Wiley, 2005. 643p.

PAVINATO, P.S.; AGUIAR, A.; CASTRO, G.S.A.; CRUSCIOL, C.A.C. Boro em arroz de terras altas cultivados em solução nutritiva. **Bragantia**, Campinas, v. 68, p. 743-751, 2009.

ROBINSON, D.; RORISON, I.H. A quantitative analysis of the relationships between root distribution and nitrogen uptake from soil by two grass species. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 36, p. 71-85, 1985.

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

SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 54p.

SAS INSTITUTE. **SAS® 9.1.2 windows**. Cary, 2004. 2 CD-ROM.

SILVEIRA, C.P.; MONTEIRO, F.A. Influência da adubação com nitrogênio e cálcio nas características morfológicas e produtivas das raízes de capim-tanzânia cultivado em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, p. 47-52, 2011.

SMITH, D. The nonstructural carbohydrates. In: BUTLER, G.W.; BAILEY, R.W. (Ed.). **Chemistry and biochemistry of herbage**. London: Academic Press, 1973. v. 1 p. 105-155.

SULLIVAN, W.M.; JIANG, Z.C.; HULL, R.J. Root morphology and its relationship with nitrate uptake in Kentucky bluegrass. **Crop Science**, Madison, v. 40, p. 765-772, 2000.

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. 95p. (Boletim Técnico, 5).

TOLLEY-HENRY, L.; RAPER JÚNIOR, C.D. Expansion and photosynthetic rate of leaves of soybean plants during onset of and recovery from nitrogen stress. **Botanical Gazette**, Chicago, v. 147, p. 400-406, 1986.

VESSEY, J.K.; LAYZELL, D.B. Regulation of assimilate partitioning in soybean. Initial effects following change in nitrate supply. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 83, p. 341-348, 1987.

WILKINSON, S.R.; GRUNES, D.L.; SUMNER, M.E. Nutrient interactions in soil and plant nutrition. In: SUMMER, M.E. (Ed.). **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p. 89-112.

WILKINSON, S.R.; LANGDALE, G.W. Fertility needs of the warm-season grasses. In: MAYS, D.A. (Ed.). **Forage fertilization**. Madison: American Society of Agronomy, 1974. chap. 6, p. 119-145.

5 COMPONENTES DE PAREDE CELULAR E FRACIONAMENTO DE PROTEÍNAS DO CAPIM-TANZÂNIA CULTIVADO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA COM NITROGÊNIO, POTÁSSIO E BORO

Resumo

A composição de parede celular e o fracionamento de proteínas das gramíneas forrageiras são de extrema importância para determinação do valor nutritivo do alimento que será fornecido ao animal. Objetivou-se avaliar a composição de parede celular e as frações proteicas de *Panicum maximum* cv. Tanzânia, em resposta às combinações de doses de nitrogênio, potássio e boro em solução nutritiva. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no período de janeiro a maio de 2010. As doses de nitrogênio foram de 2, 10, 18, 26 e 34 mmol L⁻¹, as de potássio de 0,2; 3,1; 6,0; 8,9 e 11,8 mmol L⁻¹ e as de boro de 0; 45,45; 90,90; 136,35 e 181,80 µmol L⁻¹. Empregou-se o delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições, em esquema fatorial 5³ fracionado, com 23 combinações de nitrogênio, potássio e boro. Realizaram-se três cortes da parte aérea das plantas de capim-tanzânia, aos 32 dias após o transplante, 39 dias após o primeiro corte e 45 dias após o segundo corte. Os componentes de parede celular e as frações proteicas não foram influenciados pelas doses de boro. Os teores de FDN, FDA aumentaram e a relação FE+LM/CB diminuiu com as doses de potássio no segundo e terceiro cortes. O teor de PB no segundo corte aumentou com as doses de nitrogênio e diminuiu com as doses de potássio. As frações proteicas B1+B2 aumentaram e a fração B3 diminuiu no segundo e terceiro cortes com o aumento das doses de nitrogênio. A fração C para o terceiro corte diminuiu com as doses de nitrogênio. A combinação das doses de nitrogênio e potássio aumentou os teores da fração A no terceiro corte.

Palavras-chave: FDA; FDN; Frações proteicas; *Panicum maximum*; Valor nutritivo

Abstract

The cell wall composition and fractionation of proteins from grasses are extremely important for determining the nutritional value of the food that will be provided to the animal. The aim in this research was to evaluate the cell wall composition and protein fractions of *Panicum maximum* cv. Tanzania, in response to combinations of nitrogen, potassium and boron nutrient solution. The experiment was conducted in a greenhouse from January to May 2010. Nitrogen rates were 2, 10, 18, 26 and 34 mmol L⁻¹, potassium 0.2, 3.1, 6.0, 8.9 and 11.80 mmol L⁻¹ and boron 0, 45.45, 90.90, 136.35 and 181.80 µmol L⁻¹. It was used the randomized block design, with four replications, in a 5³ fractional factorial design with 23 combinations of nitrogen, potassium and boron. Three harvests of Tanzania guineagrass were made: 32 days after transplanting, 39 days after the first harvest and 45 days after the second harvest. The components of the cell wall and protein fractions were not affected by boron rates. The NDF and ADF increased and leaf/stem ratio decreased with the potassium rates in the second and third harvests. The CP content of the second harvest increased with the nitrogen and decreased with potassium rates. Fractions B1+B2 increased and fraction B3 decreased for the second and third harvests with increasing nitrogen rates. The fraction C for the third harvest decreased with nitrogen rates. The combination of nitrogen and potassium increased the content of fraction A in plant tissues sampled at the third harvest.

Keywords: ADF; NDF; Nutritive value; Protein fractions; *Panicum maximum*;

5.1 Introdução

Apesar das pastagens representarem a forma mais prática e econômica de alimentação de bovinos, os resultados de produção de massa seca obtidos pela maioria dos pecuaristas estão aquém dos potenciais produtivos (VITOR et al., 2009), em função do manejo inadequado das gramíneas forrageiras e, principalmente, da falta de reposição de nutrientes via adubação. Sabe-se que a adubação influencia, positivamente, a produção de massa seca e o valor nutricional da forragem (ANDRADE et al., 2003), elevando a capacidade de suporte e, por conseguinte, o rendimento dos produtos de origem animal (FONTANELI; JACQUES, 1988).

