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

**Suprimento combinado de fósforo e magnésio para a produção e
nutrição do capim-Tanzânia**

Jackson Locks Lange

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

Piracicaba
2007

Jackson Locks Lange
Engenheiro Agrônomo

**Suprimento combinado de fósforo e magnésio para a produção e nutrição do
capim-Tanzânia**

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

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

**Piracicaba
2007**

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

Lange, Jackson Locks

Suprimento combinado de fósforo e magnésio para a produção e nutrição do capim-Tanzânia / Jackson Locks Lange. - - Piracicaba, 2007.
78 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
Bibliografia.

1. Capim-Tanzânia 2. Fósforo 3. Magnésio 4. Nutrição vegetal 5. Raízes 6. Solução nutritiva I. Título

CDD 633.2

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

A **Deus**, por estar sempre ao meu lado.

Aos meus pais, Iliseo Fornari Lange e Iva Ana Locks Lange, pela confiança e apoio durante toda a minha vida.

AGRADEÇO

À toda a minha família.

OFEREÇO

À Lilian, por sua compreensão e ajuda.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida.

Aos meus pais, Iliseo Fornari Lange e Iva Ana Locks Lange, pelo eterno apoio, carinho e incentivo.

Ao estimado professor Dr. Francisco Antonio Monteiro pela orientação, paciência, amizade e confiança durante essa fase de minha vida.

A todos os professores do Departamento de Ciência do Solo e, em especial aos professores Dr. Antônio Roque Dechen e Dr. Quirino Augusto de Camargo Carmello.

Às funcionárias do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da ESALQ/USP, Edinéia Cristina Scervino Mondoni, Lúcia Helena Spessoto Pavan Forti, Lurdes Aparecida Dário de Gonzáles, Nivanda Maria de Moura Ruiz e Sueli Maria Amaral Campos Bovi, pelo auxílio durante as análises químicas das plantas.

Aos estagiários de Nutrição Mineral de Plantas, Alexandre Guariento Ribeiro Braga, Camila Andrea de Souza, Carolina Amanda Wippich Andrade, Mariana Pompêo de Camargo Gallo, Renata Novelli Kairof, Rodrigo Shioga Fernandes, Saulo de Castro Mendes, Soraya Dias Pires e Thaís Fernanda Liberali.

Aos amigos Ana Paula Korndorfer, Anderson Lange, Carlos Zurita Cano, Gilberto Nava, Gilmar Ribeiro Nachtigall, João Nunes de Carvalho, Leandro Bagdam, Marcelo Benedett, Robson Rolland Barizon e Stoécio Malta Ferreira Maia pela amizade e convivência fraterna.

Aos colegas de pós-graduação Cristiane Prezotto Silveira, Daniel Manfredini, Daniela Alves de Oliveira, Dylnei Consolmagno Neto, Edna Maria Bonfim da Silva, Fabiano Daniel De Bona, Haroldo Cornellis Hoogerheide, José Olímpio de Souza Júnior, Karina Batista, Lillian Pittol Firme, Lúcia Pittol Firme, Magnus Dall'Igna Deon, Simeire Aparecida Manarin e Suzana Pereira de Melo.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e ao Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas por me acolher.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro para execução deste trabalho.

Aos meus tios Itamar, Osni e Sedeni Locks, pelo apoio financeiro para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO.....	9
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1 Capim-Tanzânia.....	11
2.2 Fósforo	12
2.3 Magnésio.....	14
2.4 Interação fósforo x magnésio	16
3 MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 Local do experimento e espécie.....	17
3.2 Instalação e condução do experimento.....	17
3.3 Soluções nutritivas	19
3.4 Contagem de folhas e perfilhos.....	20
3.5 Leitura SPAD	21
3.6 Colheita e separação das partes da planta	21
3.7 Área foliar	22
3.8 Secagem, pesagem e moagem do material.....	22
3.9 Medições radiculares	22
3.10 Determinação da concentração de nutrientes.....	23
3.11 Análises estatísticas.....	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1 Número de folhas	24
4.2 Número de perfilhos	25
4.3 Unidades SPAD	29
4.4 Área foliar	30
4.5 Produção de massa seca da parte aérea.....	33
4.6 Sistema radicular.....	39
4.6.1 Produção de massa seca de raízes	39
4.6.2 Superfície e comprimento radiculares.....	41

4.6.3 Superfície e comprimento radiculares específicos	42
4.6.4 Concentração de fósforo nas raízes	44
4.6.5 Concentração de magnésio nas raízes	46
4.7 Concentração de nutrientes nas lâminas de folhas recém-expandidas	47
4.7.1 Fósforo	47
4.7.2 Magnésio	51
4.7.3 Potássio	54
4.7.4 Cálcio	56
4.7.5 Zinco	57
4.8 Concentração conjunta de potássio, magnésio e cálcio na parte aérea	60
4.9 Sintomas visuais	63
5 CONCLUSÕES	67
REFERÊNCIAS	68

RESUMO

Suprimento combinado de fósforo e magnésio para a produção e nutrição do capim-Tanzânia

Em razão do potencial produtivo e do possível alto valor nutricional, o capim-Tanzânia é um dos cultivares de destaque da espécie *Panicum maximum* na pecuária brasileira. É caracterizado como relativamente exigente em fertilidade do solo. Objetivou-se avaliar as respostas do capim-Tanzânia ao fornecimento de combinações de doses de fósforo e magnésio, quanto ao número de folhas e perfilhos, unidades SPAD, área foliar, produção de massa seca da parte aérea e das raízes, superfície e comprimento radiculares, superfície e comprimento radiculares específicos, concentrações de fósforo, magnésio, cálcio, potássio e zinco nas folhas diagnósticas, bem como de fósforo e magnésio nas raízes, proporção entre os cátions magnésio, cálcio e potássio presentes na parte aérea e sintomas visuais de deficiência. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando soluções nutritivas e quartzo moído como substrato, no período de outubro de 2005 a janeiro de 2006, no município de Piracicaba, Estado de São Paulo. O delineamento estatístico constituiu-se de um fatorial 5^2 fracionado, com cinco doses de fósforo (0,20; 0,60; 1,00; 1,40 e 1,80 mmol L⁻¹) combinadas com cinco de magnésio (0,05; 0,70; 1,35; 2,00 e 2,65 mmol L⁻¹). Aos 29 dias após o transplante das mudas foi realizado o primeiro corte e 29 dias após o primeiro foi realizado o segundo. A parte aérea das plantas foi separada em folhas emergentes, lâminas de folhas recém-expandidas (folhas diagnósticas), lâminas de folhas maduras e colmos mais bainhas. No segundo corte realizou-se também a separação das raízes do quartzo moído. As combinações de doses de fósforo e magnésio somente foram determinantes no segundo crescimento avaliado para a área foliar, massa seca da parte aérea e de raízes, concentração de fósforo nas lâminas de folhas diagnósticas bem como, comprimento, superfície específica, concentração de fósforo e de magnésio nas raízes do capim. As doses de fósforo, isoladamente, influenciaram o número de folhas e perfilhos nos dois cortes avaliados, a leitura SPAD, a área foliar, a massa seca da parte aérea e a concentração de fósforo, no primeiro corte avaliado enquanto, no segundo corte alteraram o comprimento radicular específico e as concentrações de cálcio e zinco. As doses de magnésio influenciaram, isoladamente, o valor SPAD, a massa seca da parte aérea e as concentrações de fósforo, potássio e magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas no primeiro corte do capim, e no segundo corte a influência das doses ocorreu nas concentrações de potássio, magnésio e zinco nas lâminas de folhas recém-expandidas. As máximas respostas do capim-Tanzânia às aplicações de fósforo e magnésio ocorreram em doses superiores a 1,40 mmol L⁻¹ e 2,00 mmol L⁻¹, respectivamente. A participação do magnésio na soma total de cátions das plantas simultânea às máximas respostas situou-se entre 22 e 25%. Foram observados sintomas visuais de deficiências nas mais baixas doses de fósforo e magnésio.

Palavras-chave: Antagonismo; Gramínea forrageira; Macronutrientes; *Panicum maximum*; Raízes; Solução nutritiva

ABSTRACT

Combined supply of phosphorus and magnesium for Tanzania grass production and mineral nutrition

Due to the potential for high yield and nutritional value, Tanzania grass stands out as an excellent option cultivar of the *Panicum maximum* specie to the Brazilian livestock production. It is known that this grass usually need high soil fertility. The objective was to evaluate the response of Tanzania grass to combinations of phosphorus and magnesium rates, in relation to the number of leaves and tillers, SPAD, leaf area, shoot dry mass production, root surface and length, specific root surface and length, concentration of phosphorus, magnesium, calcium, potassium and zinc in the diagnostic leaves as well as the concentration of phosphorus and magnesium in the roots, proportion among cations magnesium, calcium and potassium in the shoots and visual symptoms related to the supply of these nutrients. The experiment was carried out in a greenhouse, by using nutrient solutions in pots containing ground quartz as substrate, from October 2005 to January 2006, at Piracicaba, State of São Paulo. A fractioned 5² factorial was used, with five rates of phosphorus (0.20; 0.60; 1.00; 1.40 and 1.80 mmol L⁻¹) combined with five rates of magnesium (0.05; 0.70; 1.35; 2.00 and 2.65 mmol L⁻¹). The first harvest was done 29 days after the seedlings transplanting to the pots and the second harvest was also 29 days after the first one. Just after harvesting, the shoots of the plants were separated in emergent leaves, newly expanded leaves lamina (diagnostic leaves), mature leaves lamina and culms plus sheaths. After the second harvest the roots were separated from the ground quartz. The combinations of phosphorus and magnesium were determinant, only at the second harvest, for leaf area, shoot and roots dry mass production, phosphorus concentration in the diagnostic leaves as well as roots length, specific surface and phosphorus and magnesium concentrations. At the first harvest, phosphorus rates changed the number of tillers and leaves on both harvests, the SPAD value, leaf area, shoot dry mass production and the phosphorus concentration and, at the second harvest the specific root length and calcium and zinc concentrations. The magnesium supply influenced the SPAD value, shoot dry mass production and the phosphorus, magnesium and potassium in the diagnostic leaves at the first harvest and, at the second harvest, it resulted in changes in the magnesium, potassium and zinc concentrations in the diagnostic leaves. The maximum yields of Tanzania grass were achieved with the supply above 1.40 mmol L⁻¹ and 2.00 mmol L⁻¹ of phosphorus and magnesium, respectively. The magnesium proportion in the total cations sum in the shoot, corresponding to the highest yields, was around 22 and 25%. Visual symptoms of phosphorus and magnesium deficiencies were observed at the lowest rates of both nutrients supplied to the plants.

keywords: Antagonism; Forage grass; Macronutrients; Nutrient solution; *Panicum maximum*; Roots

1 INTRODUÇÃO

As pastagens, naturais ou cultivadas, correspondem a aproximadamente 55% dos 354 milhões de hectares agricultáveis que o Brasil dispõe. Embora a grande maioria dessas pastagens seja formada com espécies do gênero *Brachiaria*, o gênero *Panicum*, e em especial a espécie *Panicum maximum* Jacq., tem alcançado expressivo destaque no cenário nacional de pastagens cultivadas.

O capim-Tanzânia (*Panicum maximum* cv. Tanzânia) destaca-se por ser um dos mais utilizados atualmente nos sistemas intensivos de produção de forragem devido a características como produtividade, qualidade e aceitabilidade pelos animais. Esse capim desenvolve-se adequadamente em solos profundos, com boa drenagem e de média a alta fertilidade.

Para que as plantas forrageiras apresentem desenvolvimento satisfatório, um dos requisitos necessários é que a nutrição mineral seja adequada, para que os nutrientes sejam disponibilizados durante os estádios de desenvolvimento de forma que os processos fisiológicos e produtivos sejam adequados. A normal nutrição mineral poderá, conseqüentemente, resultar em incremento na produtividade das plantas forrageiras, aumentando a sustentabilidade do sistema.