De acordo com Cóser et al. (2008), quando a disponibilidade de forragem e o potencial do animal não são limitantes, a produção por animal é definida pelo valor nutritivo da forragem e está, diretamente, relacionada ao consumo voluntário e à disponibilidade dos nutrientes nela contidos. Segundo Van Soest (1994), os constituintes químicos e as taxas de degradação dos alimentos produzidos em condições tropicais diferem muito daqueles produzidos em regiões de clima temperado. Dessa forma, o estudo do valor nutritivo da forragem contribui para a identificação dos fatores limitantes ao consumo de nutrientes e, consequentemente, à produção animal (BRÂNCIO et al., 2002).

Os alimentos são constituídos de proteínas, carboidratos, gorduras, cinzas e água, sendo as proteínas subdivididas de acordo com suas características químicas e físicas e conforme sua degradabilidade ruminal e a digestibilidade pós-ruminal (SNIFFEN et al., 1992). Esses autores dividem a proteína das plantas em cinco frações. A parte solúvel da proteína é dividida nas frações A e B1. A fração A é o nitrogênio não proteico (NnP), de alta digestibilidade no rúmen, enquanto o restante da fração solúvel (B1) é uma parte da proteína verdadeira, que também tem rápida degradação ruminal. A fração B2 apresenta taxa de degradação média e corresponde à fração da proteína que não é solúvel, que não faz parte da parede celular e que também não é NnP. Existe uma fração do nitrogênio contido na fibra em detergente neutro (FDN), designada como nitrogênio insolúvel em detergente neutro (nFDN). A subtração do nitrogênio insolúvel em detergente ácido (nFDA) do nFDN constitui uma outra forma de proteína na planta, que estaria disponível, porém com uma taxa de degradação muito lenta, e caracteriza a fração B3. A fração C corresponde à proteína indisponível e está definida como nitrogênio contido na fibra em detergente ácido (FDA). Essa fração é associada à lignina, formando complexos de tanino e de produtos da reação de Maillard, que são

altamente resistentes à degradação microbiana e enzimática no trato gastrointestinal do animal (SNIFFEN et al., 1992).

Nesse aspecto, a adubação nitrogenada pode reduzir a porcentagem de FDN das plantas por estimular o crescimento de tecidos novos, que possuem menores teores de carboidratos estruturais na matéria seca (CORSI, 1984), e aumentar a concentração de aminoácidos e proteínas (VAN SOEST, 1994). Portanto, os efeitos do nitrogênio são importantes, uma vez que, o consumo é potencializado pelo incremento do teor proteico (MILFORD; MINSON, 1966) e pela redução do teor de FDN (SCHMIDT et al., 2007). Silva et al. (2009) analisaram as frações proteicas do capim-mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça) submetido a doses de nitrogênio em duas alturas de corte e reportaram que as frações A, B1, B2, B3 e C variaram de 35,25 a 26,54; 2,56 a 3,77; 19,94 a 17,49; 33,71 a 41,69 e 8,51 a 10,48% utilizando 0 e 500 kg ha⁻¹ de nitrogênio, respectivamente, no corte de 0 a 20 cm. Os mesmos concluíram que a adubação nitrogenada aumentou o teor de proteína e melhorou a digestibilidade dessa forrageira.

Apesar do efeito menos pronunciado do potássio em relação ao nitrogênio no valor nutritivo de gramíneas forrageiras, esse macronutriente é importante por exercer funções reguladoras, participar na ativação de enzimas e do processo fotossintético em vários níveis (GIANELLO; BISSANI; TEDESCO, 1995). A influência da adubação potássica no valor nutritivo de gramíneas forrageiras pode ser demonstrada pela relação folha/colmo, visto que, menores relações limitam o consumo de forrageiras pelos animais (FLORES et al., 1993), pela maior participação de tecido fibroso na matéria seca. Entretanto, o efeito do potássio no valor nutritivo dos alimentos tem sido demonstrado em combinação ao nitrogênio. Andrade et al. (2003) avaliaram doses de nitrogênio e potássio no capim-elefante (*Pennisetum purpureum* cv. Napier) e relataram que os teores de proteína bruta aumentaram 30,5%, no período seco, quando as maiores doses de nitrogênio de 400 kg ha⁻¹ e potássio de 200 kg ha⁻¹ foram empregadas.

O boro é essencial na translocação de açúcares e no metabolismo de carboidratos, tem importante papel no metabolismo do nitrogênio e na atividade de hormônios (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). O boro também está relacionado a muitos processos fisiológicos da planta que são afetados pela sua deficiência, como síntese da parede celular, lignificação e estrutura da parede celular (YAMADA, 2000). Portanto, o boro pode atuar, diretamente, no valor nutritivo de gramíneas forrageiras.

Objetivou-se avaliar a influência da combinação de doses de nitrogênio, potássio e boro, aplicadas em solução nutritiva, na composição da parede celular e no fracionamento proteico do capim-tanzânia.

5.2 Material e métodos

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação localizada em Piracicaba, São Paulo (22° 43' S, 47° 38' O), Brasil, no período de janeiro a maio de 2010, cultivando a gramínea forrageira *Panicum maximum* cv. Tanzânia, por sua alta produtividade e valor nutritivo quando suas exigências nutricionais são atendidas. A temperatura média do ar no interior da casa de vegetação permaneceu em torno de 30 °C durante o período experimental.

Foi empregado o esquema fatorial 5^3 incompleto modificado de um composto central, no qual as cinco doses de nitrogênio (2, 10, 18, 26 e 34 mmol L⁻¹), cinco doses de potássio (0,2; 3,1; 6,0; 8,9 e 11,8 mmol L⁻¹) e cinco doses de boro (0; 45,45; 90,90; 136,35 e 181,80 μmol L⁻¹) foram arranjadas segundo metodologia de superfície de resposta (MONTGOMERY, 2005), perfazendo um total de 23 combinações, as quais foram distribuídas segundo o delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições. As doses de nitrogênio, potássio e boro foram combinadas em soluções nutritivas (Tabela 1) preparadas a partir da solução de Hoagland e Arnon (1950). Em cada solução nutritiva, manteve-se constante a relação nitrato: amônio de 1,86:1 (65% N-NO₃⁻ e 35% N-NH₄⁺).

As sementes do capim-tanzânia foram colocadas para germinar em bandejas plásticas contendo areia lavada com água de torneira e, posteriormente, com água desionizada e regadas, periodicamente, com água desionizada. Quando as plântulas atingiram em torno de quatro centímetros de altura, foram transplantadas quinze mudas para cada vaso plástico com volume de 3,6 litros, contendo quartzo moído (sílica) como substrato. Foram realizados desbastes periódicos até permanecerem cinco plantas por vaso. Um dia após o transplante das mudas, foi fornecido um litro de solução diluída a 20% da dose correspondente a cada combinação de nitrogênio, potássio e boro. Inicialmente, as soluções permaneceram nos vasos durante o dia e à noite, sendo circuladas pelo substrato quatro vezes ao dia, no período de uma semana. Em seguida, as soluções foram drenadas à noite e fornecidas pela manhã. Após quatro dias do transplante das mudas, as soluções com concentração definitiva foram adicionadas nos vasos e foram trocadas a cada 14 dias.

Tabela 1 - Volumes das soluções estoque empregadas no preparo das soluções nutritivas para as combinações de doses de nitrogênio, potássio e boro utilizadas no experimento com capim-tanzânia

Nitrogênio (mmol L ⁻¹)	2	2	2	2	2	10	10	10	10	18	18	18	18	18	26	26	26	26	34	34	34	34	34
Potássio (mmol L ⁻¹)	0,2	0,2	6,0	11,8	11,8	3,1	3,1	8,9	8,9	0,2	0,2	6,0	11,8	11,8	3,1	3,1	8,9	8,9	0,2	0,2	6,0	11,8	11,8
Boro (μmol L ⁻¹)	0,00	181,8	90,9	0,00	181,8	45,45	136,35	45,45	136,35	90,9	0,00	90,9	181,8	90,9	45,45	136,35	45,45	136,35	0,00	181,8	90,9	0,00	181,8
Solução estoque	Volume (mL L ⁻¹)																						
KH ₂ PO ₄ (1 mol L ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	1	1	1
KCl (1 mol L ⁻¹)	0,2	0,2	6	11,8	11,8	3,1	3,1	8,9	8,9	-	6	6	6	11,8	2,1	2,1	7,9	2,1	-	-	-	5,8	5,8
KNO ₃ (1 mol L ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,2	5	5	5
Ca(NO ₃) ₂ (1 mol L ⁻¹)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	1,5	1,5	1,5	1,5	2,6	2,7	2,7	2,7	2,7	3,9	3,9	3,9	3,9	5	5	2,6	2,6	2,6
CaCl ₂ (1 mol L ⁻¹)	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	3	3	3	3	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,1	1,1	1,1	1,1	-	-	2,4	2,4	2,4
Ca(H ₂ PO ₄) ₂ .H ₂ O (0,05 mol L ⁻¹)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	-	-	-	-	10	10	-	-	-
NH ₄ NO ₃ (1mol L ⁻¹)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	3,5	3,5	3,5	3,5	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	9,1	9,1	9,1	9,1	7,9	7,9	11,9	11,9	11,9
(NH ₄) ₂ SO ₄ (1mol L ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-
MgSO ₄ (1mol L ⁻¹)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-	-	2	2	2
Mg(NO ₃) ₂ .6H ₂ O (1mol L ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-
Micro-Fe-B*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	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	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
H ₃ BO ₃ ***	-	4	2	-	4	1	3	1	3	2	-	2	4	2	1	3	1	3	-	4	2	-	4

* A solução com micronutrientes, menos ferro e boro, teve a seguinte composição, em g L⁻¹: 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 por uma noite e completando o volume a 1 L com água desionizada.

*** Dissolveram-se 2,82 g de H₃BO₃ e completou-se a 1L com água desionizada. (B = 45,45 mmol L⁻¹)

Quando a maioria das lâminas das folhas maduras estava senescendo (primeiro corte - 32 dias após o transplântio; segundo corte - 39 dias após o primeiro corte e terceiro corte - 45 dias após o segundo corte), foi realizado cada um dos cortes, à altura de cinco centímetros do colo das plantas. A parte aérea das plantas foi separada em folhas emergentes (FE = folhas do ápice da planta, ainda enroladas e sem lígula visível); lâminas recém-expandidas (LR = lâminas das duas folhas recém-expandidas com lígula visível); lâminas das folhas maduras (LM = lâminas das demais folhas, totalmente, expandidas) e colmos mais bainhas (CB = colmos e as bainhas que foram mantidas presas a eles). Para a moagem do material, juntou-se (FE, LM e CB), enquanto as LR foram moídas, separadamente.

A produção de massa seca da parte aérea foi determinada pela soma da massa seca dos seus componentes (FE, LM e CB), nos três cortes da gramínea forrageira e utilizada para cálculo dos componentes de parede celular e proteína bruta (PB). A relação entre as produções de massa de FE + LM e CB foi calculada.

O material vegetal do primeiro corte, assim como as lâminas das duas folhas recém-expandidas (LR) de todos os cortes, foi insuficiente para a realização das análises. Por isso, foram utilizados apenas os materiais vegetais relativos ao segundo e terceiro cortes representados pelas folhas do ápice da planta (FE), lâminas das folhas maduras (LM) e colmos mais bainhas (CB).

As amostras de FE+LM+CB foram analisadas quanto à composição da parede celular e frações proteicas. Para as determinações dos componentes de parede celular as análises seguiram as metodologias descritas por Goering e Van Soest (1970) e Van Soest, Robertson e Lewis (1991), enquanto para a determinação das frações nitrogenadas adotou-se as metodologias de Krishnamoorthy et al. (1982) e Licitra, Hernandez e Van Soest (1996). Em cada amostra, foram determinados: FDN, FDA, lignina, hemicelulose, celulose, PB, nFDN, nFDA, (nitrogênio solúvel) Nsol e NnP. As determinações foram realizadas nas dependências do *Range Cattle Research and Education Center* da Universidade da Flórida, na cidade de Ona, Estado da Flórida, Estados Unidos da América.

As frações FDN e FDA foram determinadas por meio do equipamento *Ankon* (*Ankon 200 Fiber Analyser da Ankon Technology Corporation*), sendo adicionado o sulfito de sódio, com o objetivo de solubilizar a proteína aderida à parede celular (MERTENS, 1998). A lignina foi analisada com a adição de ácido sulfúrico a 720 g L⁻¹ ao resíduo insolúvel da determinação da FDA (VAN SOEST, 1994).