Os solos de regiões tropicais, como é o caso das áreas onde as pastagens encontram-se implantadas no Brasil, caracterizam-se por apresentarem elevado grau de intemperização e, por conseqüência, reduzida fertilidade. Estes solos apresentam, geralmente, baixos teores de fósforo disponível, por ser facilmente adsorvido a óxidos e ferro e alumínio e argilas, o que torna necessário realizar fertilizações fosfatadas. Por outro lado, em grande parte dos casos, ocorrem características físicas extremamente favoráveis à utilização desses solos para fins agrícolas.

O fósforo participa na formação de membranas celulares (fosfolipídios), ácidos nucléicos e compostos como o ATP e ADP e conseqüentemente de vários processos metabólicos nas plantas como: fotossíntese, síntese de carboidratos e proteínas, lipídeos e absorção ativa de nutrientes.

Decorrente da baixa disponibilidade do fósforo nos solos associada à importância que este nutriente tem nos processos de armazenamento e transferência

de energia que envolve a planta, é de se esperar que na sua deficiência as plantas reduzam o desenvolvimento, fato que é amplamente comprovado na literatura.

O magnésio é amplamente conhecido por ser o composto central da molécula da clorofila e é associado fortemente à ativação de várias enzimas presentes nas plantas. Dentre estas enzimas destacam-se as fosforilativas, que incorporam e/ou transferem o fósforo inorgânico por meio da formação de uma ponte entre o magnésio e moléculas de ATP e ADP. Sua deficiência provoca a degradação das moléculas de clorofila e, devido a sua mobilidade na planta, resulta em clorose inicialmente nas folhas mais velhas progredindo até uma clorose generalizada. O magnésio é muito pouco estudado isoladamente por ser adicionado ao solo através de corretivos de acidez, dos quais o magnésio é um dos constituintes.

Gramíneas forrageiras exigem teores de magnésio no solo relativamente baixos para seu desenvolvimento adequado. Os animais necessitam em sua dieta de concentrações mínimas de magnésio e, nos casos onde esta concentração é muito reduzida pode ocorrer hipomagnesemia também conhecida como “tetania das pastagens”.

A interação entre fósforo e magnésio deve-se à íntima relação que um nutriente tem com o outro nos papéis energéticos na planta. Como a transferência energética é de fundamental importância para os processos de fotossíntese, síntese de carboidratos, lipídeos e proteínas, dentre outros, tanto o magnésio quanto o fósforo devem estar presentes para que as plantas desenvolvam-se adequadamente.

Objetivou-se avaliar o fornecimento de combinações de doses de fósforo e magnésio quanto ao número de folhas e perfilhos, unidades SPAD, área foliar, produção de massa seca da parte aérea e de raízes, superfície e comprimento radiculares, superfície e comprimento radiculares específicos, concentrações de fósforo e magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas e raízes, concentrações de potássio, cálcio e zinco nas lâminas de folhas recém-expandidas, a proporção entre os cátions magnésio, cálcio e potássio nas lâminas de folhas recém-expandidas e sintomas visuais em *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Capim-Tanzânia

Os capins do gênero *Panicum* sempre despertaram grande interesse no Brasil, tanto por parte de produtores como de pesquisadores, devido aos altos rendimentos de massa seca, bem como a qualidade nutricional que oferecem, quando manejados de forma adequada (JANK, 1995; SILVA, 2004).

A espécie *Panicum maximum* é originária da África e sua introdução nas Américas ocorreu através dos navios de escravos vindos daquele continente e, devido a sua alta produtividade e persistência, espalhou-se rapidamente pelo Brasil (JANK, 1994). O cultivar Tanzânia foi lançado em 1990 pelo Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (atualmente Embrapa Gado de Corte) em conjunto com diversas outras instituições e é resultado da seleção direta do banco de germoplasma de Orston coletado na Tanzânia (JANK, 1995).

O capim-Tanzânia é uma planta de hábito de crescimento cespitoso que apresenta folhas decumbentes. Apresenta lâminas e bainhas glabras, com largura média de 2,6 cm e sem cerosidade. Possui colmos levemente arroxeados e sua inflorescência é do tipo panícula, com ramificações primárias e secundárias apenas em sua base. Suas espiguetas são arroxeadas, glabras e uniformemente distribuídas (SAVIDAN; JANK; COSTA, 1990).

Com a utilização do capim-Tanzânia, que apresenta boa aceitabilidade pelos animais, é possível obter maiores ganhos de peso por animal, assim como aumentos relativos nas taxas de lotação das pastagens bem como, boas produtividades de massa seca e cobertura do solo, quando bem manejado (ARONOVICH, 1995). Ruggieri et al. (1997) compararam os capins Tanzânia, Colonião (*Panicum maximum*) e Marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) e concluíram que o Tanzânia apresentou maiores produções de massa seca.

O capim-Tanzânia apresenta alta resposta a fertilizantes e baixa tolerância a solos ácidos e de baixa fertilidade (CORREA; SANTOS, 2005). Werner et al. (1996) e Souza e Lobato (2004) dividiram as gramíneas em três grupos segundo o nível de

exigência em fertilidade do solo e ambos classificaram o capim-Tanzânia no grupo das gramíneas muito exigentes.

Corsi (1988), descrevendo cultivares da espécie *Panicum maximum*, considerou o capim-Tanzânia como o melhor em termos de qualidade para engorda de bovinos na região do Brasil Central. Jank (1994) verificou que o capim-Tanzânia pode apresentar produtividades médias entre 20 e 30 Mg ha⁻¹, com produção de massa seca 86% superior a do capim-Colônia.

2.2 Fósforo

Segundo Marschner (1995), o fósforo é absorvido pelas plantas nas formas iônicas H₂PO₄⁻ e HPO₄²⁻ sendo a primeira a preferencial, de forma ativa, com gasto de energia e contra gradiente de concentração. Este mesmo autor, relata que o fósforo tem fundamental importância para as plantas por participar na formação de membranas celulares (fosfolipídios), ácidos nucleicos e compostos que armazenam energia metabólica (como o ATP) e de uma série de processos metabólicos dos vegetais tais como: fotossíntese, síntese de carboidratos e proteínas, lipídeos e absorção ativa de nutrientes. A concentração de fósforo nas plantas, de uma forma geral, encontra-se na faixa de 1 a 5 g kg⁻¹ no estágio vegetativo e concentrações acima de 10 g kg⁻¹ determinam fitotoxicidade às plantas (MARSCHNER, 1995).

Werner (1986) relatou que o fósforo proporciona às forrageiras bom desenvolvimento radicular e que, o suprimento das plantas com doses elevadas de fósforo proporcionam maior aparecimento de perfilhos.

De acordo com Werner (1986) e Souza e Lobato (2004), o fósforo é o nutriente mais importante para a formação das pastagens. Lobato, Kornelius e Sanzonowicz (1986) relataram que um dos maiores problemas dos Oxisolos e Ultisolos brasileiros reside nos níveis extremamente baixos de fósforo disponível, que é agravado pela alta capacidade de adsorção que esses solos apresentam.

Santos et al. (2002), buscando determinar a quantidade necessária de fósforo para 90% de rendimento de massa seca da parte aérea, nas plantas e no solo, em capim-Braquiária (*Brachiaria decumbens*) e capim-Mombaça (*Panicum maximum*),

verificaram que para as mesmas produtividades relativas a quantidade de fósforo suprida no início do desenvolvimento das plantas foi maior.

Manarin (2005), trabalhando com capim-Tanzânia em solução nutritiva com cinco doses de fósforo (0,2; 0,6; 1,0; 1,4 e 1,8 mmol L⁻¹), verificou que as doses de fósforo utilizadas foram determinantes para o número de perfilhos e de folhas, bem como para as concentrações de fósforo e zinco nas lâminas de folhas recém-expandidas, em ambos os crescimentos analisados. O suprimento por fósforo foi determinante no primeiro crescimento, para a área foliar e, no segundo crescimento, para a produção de massa seca da parte aérea e a concentração de fósforo nas raízes. A carência de fósforo manifestou-se pelo porte menor das plantas em relação às bem nutridas.

Oliveira et al. (2004), estudando adubação fosfatada e regimes de corte na produtividade e perfilhamento de capim-de-raiz (*Chloris orthonoton*) e utilizando doses de P₂O₅ de 0, 100 e 200 kg ha⁻¹, verificaram que quando nas doses mais elevadas (100 e 200 kg ha⁻¹) a produção de massa seca foi maior.

Com o objetivo de verificar as doses críticas de fósforo para o estabelecimento de forrageiras, Mesquita et al. (2004) avaliaram três gramíneas (*Panicum maximum* cv. Mombaça, *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e *Andropogon gayanus* cv. Planaltina) em três solos (Latosolo Vermelho-Amarelo distroférico, Latossolo Vermelho distroférico e Neossolo Quartzarênico) combinados com cinco doses de fósforo. Observaram que nos três crescimentos avaliados, a aplicação de fósforo favoreceu a produção de massa seca, tanto da parte aérea quanto do sistema radicular.

Meirelles et al. (1988), estudando o efeito da adubação fosfatada, equivalente a 0; 25; 50; 75; 100; 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em condição de casa de vegetação, no capim-Colonião em um Latossolo Vermelho-escuro e um Podzólico Vermelho-Amarelo verificaram que o fósforo foi determinante para a produção de perfilhos e de massa seca da parte aérea nos dois crescimentos avaliados da forrageira.

Gheri et al. (2000), avaliando o efeito da aplicação de fósforo em solos de textura argilosa, média e arenosa cultivados com capim-Tanzânia, nas doses 0, 35, 70, 105 e 140 mg dm⁻³, verificaram que independentemente da textura do solo houve

incremento na produção de massa seca até a dose de fósforo (P) de 35 mg dm⁻³, nos dois crescimentos avaliados.

Estudando o desempenho do capim-Colonião e do capim-Braquiária em solução nutritiva, com três doses de fósforo (3,1; 15,5 e 31,0 mg L⁻¹) e dez épocas de colheita, Rossi (1999) verificou aumentos na produção de massa seca da parte aérea e nas raízes, em função das doses de fósforo. Ressaltou que o capim-Colonião, diferentemente do capim-Braquiária, necessita de adequado suprimento de fósforo desde as épocas iniciais para que o desenvolvimento não seja comprometido.

2.3 Magnésio

Pelo fato de estar presente em grande parte dos corretivos de acidez do solo, não é comum a ocorrência de problemas de ordem nutricional em áreas manejadas adequadamente com aplicações periódicas de calcário ao solo. As plantas absorvem este nutriente na forma do cátion bivalente Mg²⁺ e, de acordo com Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), quando sua ocorrência no solo for baixa, sua absorção poderá ser inibida competitivamente pelo potássio.

O magnésio desempenha papel fundamental para a sobrevivência das plantas por estar presente na molécula de clorofila, onde ocupa o centro de uma estrutura planar formada por um anel tetrapirrólico, participar nos processos de transferência de energia pela ativação de enzimas, interferir na absorção de outros nutrientes (como o fósforo e o potássio) e atuar no balanço hídrico da planta (MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; MENGEL; KIRKBY, 2001).

Segundo Marschner (1995), as plantas apresentam concentrações de magnésio variando de 1,5 a 3,5 g kg⁻¹ da massa seca nas partes vegetativas, sendo estas concentrações consideradas adequadas para a maioria das plantas.

Grande parte do magnésio presente nas plantas está envolvido na regulação do pH celular e no balanço catiônico, podendo ser acumulado no vacúolo celular para que a homeostase seja mantida. É elemento ligante na agregação de ribossomos onde ocorre a síntese de proteínas (MARSCHNER, 1995).

Na deficiência de magnésio, a planta pode incrementar a mobilização do nutriente das folhas velhas para as novas. Isso explica o fato de os sintomas de

deficiência aparecerem inicialmente em folhas velhas, como clorose internerval. Esta clorose é devida à degradação de proteínas que podem ser, por vezes, estruturais de tilacóides (MARSCHNER, 1995).

Trabalhando com espécies e cultivares que são relativamente capazes de absorver e acumular altas quantidades de magnésio relacionadas às características genéticas de cada uma, em uma série de experimentos, Sabreen et al. (2003) relataram que existem diferenças genéticas que controlam a absorção e o acúmulo de magnésio.

Manfredini, Consolmagno Neto e Monteiro (2005), avaliando a relação entre potássio e magnésio em solução nutritiva, e suas influências na área foliar do capim-Tanzânia, em dois períodos de crescimento, observaram que a área foliar aumentou linearmente, conforme as doses de magnésio foram aumentadas.

Pereira (2001), estudando diversos parâmetros produtivos em *Panicum maximum* cv. Mombaça cultivado em solução nutritiva com doses de potássio e magnésio, verificou que a produção de massa seca da parte aérea e das raízes, o número de perfilhos e a área foliar das plantas são altamente dependentes tanto do suprimento de potássio quanto de magnésio e que o fornecimento de magnésio na solução alterou positivamente o valor SPAD.

Corrêa (1996), trabalhando com três cultivares de *Panicum maximum* e doses de nitrogênio (42; 210 e 378 mg L⁻¹) e de magnésio (4,8 e 48 mg L⁻¹), observou que o magnésio influenciou na produção de massa seca, quando o nitrogênio foi fornecido em doses altas.

Mitidieri (1995), estudando o efeito da aplicação de calcário em três cultivares da espécie *Panicum maximum* (Colonião, Centenário e Vencedor), verificou que a concentração de magnésio na parte aérea aumentou conforme a dose de calcário foi aumentada. As concentrações de magnésio variaram entre 2,1 e 7,2 g kg⁻¹ e entre 2,1 e 5,7 g kg⁻¹ no primeiro e segundo crescimentos avaliados, respectivamente.

Em um estudo com capim-Mombaça, em solução nutritiva, Pereira (2001) encontrou concentrações de magnésio variando entre 0,48 e 6,67 g kg⁻¹ e de 0,24 e 3,80 g kg⁻¹ no primeiro e segundo crescimentos avaliados, respectivamente. Nos tratamentos onde o magnésio foi omitido da solução nutritiva, as plantas apresentaram as menores concentração deste nutriente na parte aérea.

2.4 Interação fósforo x magnésio

O magnésio participa nos processos da vida das plantas como ativador de muitas enzimas e, ainda quase todas as enzimas fosforilativas, tanto de incorporação ou transferência de fósforo inorgânico, dependem da presença desse macronutriente que é capaz de formar uma ponte entre o ATP e/ou ADP e a molécula da enzima. Essa transferência de energia é fundamental para os processos de fotossíntese, respiração, reações de síntese de compostos orgânicos, absorção iônica e trabalho mecânico como expansão radicular (BERGMANN, 1992; MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA, 2006).

A absorção de H_2PO_4^- é máxima quando o magnésio se faz presente na superfície radicular, por se tratar de um carregador de fósforo, como resultado da participação do magnésio na ativação de ATPases da membrana implicadas na absorção iônica (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; MALAVOLTA, 2006).

A interação existente entre fósforo e magnésio foi estudada por diversos autores, que comprovaram em diversas culturas o fato de um destes nutrientes auxiliar o outro e juntos proporcionarem respostas produtivas e nutricionais desejáveis (FAGERIA, 1983; SKINNER; MATTHEWS, 1990; REINBOTT; BLEVINS, 1991; REINBOTT; BLEVINS, 1994; REINBOTT; BLEVINS, 1997; FAGERIA, 2001; SALEQUE et al., 2001).

Andrew e Robins (1971) observaram, em um estudo para avaliar a adubação fosfatada em um solo sódico com baixo teor de fósforo, com nove gramíneas tropicais, que ao aumentar as doses de fósforo, as concentrações de magnésio nas forrageiras foram incrementadas.

Almeida (1998), trabalhando com combinações de doses de fósforo (3,1; 15,5 e 31 mg L^{-1}) e magnésio (4,8; 24; 48 e 72 mg L^{-1}), na solução nutritiva, para *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria decumbens*, concluiu que o aumento de doses de magnésio possibilitou maior acúmulo de fósforo nos casos em que o fósforo não foi limitante.

Para avaliar a concentração de nutrientes na parte aérea de *Brachiaria decumbens*, em função do fornecimento de fósforo, (0; 25; 50; 100; 200; 300 e 400 kg ha^{-1}) e de magnésio (0; 40 e 80 kg ha^{-1}) em um Latossolo Amarelo coeso do recôncavo baiano Santos, Santos e Santos (2004) conduziram um experimento

verificando que as doses de fósforo combinadas às de magnésio apresentaram interação significativa para a concentração de fósforo e de magnésio na parte aérea, nos dois crescimentos avaliados.

Com o objetivo de avaliar o efeito da combinação de fósforo e magnésio (doses de P_2O_5 de 0; 25; 100; 200; 300 e 400 kg ha⁻¹ e de magnésio de 0; 40 e 80 kg ha⁻¹, nas formas de superfosfato triplo e calcário dolomítico) no estado nutricional do capim-Braquiária, em dois crescimentos, Santos e Santos (2003) verificaram que doses de P_2O_5 mais elevadas que 161 kg ha⁻¹ exerceram forte influência na absorção e concentração de magnésio nas plantas, mesmo onde o magnésio não foi adicionado. Os resultados mostraram que, com o aumento das doses de magnésio, o capim-Braquiária tende a acumular fósforo na parte aérea no primeiro crescimento.

Uma série de estudos conduzidos por Reinbott e Blevins (1994), submetendo a forrageira festuca (*Festuca arundinaceae*) a doses de fósforo e magnésio, demonstraram que o fósforo foi determinante na elevação da concentração de magnésio na parte aérea. Acrescentaram que quando o fósforo é suprido às plantas, mesmo que em pequenas quantidades, tanto a absorção como a concentração de magnésio é incrementada.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento e espécie

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada no Departamento de Ciência do Solo, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, em Piracicaba, Estado de São Paulo. Foi estudada a forrageira *Panicum maximum* Jacq. cultivar Tanzânia.

3.2 Instalação e condução do experimento

Para a obtenção das mudas do capim, as sementes foram colocadas em bandejas plásticas, contendo areia lavada com água corrente e água desionizada, no

dia 24 de outubro de 2005. Ao atingirem a altura aproximada de 5 cm (Figura 1), quinze plântulas foram transferidas para cada vaso.

Figura 1 - Bandeja com mudas e aspecto das mudas no momento do transplante para os vasos

As plântulas foram transplantadas para vasos plásticos com capacidade de 3,6 litros. Quartzito moído (sílica), com grânulos de aproximadamente 3 mm, foi utilizado como substrato, o qual sofreu múltiplas lavagens com água corrente e desionizada, antes do início do experimento.

Durante quatro dias após o transplante, cada vaso recebeu um litro de solução nutritiva com concentração de 25% da definitiva para cada combinação de fósforo e magnésio. No quinto dia, essa solução foi substituída pelas soluções definitivas e as soluções foram trocadas a cada 14 dias.

Foram realizados desbastes até que permanecessem cinco mudas por vaso, iniciando-se com a retirada de três mudas por dia até atingir nove mudas por vaso, quando então foram desbastadas duas mudas por dia até que ficassem cinco plantas por vaso.

As soluções foram drenadas e recolocadas três vezes ao dia, objetivando-se a aeração das raízes, e no início do período noturno foram drenadas para recipientes de vidro, onde permaneciam até a manhã seguinte. O volume de um litro foi completado com água desionizada, em cada manhã e durante o dia, sempre que necessário.

3.3 Soluções nutritivas

Foram utilizadas cinco doses de fósforo (0,2; 0,6; 1,0; 1,4 e 1,8 mmol L⁻¹) combinadas com cinco doses de magnésio (0,05; 0,70; 1,35; 2,00 e 2,65 mmol L⁻¹) na solução nutritiva, em um esquema fatorial 5² fracionado (LITTELL; MOTT, 1975) perfazendo o total de 13 combinações (0,2P e 0,05Mg; 0,2P e 1,35Mg; 0,2P e 2,65Mg; 0,6P e 0,70Mg; 0,6P e 2,00Mg; 1,0P e 0,05Mg; 1,0P e 1,35Mg; 1,0P e 2,65Mg; 1,4P e 0,70Mg; 1,4P e 2,00Mg; 1,8P e 0,05Mg; 1,8P e 1,35Mg; 1,8P e 2,65Mg), como mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Esquema do fatorial 5² incompleto empregado no experimento

As soluções foram preparadas a partir da solução completa de Sarruge (1975), devidamente modificada para atender as doses de fósforo e de magnésio e estão mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Volumes de solução estoque para o preparo de cada solução, de acordo com as doses de fósforo e magnésio

SOLUÇÃO*	0,20P			0,60P		1,00P			1,40P		1,80P		
	0,05Mg	1,35Mg	2,65Mg	0,70Mg	2,00Mg	0,05Mg	1,35Mg	2,65Mg	0,70Mg	2,00Mg	0,05Mg	1,35Mg	2,65Mg
KH₂PO₄	0,20**	0,20	0,20	0,60	0,60	1,00	1,00	1,00	1,40	1,40	1,80	1,80	1,80
KCl	5,80	5,80	5,80	5,40	5,40	5,00	5,00	5,00	4,60	4,60	4,20	4,20	4,20
Ca(NO₃)₂	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
MgCl₂	0,05	1,35	2,65	0,70	2,00	0,05	1,35	2,65	0,70	2,00	0,05	1,35	2,65
NH₄NO₃	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
(NH₄)₂SO₄	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Micro-Fe***	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Fe-EDTA****	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Potencial Osmótico	0,086	0,092	0,099	0,089	0,096	0,086	0,092	0,099	0,089	0,096	0,086	0,092	0,099

* A concentração de todas as soluções estoque, exceto as envolvendo micronutrientes, é de 1 mol L⁻¹.

** Volume em mililitro para cada litro de solução nutritiva.

*** A solução estoque de micronutrientes teve a seguinte composição (g L⁻¹): H₃BO₃ = 2,86; MnCl₂.4H₂O = 1,81; ZnCl₂ = 0,10; CuCl₂ = 0,10 e H₂MoO₄.4H₂O = 0,02.

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

Trabalhos como os de Abreu (1994), Monteiro et al. (1995) e Santos (2003) demonstraram que a utilização de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ em determinada proporção conduzem as plantas forrageiras a melhor desempenho. Assim, utilizou-se a proporção de N-NO₃⁻:N-NH₄⁺ de 70:30 na solução nutritiva.

Nos tratamentos com as doses de fósforo de 1,4 mmol L⁻¹ e 1,8 mmol L⁻¹, surgiram sintomas visuais de deficiência de zinco, aos 20 dias após o primeiro corte. Assim foi acrescentado 1 mL de solução de ZnCl₂, 21 dias após o primeiro corte, com concentração de 0,10 g L⁻¹, a cada solução empregada em cada vaso do experimento.

3.4 Contagem de folhas e perfilhos

No momento de cada corte, foram contadas a quantidade de folhas e perfilhos de cada vaso. O colmo principal (planta-mãe) também foi incluído na contagem dos perfilhos. Esse procedimento foi adotado no primeiro e no segundo crescimentos das plantas.