O nitrogênio total, nFDN, nFDA, Nsol e NnP foram determinados pelo método da combustão, utilizando o analisador elementar de carbono, hidrogênio, nitrogênio e enxofre -

Thermo Flash 1112. O teor de PB foi determinado multiplicando-se a concentração de nitrogênio pelo fator 6,25.

A fração A das proteínas foi determinada após tratamento da amostra com ácido tricloroacético (TCA) a 100 g L^{-1} , conforme descrito por Licitra, Hernandez e Van Soest (1996). A fração B3 foi obtida pela diferença entre a fração A e o valor de nFDN e nFDA, enquanto a proteína verdadeira (frações B1+B2) foi obtida pela diferença entre a fração A e o teor de nFDN. A fração C corresponde ao nFDA.

Os resultados foram submetidos às análises estatísticas utilizando-se o aplicativo *Statistical Analysis System* (SAS, 2004). O procedimento RSREG foi utilizado no caso de significância da interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio, doses de nitrogênio $\times$ doses de boro e doses de potássio $\times$ doses de boro. Nos casos em que a interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio, doses de nitrogênio $\times$ doses de boro e doses de potássio $\times$ doses de boro não foi significativa, foi utilizada a análise de regressão com modelos de primeiro e segundo grau para as doses individuais desses nutrientes, por meio do comando GLM. Os símbolos (*) e (**) nos membros das equações de regressão indicam significância de 5 e 1%, respectivamente, do correspondente termo matemático.

5.3 Resultados e discussão

A interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio $\times$ dose de boro não foi significativa para todas as variáveis analisadas. Os teores de FDN e FDA foram influenciados apenas pelas doses de potássio no segundo e terceiro cortes (Figura 1).

No segundo e terceiro cortes do capim-tanzânia, houve efeito significativo das doses de potássio nos teores de FDN, com os resultados tendo ajuste o modelo exponencial (Figuras 1a e 1b), resultando em aumento linear nos teores de FDN com mínimo incremento nas doses de potássio de 0,2 a $3,1 \text{ mmol L}^{-1}$. A partir de $3,1 \text{ mmol L}^{-1}$, o aumento de fornecimento de potássio não promoveu variação nos teores de FDN do capim-tanzânia. Os teores de FDN oscilaram de 61 a 69% da MS, mediante aumento no fornecimento de potássio.

O acréscimo nos teores de FDN pode ser atribuído à menor relação FE+LM/CB verificada com o aumento no fornecimento de potássio. Os colmos emitidos pelas plantas supridas com doses iguais ou superiores a $3,1 \text{ mmol L}^{-1}$ apresentaram maior diâmetro e maior teor de FDN. Plantas deficientes em potássio apresentam caule enfraquecido, com menor espessura de parede celular, o que pode causar colapso dos tecidos do parênquima. Plantas

deficientes em potássio além de terem sua composição química da célula alterada, também possuem parede celular mais fina (MENGEL; KIRKBY, 2001).

O teor de FDN de uma forragem é importante não só para a avaliação de sua composição química, mas, também, pelo fato de a FDN estar relacionada com consumo máximo de massa seca pelos animais (MERTENS, 1994). Desse modo, plantas com maiores teores de FDN teriam menor potencial de consumo. O teor médio de FDN encontrado foi de 68% da MS, estando, assim, superior ao considerado crítico, o que compromete o valor nutritivo da forragem. De acordo com Lima et al. (2002), a FDN apresenta relação, inversamente, proporcional à densidade energética da dieta e valores de FDN acima de 60% da MS correlacionam-se, negativamente, com consumo de forragem pelos animais (MERTENS, 1996).

Diversos autores trabalharam com adubação potássica isolada ou combinada a outros nutrientes em gramíneas forrageiras (COSTA et al., 2004; COUTINHO FILHO et al., 2000) e não observaram efeito do potássio nos teores de FDN. Por outro lado, Eichhorn Júnior e Hallmark (1988) conduziram um experimento com capim-bermuda (*Cynodon dactylon* cv. Coastal) no sul dos EUA, avaliando doses de potássio, e observaram que os teores de FDN e FDA reduziram à medida que as doses de potássio aumentaram, contrariando os resultados encontrados nesse experimento e atribuíram esse resultado à maior relação folha/colmo.

Os teores de FDA do segundo e terceiro cortes apresentaram resultados ajustados ao modelo exponencial, semelhante aos teores de FDN. A menor dose de potássio testada ($0,2 \text{ mmol L}^{-1}$) resultou no menor teor de FDA. Contudo, ocorreu aumento nos teores de FDA em ambos os cortes com a utilização de $3,1 \text{ mmol L}^{-1}$, e a partir desse ponto, não houve alteração dessa fração, mesmo com a aplicação de $11,8 \text{ mmol L}^{-1}$ de potássio (Figuras 1c e 1d). Os teores de FDA no segundo e terceiro cortes permaneceram aproximadamente entre 31,5 e 36,5% da MS, respectivamente, com o fornecimento de $0,2 \text{ mmol L}^{-1}$ de potássio. A partir da dose $3,1 \text{ mmol L}^{-1}$ os teores de FDA permaneceram por volta de 34,5 e 39% da MS, no segundo e terceiro cortes, respectivamente. Nussio et al. (1998) relataram que forragens com teores de FDA próximos ou superiores a 40% da MS apresentam baixo consumo potencial e baixa digestibilidade.

Figura 1 - Teor de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) na massa seca e relação folhas emergentes (FE) + lâminas maduras (LM)/colmos + bainhas (CB) em função das doses de potássio (K) em solução nutritiva no segundo (a; c; e) e terceiro cortes (b; d; f) do capim-tanzânia

Os teores de FDA no terceiro corte foram maiores do que no segundo corte, possivelmente, pelo maior período de crescimento e florescimento do capim-tanzânia. O florescimento reduz a produtividade e valor nutritivo da planta, pois há diminuição da relação folha/colmo (SANTOS; BALSALOBRE; CORSI, 1999) e, conseqüentemente, há redução no consumo pelos animais (FLORES et al., 1993). Teores de FDA superiores a 40% da MS podem ser encontrados em plantas com idade fisiológica avançada (BALSALOBRE et al., 2003).