3.5 Leitura SPAD

A leitura das unidades SPAD, para avaliação indireta do teor de clorofila, foi realizada no terço médio de lâminas de folhas recém-expandidas com o uso do clorofilômetro SPAD-502 (Soil and Plant Analysis Development), aos vinte e dois dias após o transplante das plantas (MINOLTA CAMERA CORPORATION, 1989). O valor para cada unidade experimental foi obtido por meio da média entre 10 leituras realizadas em cada vaso, em conformidade com o preconizado por Santos (1997).

3.6 Colheita e separação das partes da planta

Foram realizados dois cortes nas plantas, sendo o primeiro aos 29 dias após o transplante e o segundo aos 29 dias após o primeiro corte. A parte aérea das plantas foi separada em: folhas emergentes, lâminas de folhas recém-expandidas, lâminas de folhas maduras e colmos mais bainhas, em cada crescimento (Figura 3). Após o segundo corte foi realizada a separação das raízes do substrato, utilizando água corrente e peneiras de 0,25 e 1,00 mm, para evitar perdas de material. Depois de separadas, as raízes foram lavadas com água desionizada.

Figura 3 - Esquema de separação da parte aérea do capim-Tanzânia

3.7 Área foliar

Logo após os cortes, as áreas foliares foram determinadas nas plantas colhidas com o emprego do integrador de área foliar LICOR 3100TM para que, posteriormente, a área foliar total fosse determinada.

3.8 Secagem, pesagem e moagem do material

O material colhido foi colocado para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65° C, até que atingisse massa seca constante. A seguir, o material foi pesado e moído em moinho do tipo Wiley, para a obtenção de pequenas partículas homogêneas. O material moído foi acondicionado em sacos plásticos previamente identificados e conduzido ao laboratório para a realização das determinações químicas.

3.9 Medições radiculares

Uma alíquota de aproximadamente 20% da massa total das raízes foi separada e acondicionada em copos plásticos com capacidade de 200 mL contendo água desionizada e solução de violeta genciana a 50 mg L⁻¹, para colori-las. Após 24 horas, estas raízes foram distribuídas sobre filmes plásticos transparentes, de forma que as sobreposições fossem evitadas ao máximo, para que fossem digitalizadas com o uso de “*scanner*”. As imagens digitalizadas foram processadas no aplicativo SIARCS (Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo), versão 3.0, para que o comprimento e a superfície das raízes fossem determinados, utilizando-se da metodologia recomendada por Crestana et al. (1994). Posteriormente foi determinada a massa seca das amostras, com o objetivo de corrigir os resultados para o total de massa seca de raízes. Os comprimentos e superfícies radiculares específicos foi obtido através da divisão do comprimento total das raízes pela massa seca destas.

3.10 Determinação da concentração de nutrientes

As lâminas de folhas recém-expandidas são as primeiras duas folhas com lígula visível contadas a partir do ápice das plantas forrageiras e podem ser descritas como folhas +1 e +2. Uma série de trabalhos conduzidos por Monteiro et al. (1995), Mattos (1997), Santos (1997), Abreu e Monteiro (1999), Pereira (2001), Manarin e Monteiro (2002), Mattos et al. (2002) e Monteiro (2005) apontaram as lâminas de folhas recém-expandidas como sendo as que melhor refletem o estado nutricional de várias gramíneas forrageiras tropicais, dentre os quais se encontra o capim-Tanzânia. Com base nessa constatação, optou-se por utilizar as lâminas de folhas recém-expandidas para a avaliação nutricional do capim-Tanzânia no presente experimento.

As concentrações de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, em cada fração da parte aérea e das raízes, foram determinadas a partir da digestão nítrico-perclórica, seguida pelos métodos analíticos da colorimetria do metavanadato para fósforo, fotometria de chama para potássio, espectrofotometria de absorção atômica para cálcio, magnésio e zinco, conforme Sarruge e Haag (1974).

A concentração conjunta dos cátions magnésio, cálcio e potássio foi determinada pela concentração média dos nutrientes, em $\text{mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de massa seca da parte aérea, para cada dose de magnésio empregada.

3.11 Análises estatísticas

Os resultados foram digitados em planilhas eletrônicas, para que as análises fossem realizadas com o emprego do aplicativo “Statistical Analysis System” (SAS Institute, 1996). Inicialmente foi utilizado o teste F e, para os casos de significância ($P < 0,05$) da interação entre as doses de fósforo e de magnésio, efetuou-se a análise de regressão polinomial (superfície de resposta) através do procedimento RSREG. Quando a interação entre fósforo e magnésio não foi significativa ($P > 0,05$), as análises foram realizadas isoladamente para regressão (modelos linear, quadrático ou exponencial), utilizando o procedimento GLM.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Número de folhas

A interação entre as doses de fósforo e magnésio não foi significativa, para o número total de folhas, nos dois crescimentos avaliados do capim-Tanzânia. Avaliando os efeitos isolados dos suprimentos de fósforo e magnésio constatou-se que apenas as doses de fósforo, tanto no primeiro quanto no segundo crescimento alteraram o número de folhas verdes expandidas do capim-Tanzânia. No primeiro crescimento, o número de folhas expandidas em função das doses de fósforo foi representado por equação de segundo grau (Figura 4), sendo que a dose de $1,42 \text{ mmol L}^{-1}$ proporcionou o número máximo de folhas. No segundo crescimento, os resultados do número de folhas em relação ao suprimento de fósforo se ajustaram a um modelo exponencial (Figura 5), e o número de folhas foi mais baixo na dose de $0,2 \text{ mmol L}^{-1}$ do que nas demais doses.

Figura 4 - Número de folhas no primeiro crescimento do capim-Tanzânia, em função das doses de fósforo na solução nutritiva

Manarin (2005), estudando o efeito de combinações de doses de fósforo e zinco em solução nutritiva na produção e nutrição do capim-Tanzânia, verificou que o fósforo influenciou a produção de folhas dessa forrageira, nos dois crescimentos avaliados. Também verificou que a dose responsável pela máxima produção de folhas, no primeiro

crescimento da forrageira, foi de $1,37 \text{ mmol L}^{-1}$, a qual é muito próxima de $1,42 \text{ mmol L}^{-1}$, encontrada no presente experimento.

Avaliando o efeito do fornecimento de fósforo para o capim-Marandu, em um Latossolo Vermelho-Amarelo tratado com altas doses de silício, Melo (2005) verificou que os aumentos nas doses de fósforo até 130 mg dm^{-3} de solo proporcionaram aumentos na produção de folhas em dois crescimentos do capim. Quando a dose de silício foi baixa, foi necessário aplicar fósforo na dose de 250 mg dm^{-3} para a obtenção do máximo número de folhas.

Figura 5 - Número de folhas no segundo crescimento do capim-Tanzânia, em função das doses de fósforo na solução nutritiva

4.2 Número de perfilhos

Não foi observada significância entre as doses de fósforo e de magnésio para o número de perfilhos nos dois crescimentos avaliados do capim-Tanzânia. Estudando o efeito isolado de doses de fósforo e magnésio no número total de perfilhos, observou-se que houve significância apenas para as doses de fósforo, nos dois crescimentos do capim.

O número total de perfilhos em relação as doses de fósforo, no primeiro crescimento da forrageira, foi representado por equação de segundo grau (Figura 6), sendo que a dose de $1,40 \text{ mmol L}^{-1}$ proporcionou um número máximo de perfilhos. No

segundo crescimento, o efeito das doses de fósforo no número total de perfilhos foi representado por equação exponencial (Figura 7), comprovando a necessidade do fósforo para o perfilhamento de plantas forrageiras já relatada por Werner (1986).

Figura 6 - Número de perfilhos no primeiro crescimento do capim-Tanzânia, em função das doses de fósforo na solução nutritiva

Figura 7 - Número de perfilhos no segundo crescimento do capim-Tanzânia, em função das doses de fósforo na solução nutritiva

O número total de perfilhos foi mais elevado no segundo do que no primeiro crescimento, o que pode ser explicado pelo fato da planta direcionar quantidade maior de energia no primeiro crescimento para o estabelecimento estrutura da parte aérea e de raízes, inclusive com maior número de folhas (Figura 4). No segundo crescimento, com a estrutura formada, a planta pode redirecionar energia para a formação de maior número de perfilhos e derivados deste. O corte realizado nas plantas também pode ter contribuído para o maior aparecimento de perfilhos devido a quebra da dominância apical que teria promovido a indução das gemas basais de crescimento.

O perfilhamento para espécies de gramíneas forrageiras é de suma importância. Silcock, Noble e Whalley (1976) avaliaram a importância do fósforo e do nitrogênio no desenvolvimento inicial de duas espécies nativas e duas exóticas de gramíneas e concluíram que o fósforo foi capaz de reduzir o tempo entre a emergência e o início do perfilhamento nas duas espécies exóticas. Também destacaram que essa característica pode, por vezes, ser mais desejável até mesmo que a própria produção de massa seca da parte aérea por auxiliar na perpetuação da espécie.

O fósforo contribui para o perfilhamento das gramíneas forrageiras, como observado por Monteiro et al. (1995) que verificaram, na ausência de nitrogênio e fósforo na solução nutritiva, que as plantas de capim-Marandu apresentaram desenvolvimento muito reduzido e que na ausência de fósforo não ocorreu perfilhamento das plantas, que apresentaram somente um colmo (planta-mãe) cada planta. O efeito do fósforo também foi estudado por Almeida (1998), que avaliou o suprimento combinado de fósforo e magnésio para os capins Braquiária e Marandu e verificou que o incremento na dose de fósforo proporcionou aumento do número de perfilhos, dentro das doses de magnésio, aos 67 dias após o transplante.

Mesquita et al. (2004), buscando determinar os teores críticos de fósforo para o estabelecimento de três espécies forrageiras (*Panicum maximum* cv. Mombaça, *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e *Andropogon gayanus* cv. Planaltina) em dois solos (Latossolo Vermelho-Amarelo distroférico e Latossolo Vermelho distroférico), concluíram que ocorreu aumento do perfilhamento das três espécies nos dois solos avaliados com o aumento do suprimento de fósforo.

Ao estudarem a influência do suprimento de fósforo no perfilhamento, entre outras características, do capim-de-raíz (*Chloris orthonoton*) Oliveira et al. (2004) conduziram experimento, com três doses de fósforo (P_2O_5 de 0, 100 e 200 kg ha⁻¹) e verificaram que as doses de fósforo influenciaram no perfilhamento da forrageira. Rossi e Monteiro (1999), estudando o fornecimento de fósforo em solução nutritiva (0,01 a 1,5 mmol L⁻¹) para os capins Braquiária e Colonião, verificaram que o fósforo até a dose de 0,3 mmol L⁻¹ influenciou positivamente o número de perfilhos emitidos.

Em experimento realizado com um Latossolo recebendo doses de fósforo variando de 0 a 450 mg kg⁻¹ para de gramíneas forrageiras *Panicum maximum* cv. Colonião e *Brachiaria decumbens*, Hoffmann et al. (1995) constataram que o número de perfilhos variou em função do suprimento de fósforo às plantas.

No presente estudo, a média do número de perfilhos, nas quatro maiores doses de fósforo, foi de 2,3 vezes maior comparada ao número de perfilhos emitidos na dose de 0,2 mmol L⁻¹, no primeiro crescimento avaliado das plantas. Comportamento semelhante foi encontrado por Ferreira et al. (2005), ao estudarem o perfilhamento de *Panicum maximum* cv. Mombaça relacionado a doses de fósforo (0, 30, 60, 90, 120 e 150 kg ha⁻¹), quando apenas ocorreu diferença significativa no número de perfilhos entre a não-aplicação e a dose de 30 kg ha⁻¹, sendo a dose de 30 kg ha⁻¹ semelhante às demais. Outros autores ainda relataram reduzido perfilhamento nas doses mais baixas de fósforo, comprovando a necessidade do fósforo para o perfilhamento dos capins (MESQUITA et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2004).

O efeito das doses de fósforo no perfilhamento e número de folhas da forrageira no segundo crescimento foi menos evidente quando comparado com o primeiro crescimento ocorrendo uma tendência de estabilização, o que foi representado pelo comportamento exponencial. A média do número de perfilhos, no segundo crescimento do capim, relacionada às quatro maiores doses de fósforo, foi 1,5 vezes superior a menor dose de fósforo empregada.

A menor dose de fósforo suprida às plantas não foi suficiente para que estas perfilhassem intensivamente permitindo a sobrevivência da espécie e produção de massa seca total, considerando que esta é definida, em parte, pelo número de perfilhos produzidos.

4.3 Unidades SPAD

Não foi observada significância para a interação entre as doses de fósforo e magnésio no valor SPAD, no primeiro crescimento avaliado do capim-Tanzânia. No estudo dos efeitos de fornecimento de fósforo e magnésio, isoladamente, verificou-se que ambos alteraram significativamente o valor SPAD, no primeiro crescimento avaliado. O valor SPAD apresentou comportamento quadrático para as doses de fósforo (Figura 8) e a dose de 1,21 mmol L⁻¹ foi a responsável pela expressão máxima. O comportamento apresentado para o valor SPAD foi do tipo exponencial para as doses de magnésio, conforme mostrado na Figura 9.

Figura 8 - Unidades SPAD nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Tanzânia, no primeiro crescimento, em função das doses de fósforo na solução nutritiva

Os valores SPAD variaram significativamente com as doses de fósforo o que já foi observado por Manarin (2005), em experimento com doses de fósforo e zinco em solução nutritiva para o capim-Tanzânia durante o primeiro crescimento. Essa variação obedeceu um modelo quadrático, sendo que a dose de fósforo necessária para o máximo valor de SPAD foi de 1,40 mmol L⁻¹, próxima da encontrada no presente experimento. Embora essas doses para o máximo valor SPAD sejam próximas, os valores SPAD máximos no presente experimento foram superiores aos encontrados no trabalho de Manarin (2005).

Figura 9 - Unidades SPAD nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Tanzânia, no primeiro crescimento, em função das doses de magnésio na solução nutritiva

Consolmagno Neto (2006), estudando combinações de doses de potássio (0,4; 3,2; 6,0; 8,8 e 11,6 mmol L⁻¹) e doses de magnésio iguais às do presente experimento, verificou que as doses de magnésio influenciaram significativamente o valor SPAD nos dois crescimentos analisados do capim-Tanzânia. Também verificou que os valores SPAD apresentaram comportamento linear, no primeiro crescimento, e exponencial no segundo crescimento, em relação as doses de fósforo supridas as plantas.

Pereira (2001), trabalhando com doses de magnésio (0; 1,2; 3,6; 12; 24; 36; 48 e 60 mg L⁻¹) em solução nutritiva, verificou que o valor SPAD variou de forma quadrática, no primeiro crescimento do capim-Mombaça.

4.4 Área foliar

A análise de variância revelou um comportamento diferenciado da área foliar para os dois crescimentos do capim-Tanzânia. No primeiro crescimento, estudando as doses de fósforo e magnésio isoladamente, verificou-se que apenas as doses de fósforo alteraram significativamente a área foliar do capim, com o ajuste dos resultados obedecendo a um modelo quadrático de regressão (Figura 10). A área foliar foi máxima quando o fósforo foi fornecido na dose de 1,40 mmol L⁻¹ na solução nutritiva.

Figura 10 - Área foliar do capim-Tanzânia, à época do primeiro corte, em função das doses de fósforo na solução nutritiva

Manarin (2005), fornecendo doses de fósforo (iguais a do presente experimento), verificou significância para a área foliar no primeiro corte da forrageira em relação às doses de fósforo empregadas no primeiro crescimento do capim-Tanzânia. Os resultados se ajustaram a um modelo quadrático de regressão e tendo a máxima produção de área foliar ocorrida na dose de 1,38 mmol L⁻¹, a qual é próxima da dose de 1,40 mmol L⁻¹ necessária para a máxima área foliar no presente experimento.

Rao et al. (1996) conduziram um experimento para avaliar doses de P₂O₅ (0; 10; 20 e 50 kg ha⁻¹) na produção de *Brachiaria dictyoneura* em Latossolo de textura argilosa e outro de textura arenosa, e verificou que em ambos os solos a área foliar foi aumentada até a dose de 20 kg ha⁻¹.

A interação entre as doses de fósforo e magnésio foi significativa para área foliar no segundo corte do capim-Tanzânia e os resultados ajustaram-se a um modelo polinomial de regressão (Figura 11). A área foliar foi máxima quando foram combinadas a dose de fósforo de 1,37 mmol L⁻¹ e de magnésio de 2,64 mmol L⁻¹. No trabalho de Manarin (2005), que avaliou combinações de doses de fósforo e de zinco, foi verificado que a dose de fósforo responsável pela máxima área foliar foi de 1,38 mmol L⁻¹, quando a dose de magnésio foi fixa em 2,00 mmol L⁻¹.

$$y = 663,34 + 3.299,53P - 1.450,74P^2 + 600,36Mg - 182,02Mg^2 + 262,38PMg$$

$$R^2 = 0,80$$

Figura 11 - Área foliar no segundo corte do capim-Tanzânia, em função de combinações de doses de fósforo e magnésio

O emprego de doses mais elevadas que $2,65 \text{ mmol L}^{-1}$ de magnésio, com fornecimento de um mínimo de $1,00 \text{ mmol L}^{-1}$ de fósforo, poderia proporcionar maior área foliar no capim-Tanzânia. Esses resultados assemelham-se aos de Pereira (2001), que utilizou doses de magnésio variando de 0 a 60 mg L^{-1} (0 a $2,5 \text{ mmol L}^{-1}$) e verificou que não foram suficientes para a máxima produção de área foliar no *Panicum maximum* cv. Mombaça.

Melo (2005), trabalhando com combinações de doses de fósforo (10 a 330 mg kg^{-1}) e de silício (150 a 450 mg kg^{-1}), constatou que independente da dose de silício empregada no experimento, doses de fósforo mais elevadas que 130 mg kg^{-1} proporcionaram a maior área foliar do capim-Marandu comprovando a eficiência do fósforo para essa variável da gramínea forrageira.

O papel do magnésio no alongamento foliar pode estar relacionado com o fato de que elevadas concentrações desse nutriente nas células meristemáticas resultam

em maior expansão e crescimento foliar, o que pode estar associado ao fato do fósforo ser remobilizado para as regiões meristemáticas, conforme foi descrito por Meiri, Silk e Läubli (1992) quando avaliariam essas características em plantas de milho (*Zea mays*) e por Marschner (1995) quando da função do magnésio na ativação da enzima ATPase relacionada aos processos energéticos.

De acordo com Kavanova et al. (2006), o baixo suprimento de fósforo em plantas de azevém (*Lolium perenne* cv. Condesa) reduziu a taxa de alongação foliar em 39%, devido à redução da taxa de produção de células e ao comprimento final das células.

Consolmagno Neto (2006), avaliando o capim-Tanzânia quanto ao suprimento doses de magnésio semelhantes às do presente trabalho, verificou que somente no segundo corte da gramínea as doses de magnésio alteraram positivamente a área foliar. Nesse mesmo trabalho, os valores máximos de área foliar encontrados no segundo crescimento foram inferiores aos encontrados no segundo crescimento deste presente experimento, o que pode estar relacionado ao efeito positivo que as doses de fósforo combinadas com as doses de magnésio exerce na área foliar, uma vez que Consolmagno Neto (2006) utilizou a dose de fósforo fixada em $1,00 \text{ mmol L}^{-1}$ combinada com as doses de magnésio.

A área foliar determinada no segundo crescimento do capim-Tanzânia foi maior que a determinada no primeiro crescimento. No primeiro crescimento a planta deve ter utilizado energia para estabelecer a estrutura da parte aérea e do sistema radicular, enquanto no segundo crescimento teria sido capaz de redirecionar as estruturas já formadas, produzindo assim maior área foliar.

4.5 Produção de massa seca da parte aérea

A interação entre doses de fósforo e magnésio, para produção de massa seca da parte aérea, somente foi significativa no segundo corte do capim-Tanzânia. No primeiro corte, significâncias foram observadas tanto para as doses de fósforo como para as de magnésio isoladamente, sendo que os resultados em ambos os casos se ajustaram à modelos exponenciais (Figuras 12 e 13).

A produção de massa seca da parte aérea média do capim-Tanzânia referente às quatro mais altas doses de fósforo foi de 1,6 vezes maior que a produção obtida na menor dose de fósforo empregada (Figura 12).

Figura 12 - Produção de massa seca da parte aérea do capim-Tanzânia, na ocasião do primeiro corte, em função das doses de fósforo na solução nutritiva

As doses de fósforo isoladas proporcionaram expressiva variação na produção de massa seca da parte aérea entre a mais baixa dose (0,2 mmol L⁻¹) e as demais doses (0,6 a 1,8 mmol L⁻¹), o que resultou em produção de 2,4 vezes menor na mais baixa dose comparada à média das demais. Esse efeito está possivelmente associado ao fato de que o aumento das doses de fósforo na solução nutritiva proporcionou maiores perfilhamento, número de folhas e área foliar.

Nas mais altas doses de fósforo ocorreu a estabilização da produção da massa seca da parte aérea. Esses resultados corroboram os de Hoffmann (1992) que, trabalhando com os capins Braquiária e Colonião, verificou resposta positiva à aplicação de fósforo em ambos os capins, avaliando a produção de massa seca da parte aérea em dois cortes das plantas. Também, Rossi e Monteiro (1999), quando avaliaram doses de fósforo de 3,1, 15,5 e 31,0 mg L⁻¹ (0,1; 0,5 e 1,0 mmol L⁻¹) na produção de massa seca de capim-Colonião em dez épocas de coleta, verificaram que o fósforo alterou significativamente a produção de massa seca nas épocas avaliadas, sendo este comportamento amplamente relatado por outros autores que estudaram

gramíneas forrageiras tropicais (MONTEIRO; WERNER, 1977; MARTINEZ, 1980; MONTEIRO; MATTOS; MARTIM, 1993; ALMEIDA; MACEDO; ROSSI, 1999; MESQUITA et al., 2004).

Figura 13 - Produção de massa seca da parte aérea do capim-Tanzânia, na ocasião do primeiro corte, em função das doses de magnésio na solução nutritiva

Para avaliar o suprimento de fósforo (P_2O_5 de 0; 50; 100; 200; 400 e 800 kg ha⁻¹) no estabelecimento do capim-Tanzânia, Corrêa, Freitas e Vitti (1998), conduziram experimento num Latossolo Vermelho-Amarelo álico e verificaram que a produção de massa seca do capim-Tanzânia aumentou com o emprego da adubação fosfatada.

Nos dois experimentos conduzidos por Corrêa e Haag (1993a e b), em casa de vegetação e campo, objetivando a determinação do nível crítico de fósforo para o estabelecimento de gramíneas forrageiras, dentre as quais o *Panicum maximum*, foram verificados aumentos expressivos na produção de massa seca da parte aérea das plantas com o aumento da dose de fósforo e produção muito reduzida quando o fósforo não foi aplicado ao solo. Os resultados desses experimentos assemelham-se aos do presente experimento, uma vez que na menor dose de fósforo suprida as plantas apresentaram produção de massa seca da parte aérea muito reduzida quando comparada às demais doses.

Almeida (1998), estudando os capins Braquiária e Marandu e o suprimento de doses de fósforo (3,1; 15,5 e 31,0 mg L⁻¹) combinadas à doses de magnésio (4,8; 24; 48 e 72 mg L⁻¹), verificou que apenas na dose de fósforo de 15,5 mg L⁻¹ (0,5 mmol L⁻¹) houve resposta às doses de magnésio na produção de massa seca da parte aérea dessa forrageira.