A relação folha/colmo pode ser utilizada como índice de valor nutritivo da forragem, pois, assim como a altura do pasto e disponibilidade de massa seca, facilita a apreensão de forragem pelo animal e, dessa forma, o seu comportamento durante o pastejo (ALDEN; WHITAKER, 1970). Com aumento das doses de potássio, a relação FE+LM/CB diminuiu (Figuras 1e e 1f), respectivamente para o segundo e terceiro cortes. Andrade et al. (2000) trabalharam com combinações de doses de nitrogênio e potássio no capim-elefante, e observaram que a relação folha/colmo, semelhante ao presente experimento, diminuiu com as doses de potássio.

A relação FE+LM/CB foi menor no terceiro corte em relação ao segundo, devido ao maior período de crescimento do terceiro corte, o que proporcionou colmos maiores e mais pesados. No terceiro corte, a relação FE+LM/CB permaneceu próxima a 1:1 quando houve suprimento de potássio em doses mais elevadas do que $3,1 \text{ mmol L}^{-1}$. Pinto, Gomide e Maestri (1994) ressaltaram que relações folha/colmo menores que 1:1 (considerado nível crítico) evidenciam maior participação de hastes na produção de massa seca e isso pode limitar o consumo de forragem. Uma maneira de aumentar essa relação seria diminuir o intervalo entre cortes e, principalmente, evitar o florescimento da planta. Em pastagens de clima tropical, a relação folha/colmo afeta a estrutura do relvado, o tamanho do bocado e o tempo de pastejo (ANDRADE et al., 2003).

Andrade et al. (2003) avaliaram a adubação nitrogenada e potássica em parâmetros produtivos do capim-elefante e não observaram influência das doses de nitrogênio e potássio na relação folha/colmo na estação das chuvas. Contudo, no período seco do ano, a relação aumentou, linearmente, com as doses de nitrogênio. Esses autores atribuíram o resultado ao possível estímulo causado pelas doses de nitrogênio na emissão de novos perfilhos. Santos, Balsalobre e Corsi (1999) avaliaram a frequência de pastejo e da época do ano sobre a produção e valor nutritivo do capim-tanzânia e capim-mombaça, e observaram que, na época do florescimento (abril/maio), a relação folha/haste diminuiu ao reduzir a frequência de pastejo.

Apesar dos teores de FDN e FDA estarem acima do valor considerado ideal e a relação FE+LM/CB ter diminuído com o aumento das doses de potássio, comprometendo o valor nutritivo do capim-tanzânia, houve compensação parcial devido à quantidade de massa seca produzida, ocorrida por intermédio do aumento das doses de nitrogênio e de potássio combinadas em solução nutritiva.

As doses de nitrogênio e potássio no segundo corte do capim-tanzânia influenciaram os teores de PB. Houve aumento linear na concentração de PB em função das doses de nitrogênio (Figura 2a). Os resultados estão de acordo com Andrade et al. (2003); Botrel, Pereira e Freitas (2000); Aguiar, Vasquez e Silva (2000) e, Johnson et al. (2001), em que o teor de PB das gramíneas forrageiras tropicais aumentou com as doses de nitrogênio aplicadas. Após a absorção, o nitrogênio é reduzido à forma amoniacal e, combinado nas cadeias orgânicas, produz ácido glutâmico, que é precursor de outros aminoácidos, dos quais cerca de 20 são usados na formação de proteínas (MARSCHNER, 1995).

Figura 2 - Teor de proteína bruta (PB) na massa seca coletada no segundo corte do capim-tanzânia em função das doses de nitrogênio-N (a) e potássio-K (b) em solução nutritiva

Com relação às doses de potássio, o teor de PB diminuiu à medida que houve aumento nas doses do nutriente em solução nutritiva, até a dose 8,0 mmol L⁻¹ (Figura 2b). No entanto, doses superiores resultaram em discreta elevação nos teores de PB, configurando um modelo quadrático. Esse resultado pode ser atribuído ao efeito de diluição ocorrido nos teores de PB devido ao maior crescimento da planta. Resultados similares foram reportados por Ketterings et al. (2005), que trabalharam com manejo de potássio em duas espécies de sorgo forrageiro

(*Sorghum bicolor* e *Sorghum sudanense*), e observaram redução nos teores de PB com o aumento das doses de potássio.

Andrade et al. (2000) trabalharam com produtividade e valor nutritivo do capim-elefante sob doses de nitrogênio e potássio e observaram que os teores de PB aumentaram, linearmente, com o fornecimento de nitrogênio e diminuíram com as maiores doses de potássio. Esses autores atribuíram isso ao efeito de diluição ocorrido nos teores de PB. De acordo com Hsiao et al. (1970), a deficiência de potássio, ao diminuir a atividade fotossintética, seria o principal fator da diminuição na taxa de crescimento e da síntese de proteínas, pois esse macronutriente está, intimamente, envolvido no processo de síntese proteica.

Teores de PB abaixo de 5% foram encontrados no capim recebendo doses elevadas de potássio. Esse valor é considerado crítico por Van Soest (1994), uma vez que ruminantes necessitam de teor de PB superior ou no mínimo igual a 7% e que abaixo desse nível, ocorrem restrições ao consumo da pastagem pelo animal, pela redução da atividade de microrganismos no rúmen e redução da taxa de digestão de celulose, aumentando o tempo de retenção da forragem no rúmen.

As doses de nitrogênio, no segundo corte, e a combinação de doses de nitrogênio e potássio, no terceiro corte, influenciaram os teores das frações proteicas B1+B2. Houve aumento linear nas frações B1+B2 no segundo corte (Figura 3a) e o máximo teor das frações B1+B2 foi encontrado com doses de nitrogênio e potássio extrapolando as máximas doses estudadas (Figura 3c).

Os teores da fração B3 no segundo e terceiro cortes (Figuras 3b e 3d) e fração C no terceiro corte (Figura 4b) diminuíram com o aumento das doses de nitrogênio, em função do remanejamento das frações proteicas dentro da célula (HENRIQUES et al., 2007). A fração B3 é a de maior concentração na planta e representa a proteína aderida à parede celular com potencial para ser degradada, mas tem baixa taxa de degradação. A fração B3 apresentou correlação negativa com as frações B1+B2 no segundo e terceiro cortes, semelhante aos resultados reportados por Brennecke (2007).