Estudando a combinação entre fósforo e magnésio em capim-Braquiária, Santos et al. (2002) verificaram que somente as doses de fósforo afetaram a produção de massa seca da parte aérea das plantas, apresentando comportamento diferenciado entre o primeiro (linear) e o segundo (quadrático) crescimentos avaliados. Os resultados de Reinbott e Blevins (1997), que buscaram avaliar a interação da fertilização com fósforo e magnésio na produtividade de festuca (*Festuca arundinaceae*), demonstraram que apenas a fertilização anual com fósforo alterou significativamente a produtividade da forrageira no início da primavera.

Corrêa (1996), avaliando combinações entre doses de nitrogênio (3, 15 e 27 mmol L⁻¹) e de magnésio (0,2 e 2,0 mmol L⁻¹) em três cultivares de *Panicum maximum*, observou que somente quando em presença de mais altas doses de nitrogênio o magnésio foi capaz de aumentar significativamente a produção de massa seca das gramíneas forrageiras avaliadas.

No capim-Tanzânia colhido no segundo corte das plantas, foi constatada significância para a interação entre as doses de fósforo e as de magnésio na produção de massa seca da parte aérea, com os resultados se ajustando a modelo polinomial de regressão. A análise da Figura 14 demonstra a interação existente entre as doses de fósforo e as de magnésio combinadas para a maior produção de massa seca da parte aérea do capim-Tanzânia, com máximo rendimento observado quando a dose de fósforo de 1,34 mmol L⁻¹ foi combinada com a de magnésio de 2,30 mmol L⁻¹. Nota-se que ambas as doses responsáveis pelo máximo rendimento foram superiores às preconizadas por Sarruge (1975) de fósforo de 1,00 mmol L⁻¹ e de magnésio de 2,00 mmol L⁻¹, o que também foi verificado por Manarin (2005), quando foi necessário fósforo de 1,47 mmol L⁻¹, e por Consolmagno Neto (2006), que encontrou magnésio de 2,20 mmol L⁻¹ para que a produção de massa seca fosse maximizada.

$$y = 2,4445 + 34,7664P - 16,1845P^2 + 11,1448Mg - 3,5240Mg^2 + 3,7663PMg$$

$$R^2 = 0,83$$

Figura 14 - Produção de massa seca da parte aérea do capim-Tanzânia, no segundo corte, em função de combinações de doses de fósforo e magnésio

A produção de massa seca do capim-Tanzânia no segundo corte foi maior se comparada com o primeiro corte das plantas. Esta diferença, como mencionado anteriormente, pode estar relacionada ao fato de que as plantas direcionam maior quantidade de energia, durante o primeiro crescimento, à formação parte aérea e de raízes e no segundo crescimento, com a estrutura formada, mais energia para ser destinada para a produção de massa seca da parte aérea. Este fato foi constatado por outros autores, trabalhando com diversas espécies forrageiras (PEREIRA, 2001; MANARIN, 2005; CONSOLMAGNO NETO, 2006).

Gomide et al. (1986) conduziram experimento em solo arenoso com baixos teores de fósforo, no qual avaliaram o estabelecimento e a produtividade do capim-Colonião durante três anos e verificaram que o fósforo influenciou a produtividade apenas no primeiro ano. Também Costa, Moneratt e Gomide (1983), em experimento

com os capins Jaraguá (*Hyparrhenia rufa*) e Colonião, verificaram que a adição de fósforo favoreceu a produção de massa seca dos capins no primeiro ano de avaliação.

As doses de magnésio, supridas na solução nutritiva por Pereira (2001), resultaram em efeito significativo na produção de massa seca da parte aérea, com os resultados ajustando-se a modelo matemático quadrático na ocasião do primeiro corte do capim-Mombaça, enquanto que no segundo corte esse ajuste foi o modelo linear.

Em um experimento com plantas de arroz (*Oryza sativa*) , utilizando soluções diluídas e objetivando avaliar as interações entre cátions e ânions nestas plantas, Fageria (1983) constatou que com concentrações de magnésio variando entre 8,22 e 205,65 $\mu\text{mol L}^{-1}$, ocorreu resposta significativa para a produção de massa seca com o aumento da concentração de magnésio, sendo a dose de 33 $\mu\text{mol L}^{-1}$ estimada responsável pela máxima produtividade da parte aérea.

Consolmagno Neto (2006), utilizando doses de magnésio iguais às do presente experimento combinadas com doses de potássio (0,4; 3,2; 6,0; 8,8 e 11,6 mmol L^{-1}), verificou aumento significativo na produção da massa seca da parte aérea do capim-Tanzânia no segundo corte, em função das combinações dessas doses dos nutrientes.

A exigência em magnésio para maiores produções de massa seca, por gramíneas forrageiras, fica evidente no presente experimento uma vez que as maiores produções foram obtidas com doses de magnésio mais altas que 1,35 mmol L^{-1} (Figura 14). Essa exigência muitas vezes é negligenciada devido ao fato do magnésio ser fornecido às plantas por meio da adição de calcário, com o objetivo principal de correção da acidez do solo. A solução preconizada por Sarruge (1975) é conveniente para diversas culturas e contém magnésio de 2 mmol L^{-1} em sua composição, porém através pela análise da Figura 14 é possível inferir que doses mais elevadas que a de 2,00 mmol L^{-1} quando combinadas a doses de fósforo, do intervalo entre 1,00 e 1,80 mmol L^{-1} , são capazes de incrementar as produções de massa seca do capim-Tanzânia.

4.6 Sistema radicular

4.6.1 Produção de massa seca de raízes

A interação entre as doses de fósforo e de magnésio foi significativa para a produção de massa seca de raízes do capim-Tanzânia e os resultados se ajustaram a modelo polinomial de regressão (Figura 15).

$$y = 2,6332 + 4,0706P - 2,3558P^2 + 2,9819Mg - 1,0186Mg^2 + 0,9806PMg$$

$$R^2 = 0,70$$

Figura 15 - Produção de massa seca de raízes do capim-Tanzânia, após o segundo corte, em função de combinações de doses de fósforo e magnésio

A máxima produção de massa seca de raízes da forrageira foi alcançada com a combinação da dose de fósforo de 1,30 mmol L⁻¹ com a de magnésio de 2,09 mmol L⁻¹. A dose de fósforo responsável pela máxima produção de massa seca de raízes foi 30% superior à preconizada por Sarruge (1975) e a de magnésio muito próxima à daquela solução.

O crescimento radicular é altamente influenciado pelas doses de fósforo (WERNER, 1986), pois esse nutriente é o principal responsável pelos processos energéticos que ocorrem nas plantas. Em experimento com omissão de nutrientes, utilizando capim-Marandu, Monteiro et al. (1995) observaram que no tratamento com omissão de magnésio, a produção de massa seca de raízes foi 70% menor comparada ao tratamento que recebeu solução nutritiva completa. Vários outros trabalhos têm demonstrado a importância do fósforo para a produção e o adequado desenvolvimento de raízes em espécies forrageiras tropicais (SILVA, 1996; ALMEIDA, 1998; MANARIN, 2005; MELO, 2005).

Em experimento para avaliar a combinação de doses de nitrogênio (3; 15 e 27 mmol L⁻¹) e de magnésio (0,2 e 2,0 mmol L⁻¹) em três cultivares de *Panicum maximum*, Corrêa (1996) observou que o magnésio exerceu efeito significativo na produção de massa seca de raízes somente quando o nitrogênio foi fornecido na solução nutritiva na mais alta dose (27 mmol L⁻¹).

Consolmagno Neto (2006), trabalhando com capim-Tanzânia, verificou que a interação entre as doses de potássio e magnésio foi significativa para a produção de massa seca de raízes da forrageiras.

Em experimento para avaliar a calagem e fertilização (com nitrogênio, fósforo e potássio e micronutrientes) na recuperação de uma pastagem degradada de *Brachiaria decumbens* cultivada em Areia Quartzosa, Oliveira, Boaretto e Trivelin (2003) verificaram que mesmo com o teor alto de cálcio do solo (RAIJ et al., 1996), um possível efeito do magnésio no sistema radicular pode ter ocorrido, uma vez que as plantas aumentaram a massa seca de raízes quando o calcário foi aplicado.

O suprimento de doses de magnésio mais altas que 2,65 mmol L⁻¹ pode resultar em menor produção de massa seca de raízes do capim-Tanzânia (Figura 15). Este fato pode estar associado à inibição na absorção de cálcio pelo desequilíbrio catiônico provocado pelas altas doses de magnésio. O cálcio está diretamente envolvido na divisão celular e formação de paredes e a deficiência de cálcio pode provocar o desenvolvimento insatisfatório das raízes (MARSCHNER, 1995).

Monteiro et al. (1995), em um experimento envolvendo o capim-Marandu com omissão de nutrientes na solução nutritiva, verificaram que tanto a omissão de fósforo

quanto a de magnésio resultaram em mais baixa produção de massa seca de raízes. Esses resultados concordam com os do presente trabalho, que nas mais baixas doses desses nutrientes as plantas tiveram metade da produção de massa seca de raízes, quando comparadas às produções máximas obtidas.

4.6.2 Superfície e comprimento radiculares

A análise de variância não revelou significância para a interação entre as doses de fósforo e de magnésio, assim como para o efeito isolado de doses de fósforo e de magnésio na superfície radicular do capim-Tanzânia.

A interação entre as doses de fósforo e magnésio foi significativa para o comprimento radicular avaliado após o segundo corte do capim-Tanzânia e esse atributo radicular foi representado por modelo polinomial de regressão (Figura 16).

$$y = 185,16 + 19,06P - 31,84P^2 + 101,39Mg - 37,28Mg^2 + 43,13PMg$$

$$R^2 = 0,63$$

Figura 16 - Comprimento de raízes do capim-Tanzânia, em função de combinações de doses de fósforo e magnésio

A dose de fósforo responsável pelo máximo comprimento radicular do capim-Tanzânia seria superior às doses empregadas neste experimento. As doses de magnésio demonstraram exercer maior influência no comprimento radicular do capim-Tanzânia quando combinadas com as maiores doses de fósforo, como observado na massa seca radicular (Figura 15).

Melo (2005), estudando o suprimento de fósforo e silício ao capim-Marandu, em um Latossolo Vermelho-Amarelo, verificou incrementos lineares do comprimento de raízes em função das doses de fósforo fornecidas ao solo. Outros autores, também trabalhando com comprimento do sistema radicular em capim-Tanzânia e solução nutritiva, encontraram valores que variaram de 70 a 1100 cm por vaso (MANARIN, 2005; SILVEIRA, 2005 e CONSOLMAGNO NETO, 2006). Os valores do presente trabalho encontram-se dentro do intervalo encontrado por esses autores.

Crusciol et al. (2005) avaliaram o efeito de doses de fósforo (0; 50; 100; 150 e 200 mg kg⁻¹ de solo) no sistema radicular de quatro cultivares de arroz (Maravilha, IAC-201, IAC-202 e Carajás) e verificaram que a adubação fosfatada aumentou o comprimento de raízes das plantas de forma quadrática para os cultivares Maravilha, IAC-201 e IAC-202 e linear para o cultivar Carajás.

4.6.3 Superfície e comprimento radiculares específicos

A interação entre as doses de fósforo e magnésio não foi significativa para o comprimento específico do capim-Tanzânia, mas foi significativa para a superfície radicular específica desse capim. A superfície específica de raízes foi representada por um modelo polinomial de regressão (Figura 17), sendo que o máximo valor foi atingido quando foram combinadas doses de fósforo de 1,45 mmol L⁻¹ e magnésio de 2,13 mmol L⁻¹. Estas doses responsáveis por esse ponto de máximo são superiores às doses de fósforo (1,00 mmol L⁻¹) e de magnésio (2,00 mmol L⁻¹) preconizadas por Sarruge (1975).

A dose de fósforo responsável pela máxima superfície específica de raízes foi próxima a encontrada por Manarin (2005) de 1,37 mmol L⁻¹ que combinada com a dose de magnésio de 2,00 mmol L⁻¹ foi responsável pela máxima superfície radicular do capim-Tanzânia.

Consolmagno Neto (2006), avaliando combinações de doses de potássio e de magnésio na solução nutritiva, constatou efeito de doses de magnésio na superfície radicular, que foi representado por modelo exponencial.

$$y = 1136,60 + 787,19P - 480,40P^2 + 919,07Mg - 313,54Mg^2 + 285,46PMg$$

$$R^2 = 0,56$$

Figura 17 - Superfície específica de raízes do capim-Tanzânia, após o segundo corte, em função de combinações de doses de fósforo e magnésio

Isoladamente, o efeito das doses de fósforo foi significativo no comprimento radicular específico, após o segundo corte do capim-Tanzânia sendo os resultados representados por modelo quadrático (Figura 18). A dose de fósforo que proporcionou o mais reduzido comprimento radicular específico foi de 1,23 mmol L⁻¹.

Os resultados de Rao et al. (1996), que avaliaram doses de fósforo (0; 10; 20 e 50 kg ha⁻¹) supridas a *Brachiaria dictyoneura* em dois Latossolos (argiloso e arenoso), concordam os do presente experimento quando as doses de fósforo reduziram significativamente o comprimento específico de raízes da gramínea, nos dois solos estudados.

Segundo Fitter (1996), isso se deve a um mecanismo de defesa que as plantas possuem para aumentar a área de exploração das raízes quando ocorre limitação no suprimento de nutrientes. Em condições de baixo suprimento de fósforo, plantas de arroz são capazes de priorizar o crescimento do sistema radicular (com raízes de menor diâmetro), em relação a parte aérea (CRUSCIOL et al., 2005).

Figura 18 - Comprimento radicular específico do capim-Tanzânia, após o segundo corte, em função das doses de fósforo na solução nutritiva

4.6.4 Concentração de fósforo nas raízes

A interação entre as doses de fósforo e magnésio foi significativa para a concentração de fósforo nas raízes do capim-Tanzânia e os resultados tiveram ajuste a modelo polinomial de regressão, como mostrado na Figura 19.

Em presença de doses baixas de magnésio, a concentração de fósforo nas raízes das plantas é aumentada com o aumento das doses de fósforo caracterizando o efeito de concentração de fósforo nas raízes do capim. Com o aumento das doses de magnésio, ocorreu aumento na concentração de fósforo nas mais baixas doses de fósforo, sendo reduzido na dose mais alta.

Almeida (1998), trabalhando com combinações de doses de fósforo e de magnésio, constatou que o aumento das doses de fósforo até 1,0 mmol L⁻¹ na solução

nutritiva de plantas de capins Braquiária e Marandu verificando menores concentrações de fósforo nas raízes do que na parte aérea das gramíneas.

$$y = 0,8291 + 1,3431P - 0,3302P^2 - 0,6039Mg + 0,2270Mg^2 - 0,2008PMg$$

$$R^2 = 0,75$$

Figura 19 - Concentração de fósforo nas raízes do capim-Tanzânia, após o segundo corte, em função de combinações de doses de fósforo e magnésio

Manarin (2005), estudando combinações de doses de fósforo e de zinco em solução nutritiva para capim-Tanzânia, observou que as doses de fósforo resultaram em aumento na concentração do nutriente nas raízes das plantas. Também verificou, que a dose de fósforo responsável pela máxima concentração de fósforo na raízes do capim foi superior à dose máxima utilizada.

Estudando doses de fósforo (0,05; 0,10; 0,30; 0,50; 1,00 e 1,50 mmol L⁻¹) na nutrição dos capins Braquiária e Colonião, Rossi (1999) observou que as doses do nutriente proporcionaram incremento na concentração de fósforo nas raízes, de ambos os capins, com os resultados ajustando-se a modelos quadrático e linear, respectivamente.

Quando o magnésio foi suprido em doses mais elevadas que $1,35 \text{ mmol L}^{-1}$ a elevação na concentração de fósforo nas raízes ocorreu mais intensivamente, com o aumento das doses de fósforo, nas mais baixas doses de magnésio (Figura 19). Este fato pode estar associado ao efeito de concentração de fósforo, pois as mais baixas doses de magnésio produziram menores quantidades de massa seca de raízes (Figura 15).

4.6.5 Concentração de magnésio nas raízes

A interação entre as doses de fósforo e de magnésio foi significativa para a concentração de magnésio nas raízes do capim-Tanzânia, com os resultados ajustando-se a modelo polinomial de regressão (Figura 20).

$$y = 0,6826 - 1,1864P + 0,5606P^2 + 0,4456Mg - 0,0096Mg^2 - 0,1683PMg$$

$$R^2 = 0,83$$

Figura 20 - Concentração de magnésio nas raízes do capim-Tanzânia, após o segundo corte, em função de combinações de doses de fósforo e magnésio

O aumento da concentração de magnésio nas raízes ocorreu conforme as doses de magnésio foram incrementadas, sendo mais evidente quando o fósforo foi suprido nas doses mais baixas. A produção de massa seca de raízes foi baixa nas menores doses de fósforo, explicando esse aumento na concentração de magnésio pelo efeito de concentração do nutriente no tecido.

Skinner e Matthews (1990), avaliando a interação entre magnésio e o suprimento de fósforo às raízes de uva (*Vitis vinifera*), verificaram efeito semelhante ao do presente experimento, quando o aumento do suprimento das doses de fósforo provocou a redução na concentração de magnésio nas raízes, provavelmente porque a translocação desse nutriente das raízes para a parte aérea teria sido favorecida na presença de fósforo.

Almeida (1998), trabalhando com duas braquiárias, verificou que ao aumentar o suprimento de fósforo na solução nutritiva, a concentração de magnésio nas raízes foi reduzida mesmo quando esse foi suprido em mais altas doses. Isto corrobora os resultados do presente experimento, que com doses de fósforo de até $1,00 \text{ mmol L}^{-1}$, resultou em reduzida concentração de magnésio nas raízes do capim-Tanzânia (Figura 20). No trabalho com omissão de nutrientes conduzido por Monteiro et al. (1995), ao estudarem a omissão de nutrientes, para o capim-Marandu, foi demonstrado que na omissão de fósforo, a concentração de magnésio nas raízes foi maior que nos outros tratamentos, evidenciando a importância deste nutriente para a translocação do magnésio na planta.

É de se esperar que a quantidade de fósforo presente na planta atue na concentração final de magnésio nas raízes do capim-Tanzânia, seja por efeito na absorção, no transporte e na redistribuição desse nutriente das raízes para a parte aérea.

4.7 Concentração de nutrientes nas lâminas de folhas recém-expandidas

4.7.1 Fósforo

A interação entre as doses de fósforo e de magnésio foi significativa para a concentração de fósforo nas lâminas de folhas recém-expandidas amostradas no

segundo corte do capim-Tanzânia e essa concentração de fósforo foi representada por modelo polinomial de regressão (Figura 21). O incremento de suprimento de fósforo na solução nutritiva resultou em aumentos na concentração desse nutriente nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim. O aumento de concentração foi maior quando o fósforo foi incrementado dentro das mais baixas doses de magnésio (0,05 e 0,70 mmol L⁻¹) e menor nas demais doses. Este comportamento está relacionado ao efeito de diluição que pode ter ocorrido, conforme as doses de fósforo e magnésio foram incrementadas, provocando o aumento da produção de massa seca.

Beringer e Forster (1981) encontraram resultados que corroboram os deste experimento, quando analisaram plantas de cevada (*Hordeum vulgare*) e verificaram que a concentração de fósforo foi mais alta nas estruturas vegetativas das plantas deficientes em magnésio.

$$y = 0,8141 + 1,6958P + 0,4157P^2 - 1,1037Mg + 0,4237Mg^2 - 0,4379PMg$$

$$R^2 = 0,84$$

Figura 21 - Concentração de fósforo nas lâminas de folhas recém-expandidas, coletadas no segundo corte, do capim-Tanzânia, em função de combinações de doses de fósforo e magnésio

A produção de massa seca da parte aérea foi limitada pelo baixo fornecimento de fósforo e de magnésio (Figuras 12 e 13). O reduzido suprimento de magnésio às plantas resultou em reduzida produção de massa seca e, nas mais baixas doses de magnésio, ocorreu a concentração do fósforo no tecido, conforme as doses de fósforo foram incrementadas. Almeida (1998), estudando o fornecimento de combinações de fósforo e magnésio na solução nutritiva para os capins Braquiária e Marandu, observou efeito de concentração de fósforo semelhante ao do presente experimento, nas mais baixas doses de magnésio.

Santos et al. (2002), estudando a interação entre fósforo e magnésio, verificaram que o aumento das doses de fósforo, quando magnésio não foi adicionado pela calagem, proporcionou incremento linear na concentração de fósforo na parte aérea do capim-Braquiária. Esse aumento na concentração de fósforo, com reduzida disponibilidade de magnésio, pode ser devido ao fato de que o magnésio associa-se fortemente aos compostos onde o fósforo está presente (ATP e ADP) e sua deficiência bloqueia os processos de transferência energética, ocasionando o acúmulo de fósforo nas plantas (BERGMANN, 1992). Fageria (2001) ressaltou, em revisão sobre interação entre nutrientes em plantas cultivadas, que efeitos positivos na produtividade e nutrição mineral são esperados quando o fósforo e o magnésio se encontram presentes pelo fato do magnésio ser ativador de enzimas e participante em processos de transferência de fosfatos.

A concentração de fósforo nas lâminas recém-expandidas coletadas na ocasião do primeiro corte do capim-Tanzânia foi significativamente alterada pelas doses de fósforo, com os resultados ajustando-se a modelo linear de regressão. O capim-Tanzânia é capaz de acumular fósforo em sua estrutura caso este seja disponibilizado em altas quantidades, fato que pode ser observado na Figura 22, onde a mais alta dose de fósforo não foi capaz de expressar a máxima concentração de fósforo nas lâminas de folhas recém-expandidas. A concentração de fósforo nas folhas recém-expandidas variou de 1,13 a 3,80 g kg⁻¹, conforme o suprimento de fósforo foi incrementado da mais baixa para a mais alta dose, respectivamente. Aumentos da concentração de fósforo em plantas forrageiras, relacionados ao suprimento deste

nutriente são amplamente documentado na literatura (MARTINEZ, 1980; MONTEIRO et al., 1995; ALMEIDA, 1998; MANARIN, 2005; MELO, 2005).

Figura 22 - Concentração de fósforo nas lâminas de folhas recém-expandidas, coletadas no primeiro corte do capim-Tanzânia, em função das doses de fósforo na solução nutritiva

Rossi (1999), trabalhando com capim-Colômbia e o suprimento de fósforo (0,1; 0,5 e 1,0 mmol L⁻¹) na solução nutritiva em dez épocas de crescimento, verificou em todas as épocas avaliadas que as concentrações de fósforo nas lâminas de folhas recém-expandidas aumentaram com o incremento das doses de fósforo. As concentrações de fósforo variaram de 0,53 a 4,75 g kg⁻¹.

Santos, Santos e Santos (2004), avaliando a interação entre fósforo e magnésio na concentração de nutrientes do capim-Braquiária em Latossolo Amarelo, encontraram resultados semelhantes ao do presente experimento, verificando que quando o magnésio não foi suprido, o comportamento da concentração de fósforo foi linear e nas duas ocasiões onde o magnésio foi suprido este comportamento foi quadrático.