Figura 3 - Frações proteicas B1+B2 do segundo (a) e terceiro (c) corte e fração proteica B3 do segundo (b) e terceiro (e) corte do capim-tanzânia em função das doses de nitrogênio (N) e combinação das doses de nitrogênio (N) e potássio (K) em solução nutritiva

Vendramini et al. (2008) avaliaram o fornecimento de nitrogênio em pastagens de Tifton 85 (*Cynodon* sp.) e azevém (*Lolium multiflorum*), e relataram que houve diminuição linear na fração B (somadas das frações B1, B2 e B3) ao aumentar as doses de nitrogênio.

O valor da fração C permaneceu ao redor de 15% quando foi empregada a menor dose de nitrogênio (2 mmol L⁻¹) e próximo a 4% com o emprego das mais elevadas doses (26 e 34 mmol L⁻¹). Esses resultados estão próximos à faixa descrita por Van Soest (1994), que relatou cerca de 5 a 10% do nitrogênio total das forragens como ligado a lignina e tornando-se, totalmente, insolúvel no trato gastrointestinal. Oliveira et al. (2004) trabalharam com doses de nitrogênio e observaram resultados semelhantes ao desse experimento, pois à medida que

aumentou as doses de nitrogênio, diminuiu o teor da fração C, e relataram que esse fenômeno foi desejável, uma vez que a fração C é indisponível aos animais.

Johnson et al. (2001) trabalharam com doses de nitrogênio nos atributos de produção, determinação de fibras e fracionamento de proteínas em gramíneas forrageiras tropicais (*Cynodon dactylon*; *Cynodon nlemfuensis* e *Paspalum notatum*) e observaram que com aumento nas doses de nitrogênio houve diminuição nos teores da fração C. Esses autores inferiram que as maiores doses de nitrogênio proporcionaram aumentos no tamanho da célula da planta ou na porcentagem de proteínas solúveis, que aumentou, assim como a relação folha/colmo, com maiores doses de nitrogênio.

A combinação das doses de nitrogênio e potássio influenciou o teor da fração A no terceiro corte do capim-tanzânia (Figura 4a), onde o máximo teor de 39% foi encontrado com a combinação de 20,66 e 8,27 mmol L⁻¹ de nitrogênio e potássio, respectivamente. Houve aumento de 36% nessa fração ao comparar as mínimas doses de nitrogênio e potássio (2 e 0,2 mmol L⁻¹) com as máximas (34 e 11,8 mmol L⁻¹). Em condições de elevada disponibilidade de nitrogênio, a absorção de nitrato e amônio pode exceder a capacidade de assimilação da planta e determinar acúmulo de nitrogênio inorgânico e maior valor da fração A (TAIZ; ZEIGER, 2009; FOLLETT; WILKINSON, 1995).

Figura 4 - Fração proteica A (a) em função da combinação das doses de nitrogênio (N) e potássio (K) e fração proteica C (b) em função das doses de nitrogênio (N) no terceiro corte do capim-tanzânia em solução nutritiva

Segundo Russell et al. (1992), fontes de NnP (fração A) são fundamentais para o bom funcionamento ruminal, pois os microrganismos ruminais fermentadores de carboidratos

estruturais utilizam, preferencialmente, amônia como fonte de nitrogênio. Todavia, altas proporções de NnP podem resultar em perdas de nitrogênio, caso haja deficiência de esqueletos de carbono, prontamente, disponíveis para síntese microbiana.

É importante ressaltar que foi significativa e negativa a correlação entre FDN e as frações B1+B2 e positiva entre FDN e as frações B3 e C (Tabela 2). Esse resultado, provavelmente, pode ser explicado pela maior proporção de caules encontrada quando foram empregadas as maiores doses de nitrogênio e potássio. Os caules, usualmente, apresentam maiores teores de parede celular e, conseqüentemente, maiores teores de lignina (PEIXOTO, 2011).

Tabela 2 - Correlações de Pearson para fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), proteína bruta (PB) e frações proteicas (A, B1+B2, B3 e C) do capim-tanzânia no segundo e terceiro cortes, submetido às combinações de doses de nitrogênio, potássio e boro em solução nutritiva

Segundo Corte							
	FDN	FDA	PB	A	B1+B2	B3	C
FDN	-	-	-	-	-	-	-
FDA	0,74***	-	-	-	-	-	-
PB	-0,62***	-0,68***	-	-	-	-	-
A	0,17 ^{NS}	0,17 ^{NS}	-0,14 ^{NS}	-	-	-	-
B1+B2	-0,56***	-0,42**	0,64***	-0,28**	-	-	-
B3	0,44**	0,40**	-0,75***	0,02 ^{NS}	-0,74***	-	-
C	0,40*	0,50***	-0,55***	0,19 ^{NS}	-0,30 ^{NS}	0,53***	-
Terceiro Corte							
	FDN	FDA	PB	A	B1+B2	B3	C
FDN	-	-	-	-	-	-	-
FDA	0,84***	-	-	-	-	-	-
PB	-0,61***	-0,63***	-	-	-	-	-
A	0,42***	0,43***	-0,40**	-	-	-	-
B1+B2	-0,38**	-0,42***	0,80***	-0,31*	-	-	-
B3	0,13 ^{NS}	0,17 ^{NS}	-0,61***	-0,16 ^{NS}	-0,85***	-	-
C	0,13 ^{NS}	0,24 ^{NS}	-0,47***	-0,24 ^{NS}	-0,70***	0,67***	-

*** significativo a 0,1% de probabilidade, ** significativo a 1% de probabilidade, * significativo a 5% de probabilidade e ^{NS} não significativo.

A fração A correlacionou-se, negativamente, com as frações B1+B2 e a fração C, positivamente, com a fração B3. Brennecke (2007) estudou o fracionamento de carboidratos e proteínas e a predição da proteína bruta e suas frações e das FDN e FDA de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu por uma rede neural artificial e relatou que a fração B2 apresentou

correlações negativas com a FDA e fração A e a fração B3 apresentou correlação positiva com o teor de FDN e correlação negativa com a fração B2.

Os componentes de parede celular e as frações proteicas não foram influenciados pelas doses de boro, apesar desse micronutriente estar envolvido na síntese de parede celular e no metabolismo do nitrogênio nas plantas. Uma possível explicação seria que as gramíneas têm menor exigência de boro quando comparadas às leguminosas e, além disso, as gramíneas possuem menores proporções em configurações *cis*-diol nas paredes celulares, onde pelo menos uma parte do boro é complexada.

5.4 Conclusões

A adubação potássica proporcionou aumento nos teores de FDN e FDA e diminuição na relação folha/colmo, ocorrendo decréscimo no valor nutritivo das plantas, o qual foi compensado pela maior quantidade de massa seca produzida ao combinar doses de nitrogênio e potássio. Doses mais elevadas de nitrogênio e potássio influenciaram, positivamente, as frações proteicas A, B1 e B2 e, negativamente, as frações B3 e C. As doses de boro não influenciaram os componentes de parede celular e as frações proteicas do capim-tanzânia.

Referências

- AGUIAR, R.S.; VASQUEZ, H.M.; SILVA, J.F.C. Produção e composição química-bromatológica do capim-furacão (*Panicum repens* L.) sob adubação e diferentes idades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, p. 325-333, 2000.
- ALDEN, W.G.; WHITAKER, I.A. The determinants of herbage intake by grazing sheep: the inter relationship of factors influencing herbage intake and availability. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v. 21, p. 755-766, 1970.
- ANDRADE, A.C.; FONSECA, D.M.; GOMIDE, J.A.; ALVAREZ, V.H.; MARTINS, C.E.; SOUZA, D.P.H. Produtividade e valor nutritivo do capim-elefante cv. Napier sob doses crescentes de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, p. 1589-1595, 2000.
- ANDRADE, A.C.; FONSECA, D.M.; QUEIROZ, D.S.; SALGADO, L.T.; CECON, P.R. Adubação nitrogenada e potássica em capim-elefante. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, p. 1643-1651, 2003.
- BALSALOBRE, M.A.A.; CORSI, M.; SANTOS, P.M.; VIEIRA, I.; CÁRDENAS, R.R. Composição química e fracionamento do nitrogênio e dos carboidratos do capim-tanzânia

irrigado sob três níveis de resíduo pós-pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, p. 519-528, 2003.

BOTREL, M.A.; PEREIRA, A.V.; FREITAS, V.P. Potencial forrageiro de novos clones de capim-elefante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, p. 334-340, 2000.

BRÂNCIO, P.A.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; EUCLIDES, V.P.B.; REGAZZI, A.J.; ALMEIDA, R.G.; FONSECA, D.M.; BARBOSA, R.A. Avaliação de três cultivares de *Panicum maximum* Jacq. sob pastejo: composição química e digestibilidade da forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, p.1605-1613, 2002.

BRENNECKE, K. **Fracionamento de carboidratos e proteínas e a predição da proteína bruta e suas frações e das fibras em detergente neutro e ácido de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu por uma rede neural artificial**. 2007. 138p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2007.

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

CÓSER, A.C.; MARTINS, C.E.; DERESZ, F.; FREITAS, A.F.; PACIULLO, D.S.C.; ALENCAR, C.A.B.; VÍTOR, C.M.T. Produção de forragem e valor nutritivo do capim-elefante, irrigado durante a época seca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, p. 1625-1631, 2008.

COSTA, K.A.P.; FRANÇA, A.F.S.; OLIVEIRA, I.P.; MONTEIRO, F.A.; BARIGOSSI, J.A.F. Composição química-bromatológica do capim-tanzânia em função de doses de nitrogênio, potássio e enxofre. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 5, p. 83-91, 2004.

COUTINHO FILHO, A.A.E.; RAMOS, A.K.B.; RODRIGUES, L.R.A.; QUADROS, D.G. Produção de forragem e valor nutritivo do capim-marandu submetido à adubação nitrogenada e potássica. In: SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 52., 2000, Brasília. **Anais...** Brasília, 2000. 1 CD-ROM

EICHHORN JÚNIOR, M.M.; HALLMARK, W.B. Potash boosts nutritive value and yields of Coastal bermudagrass. **Better Crops with Plant Food**, Atlanta, v. 72, p. 10-11, 1988.

FLORES, E.R.; LACA, E.A.; GRIGGS, T.C.; DEMMENT, M.W. Sward height and vertical morphological differentiation determine cattle bite dimensions. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, p. 527-532, 1993.

FOLLETT, R.F.; WILKINSON, S.R. Nutrient management of forages. In: BARNES, R.F.; MILLER, D.A.; NELSON, C.J. (Ed.). **Forages: The science of grassland agriculture**. Iowa State University Press, Ames, 1995. p. 55-82.

FONTANELI, R.S.; JACQUES, A.V.A. Melhoramento da pastagem natural: ceifa, queima, adubação, diferimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 17, p. 180-194, 1988.

GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; TEDESCO, M.J. **Princípios de fertilidade do solo**. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 277p.

GOERING, H.K.; VAN SOEST, P.J. **Forage fiber analyses (Apparatus, Reagents, Procedures, and Some Applications)**. Washington, D.C :ARS-USDA,1970. 20p. (Agricultural Handbook, 379).

HENRIQUES, L.T.; SILVA, J.F.C.; DETMANN, E.; VÁSQUEZ, H.M.; PEREIRA, O.G. Frações dos compostos nitrogenados de quatro gramíneas tropicais em diferentes idades de corte e doses de adubação nitrogenada. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 59, p. 740-748, 2007.

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

HSIAO, T.C.; HAGEMAN, R.H.; TYNER, E.H.; Effects of potassium nutrition on protein and total free aminoacids in *Zea mays*. **Crop Science**, Madison, v. 10, p. 78-82, 1970.

JOHNSON, C.R.; REILING, B.A.; MISLEVY, P.; HALL, M.B. Effects of nitrogen fertilization and harvest date on yield, digestibility, fiber, and protein fractions of tropical grasses. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 79, p. 2439-2448, 2001.

KETTERINGS, Q.M.; GODWIN, G.; CHERNEY, J.H.; KILCER, T.F. Potassium management for brown hybrid midrib sorghum x sudangrass as replacement for corn silage in the North-eastern USA. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Verlag, v. 191, p. 41-46, 2005.

KRISHNAMOORTHY, U.C.; MUSCATO, T.V.; SNIFFEN, C.J.; VAN SOEST, P.J. Nitrogen fractions in selected feedstuffs. **Journal of Dairy Science**, Lancaster, v. 65, p. 217-225, 1982.

LICITRA, G.; HERNANDEZ, T.M.; VAN SOEST, P.J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. **Animal Feed Science Technology**, Amsterdam, v. 57, p. 347-358, 1996.

LIMA, L.G.; NUSSIO, L.G.; GONÇALVES, J.R.S.; SIMAS, J.M.S.; PIRES, A.V.; SANTOS, F.A.P. Fontes de amido e proteína para vacas leiteiras em dietas à base de capim-elefante. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, p. 19-27, 2002.

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

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

MERTENS, D.R. Regulation of forage intake. In: FAJEY JUNIOR, G.C. (Ed.). **Forage Quality, evaluation, and utilization**. American Society of Agronomy, Madison, 1994. p. 450-493.

MERTENS, D. Using fiber and carbohydrate analyses to formulate dairy rations. In: INFORMATIONAL CONFERENCE WITH DAIRY AND FORAGE INDUSTRIES, 1996, Virgínia. **Proceedings...** Virgínia: US Dairy Forage Research Center, 1996. p. 81-92.

MERTENS, D.R. NDF: fiber composition and value of forages with different NDF concentrations. In: SOUTHWEST NUTRITIONAL ECOLOGY MANAGEMENT CONFERENCE, 1988, Poenix. **Proceedings...** Poenix: Arizona State University, 1998. p. 85-99.

MILFORD, R.; MINSON, D.J. Intake of tropical pasture species. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE PASTAGENS, 9., 1966, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Alarico, 1966. p. 815-822,

MONTGOMERY, D.C. **Design and analysis of experiments**. 6th. Hoboken, NJ: John Wiley, 2005. 643p.

NUSSIO, L.G.; MANZANO, R.P.; PEDREIRA, C.G.S. Valor alimentício em plantas do gênero *Cynodon*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 15., 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ/ESALQ, 1998. p. 203-242.

OLIVEIRA, R.L.; BARBOSA, M.A.A.F.; CECATO, U.; MATOS, R.C.; RODRIGUES, A.; SANTIAGO, M.S. Carbohydrate and protein fractions of Mombaça grass under diferente cutting intervals and nitrogen levels. **Biotechnology in Animal Husbandry**, Belgrade, v. 20, p. 163-167, 2004.

PEIXOTO, E.L.T. **Polpa cítrica em dietas para cordeiros**. 2011. 47p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

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

RUSSELL, J.B.; O'CONNOR, J.D.; FOX, D.G.; VAN SOEST, P.J.; SNIFFEN, C.J. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 70, p. 3551-3561, 1992.

SANTOS, P.M.; BALSALOBRE, M.A.A.; CORSI, M. Efeito da frequência de pastejo e da época do ano sobre a produção e a qualidade em *Panicum maximum* cvs. Tanzânia e Mombaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 28, p. 244-249, 1999.

SAS INSTITUTE. **SAS® 9.1.2 windows**. Cary, 2004. 2 CD-ROM.

SCHMIDT, P.; MARI, L.J.; NUSSIO, L.G.; PEDROSO, A.F.; PAZIANI, S.F.; WECHSLER, F.S. Aditivos químicos e biológicos na ensilagem de cana-de-açúcar. 1. Composição química das silagens, ingestão, digestibilidade e comportamento ingestivo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, p. 1666-1675, 2007.

SILVA, A.G.; FRANÇA, A.F.S.; MIYAGI, E.S.; MELLO, S.Q.S.; FERREIRA, J.L.; CARVALHO, E.R. Frações protéicas do capim-mombaça submetido a doses de nitrogênio em duas alturas de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 61, p. 1148-1155, 2009.

SNNIFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; VAN SOEST, P.J.; FOX, D.G.; RUSSEL, J.B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 70, p. 3562-3577, 1992.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4th ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

VAN SOEST, P.J. Use of detergents in the analysis of fibrous foods. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. **Journal of the Association of the Official Analytical Chemists**, Gaithersburg, v. 46, p. 829-835, 1963.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. Ithaca: Cornell University, 1994. 476p.

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nostarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, Lancaster, v. 74, p. 3583-3597, 1991.

VENDRAMINI, J.M.B.; SOLLENBERGER, L.E.; ADESOGAN, A.T.; DUBEUX JÚNIOR, J.C.B.; INTERRANTE JÚNIOR, S.M.; STEWART JÚNIOR, R.L.; ARTHINGTON, J.D. Protein fractions of Tifton 85 and Rye-Ryegrass due to sward management practices. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, p. 463-469, 2008.

VITOR, C.M.T.; FONSECA, D.M.; CÓSER, A.C.; MARTINS, C.E.; NASCIMENTO JRÚNIOR, D.; RIBEIRO JÚNIOR, J.I. Produção de matéria seca e valor nutritivo de pastagem de capim-elefante sob irrigação e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, p. 435-442, 2009.

YAMADA, T.B. **Boro**: Será que estamos aplicando a dose suficiente para o adequado desenvolvimento das plantas? Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fosfato, 2000. p. 1-5. (Informações Agronômicas, 90).

6 CONCLUSÕES GERAIS

A interação doses de nitrogênio $\times$ doses de potássio na solução nutritiva mostrou significância para as variáveis número de perfilhos, número de folhas, área foliar total, valor SPAD, massa seca da parte aérea e concentração de nitrogênio, potássio e boro no capim-tanzânia.

A combinação de nitrogênio com potássio maximizou a produção de massa seca do sistema radicular, o comprimento e a superfície totais e minimizou o comprimento e a superfície específicos das raízes. As concentrações de nitrato e amônio no sistema radicular aumentaram com a combinação de doses de nitrogênio com doses de potássio, e a maior concentração foi o de amônio.

Os teores de FDN e FDA aumentaram com as doses de potássio e a relação FE+LM/CB diminuiu com as doses de potássio. O teor de PB aumentou com as doses de nitrogênio e diminuiu com as doses de potássio. As frações B3 e C diminuíram com as doses de nitrogênio e potássio, e as frações A e B1+B2 aumentaram com as doses de nitrogênio e potássio.

O boro interferiu na concentração de nitrogênio, potássio e boro no tecido vegetal da parte aérea, e não influenciou a produção de massa seca, os aspectos morfológicos da parte aérea e das raízes e os componentes de parede celular e frações proteicas do capim-tanzânia.

O suprimento de potássio maximizou os efeitos da adubação nitrogenada na produção da planta tanto da parte aérea, quanto do sistema radicular. Altas doses de nitrogênio na ausência de potássio promoveram desequilíbrio nutricional da planta, mostrando com isso a dependência desses dois nutrientes.