A concentração de fósforo nas lâminas de folhas recém-expandidas no primeiro corte do capim-Tanzânia também variou significativamente com as doses de magnésio, ocorrendo ajuste dos resultados a modelo exponencial (Figura 23) com estabilização dessa concentração em torno de 2,1 g kg⁻¹.

Figura 23 - Concentração de fósforo nas lâminas de folhas recém-expandidas coletadas no primeiro corte do capim-Tanzânia, em função das doses de magnésio na solução nutritiva

Essa concentração de fósforo foi 2,6 vezes mais alta na mais baixa dose de magnésio comparada à média das outras quatro doses. É importante ressaltar que a mais baixa dose de magnésio limitou o crescimento das plantas, que por consequência tiveram a concentração de magnésio incrementada. Por outro lado, nas mais altas doses de magnésio a concentração de fósforo mostrou-se mais baixa em razão da diluição no tecido.

4.7.2 Magnésio

A análise de variância não revelou significância da interação entre doses de fósforo e de magnésio, para a concentração de magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Tanzânia, nos dois cortes avaliados.

As doses de magnésio resultaram em alteração significativa na concentração desse nutriente nas lâminas de folhas recém-expandidas amostradas nos dois cortes do capim-Tanzânia. Essa alteração obedeceu a modelo linear positivo nas lâminas foliares coletadas no primeiro corte (Figura 24), demonstrando que mesmo a mais alta dose de magnésio (2,65 mmol L⁻¹) na solução nutritiva não foi suficiente para a máxima concentração desse nutriente nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-

Tanzânia. A variação dessas concentrações nas lâminas foliares foi de 0,35 a 2,98 g kg⁻¹.

Figura 24 - Concentração de magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas amostradas no primeiro corte do capim-Tanzânia, em função das doses de magnésio na solução nutritiva

Em estudo buscando avaliar a concentração de magnésio na massa seca da parte aérea em 280 gramíneas forrageiras, Skermann e Riveros (1982) constataram que a concentração de magnésio variou entre 0,4 e 9,0 g kg⁻¹, sendo a média de 3,6 g kg⁻¹. Werner e Haag (1972) observaram que o nível crítico de magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Colômbia foi de 1,2 g kg⁻¹.

Pereira (2001) variou o suprimento de magnésio na solução nutritiva de 0 a 2,5 mmol L⁻¹ e encontrou concentração de magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Mombaça variando de 0,48 a 6,67 g kg⁻¹, no primeiro corte das plantas. No segundo corte, o valor máximo para a concentração de magnésio foi de 3,80 g kg⁻¹, quando foi utilizada a mais alta dose desse nutriente. Nas lâminas foliares, em ambos os cortes, os valores se ajustaram a modelos lineares de regressão. Marun (1990) e Premazzi (1991) verificaram incrementos na concentração de magnésio na parte aérea de gramíneas, quando aumentaram o suprimento de magnésio ao solo.

Consolmagno Neto (2006), estudando a combinação entre doses de potássio e de magnésio, com doses de magnésio semelhantes às do presente experimento, observou que o incremento nas doses de magnésio na solução nutritiva resultou em

aumento na concentração desse nutriente nas lâminas de folhas recém-expandidas coletadas em dois cortes do capim-Tanzânia.

Em experimento conduzido com capim-Marandu por Monteiro et al. (1995), com omissão de nutrientes na solução nutritiva, foi observado que a concentração de magnésio na parte aérea foi mais baixa quando o magnésio foi omitido, em relação à concentração encontrada nos demais tratamentos. Também verificaram que no tratamento completo a concentração de magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas foi de $4,9 \text{ g kg}^{-1}$, enquanto que na omissão de magnésio essa concentração foi de $0,2 \text{ g kg}^{-1}$.

Nas lâminas foliares amostradas no segundo corte do capim-Tanzânia, a concentração de magnésio ajustou-se a modelo quadrático (Figura 25) e a dose de magnésio que corresponderia à concentração máxima desse nutriente excedeu a mais alta dose ($2,75 \text{ mmol L}^{-1}$) empregada nesse experimento. Os valores encontrados para a concentração de magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas coletadas no segundo corte do capim-Tanzânia variaram entre $0,33$ e $2,01 \text{ g kg}^{-1}$.

Figura 25 - Concentração de magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas coletadas no segundo corte do capim-Tanzânia, em função das doses de magnésio na solução nutritiva

Plantas, de uma maneira geral, possuem comportamento distinto entre espécies quanto à capacidade de absorver e acumular magnésio no tecido, em função da quantidade de magnésio suprida. Almeida (1998), comparando os capins Braquiária

e Marandu quanto à nutrição com fósforo e magnésio, verificou que as duas forrageiras tiveram aumentada a concentração de magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas com o incremento no fornecimento de magnésio (0,2 a 3,0 mmol L⁻¹) na solução nutritiva e ainda que a *Brachiaria decumbens* foi superior à *Brachiaria brizantha* na concentração de magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas amostradas nos dois cortes dessas gramíneas.

4.7.3 Potássio

A análise de variância mostrou que não foi significativa a interação entre as doses de fósforo e de magnésio para a concentração de potássio nas lâminas de folhas recém-expandidas coletadas nos dois cortes do capim-Tanzânia. As doses de magnésio isoladamente alteraram significativamente a concentração de potássio nas lâminas de folhas recém-expandidas, ajustando-se a modelos exponenciais nos dois cortes avaliados do capim (Figuras 26 e 27).

Verificou-se que as quatro mais altas doses de magnésio resultaram em mais baixa concentração de potássio nas lâminas de folhas recém-expandidas amostradas nos dois cortes das plantas, o que está de acordo com o observado por Fageria (1983) em plantas de arroz. Esses resultados podem estar refletindo o antagonismo na absorção desses dois nutrientes, pela qual a absorção de potássio é afetada pelo magnésio, assim como a absorção de magnésio pode ser alterada pelo potássio. O efeito depressivo do magnésio no potássio provavelmente se deve à competição desses dois cátions pelos sítios de absorção nas raízes das plantas.

A interação negativa entre potássio e magnésio já foi evidenciada por Monteiro et al. (1995), que verificaram em um experimento, com solução nutritiva, com omissão de nutrientes, que no tratamento onde o magnésio foi omitido a concentração de potássio na massa seca da parte aérea e nas raízes do capim-Marandu foi maior na aplicação da solução nutritiva completa.

O efeito de inibição competitiva entre os cátions potássio e magnésio foi ainda relatado por diversos outros autores (MUNDY, 1984; FAGERIA, 2001; MATTOS et al., 2002; CONSOLMAGNO NETO, 2006), que constataram ter a adição de potássio

resultado em mais baixa concentração de magnésio na massa seca da parte aérea de diversas espécies vegetais.

Figura 26 - Concentração de potássio (K) nas lâminas de folhas recém-expandidas coletadas no primeiro corte do capim-Tanzânia, em função das doses de magnésio na solução nutritiva

Figura 27 - Concentração de potássio nas lâminas de folhas recém-expandidas coletadas no segundo corte do capim-Tanzânia, em função das doses de magnésio na solução nutritiva

Consolmagno Neto (2006), estudando combinações de doses de potássio (0,4; 3,2; 6,0; 8,8 e 11,6 mmol L⁻¹) e magnésio (semelhantes às do presente experimento),

na nutrição do capim-Tanzânia em solução nutritiva, verificou que em doses de potássio constantes os incrementos nas doses de magnésio reduziram a concentração de potássio nas lâminas foliares coletadas, nos dois cortes do capim. Sabreen et al. (2003), avaliando três gramíneas forrageiras de regiões frias com alta capacidade de absorção de potássio, observaram que as concentrações de magnésio nas plantas eram altas sempre que as concentrações de potássio eram baixas.

Outro fator a ser considerado na concentração de potássio, nas lâminas foliares de ambos os cortes do capim, é de que com o incremento das doses de magnésio na solução nutritiva ocorreu elevação na produção de massa seca da parte aérea e, portanto ocorreu diluição de potássio nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Tanzânia.

4.7.4 Cálcio

Não foi constatada significância para a interação entre doses de fósforo e de magnésio, em termos da concentração de cálcio nas lâminas recém-expandidas amostradas nos dois cortes do capim-Tanzânia. O incremento no suprimento de fósforo na solução nutritiva alterou significativa e positivamente a concentração de cálcio nessas lâminas foliares coletadas no segundo corte do capim (Figura 28) e os resultados mostraram ajuste a modelo linear de regressão.

A concentração de cálcio nas lâminas de folhas recém-expandidas coletadas na ocasião do segundo corte do capim-Tanzânia variou entre 4,38 e 6,48 g kg⁻¹ de massa seca.

A disponibilidade de fósforo pode ser um fator importante para a absorção de cálcio bem como de magnésio pelas plantas, como foi sugerido por Reinbott e Blevins (1991), que estudaram o efeito de doses de fósforo na absorção e concentração de cálcio em trigo (*Triticum aestivum*) e verificaram que o aumento do suprimento de fósforo foi responsável pelo aumento na concentração de cálcio na parte aérea de plântulas cultivadas em solução nutritiva e sugeriram que o fósforo pode ser importante para a absorção de cálcio. Em estudo posterior com plantas de festuca, cultivadas no campo, Reinbott e Blevins (1994) constataram que o aumento do fornecimento de

fósforo afetou significativamente a concentração de cálcio nas folhas dessas plantas, atribuindo esse efeito ao aumento da absorção e translocação de cálcio.

Figura 28 - Concentração de cálcio nas lâminas de folhas recém-expandidas amostradas no segundo corte do capim-Tanzânia em função das doses de fósforo na solução nutritiva

Avaliando cinco condições de suprimento de fósforo em solo para cinco variedades de arroz, Saleque et al. (2001) observaram que as concentrações variaram entre 3,0 e 6,9 g kg⁻¹ na massa seca das plantas e que o efeito do fósforo disponível no solo na concentração de cálcio do tecido não foi bem elucidada.

Os resultados de Monteiro et al. (1995) mostraram que no tratamento com omissão de fósforo, a concentração de cálcio nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Marandu foi mais elevada comparada ao tratamento com solução nutritiva completa, não concordando com os resultados do presente experimento. A justificativa para essa discrepância pode estar no fato da limitação na disponibilidade de fósforo ter sido tão acentuada que as plantas desenvolveram-se muito pouco e acumularam cálcio no tecido.

4.7.5 Zinco

A interação entre as doses de fósforo e de magnésio não foi significativa para a concentração de zinco nas lâminas de folhas recém-expandidas coletadas nos dois

cortes do capim-Tanzânia. No tecido vegetal amostrado no segundo corte do capim as doses de fósforo e magnésio, isoladamente, resultaram em alteração da concentração de zinco, sendo que o fósforo suprido em solução proporcionou variação de forma quadrática (Figura 29) enquanto as doses de magnésio o fizeram de forma exponencial (Figura 30).

As concentrações de zinco nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Tanzânia variaram entre 7,99 e 21,34 mg kg⁻¹ na amostragem do primeiro corte e entre 8,21 e 22,71 mg kg⁻¹ naquela do segundo corte do capim-Tanzânia. Apenas quando foi utilizada a mais baixa dose de fósforo em termos de primeiro corte e a mais baixa dose de magnésio nas lâminas foliares do segundo corte, os valores estiveram na faixa descrita por Werner, Paulino e Cantarella (1996), que apontaram variação entre 20 e 50 mg kg⁻¹ nas partes mais novas das gramíneas forrageiras de alta exigência nutricional.

Aos 14 dias após o primeiro corte, foram observados sintomas de deficiência visual de zinco nas mais altas doses de fósforo (1,40 e 1,80 mmol L⁻¹). A interação entre fósforo e zinco é clássica e alguns autores a atribuem ao fato de que o excessivo suprimento de fósforo provoca a precipitação desses nutrientes como fosfato de zinco (MARSCHNER, 1995; MENGEL; KIRKBY, 2001 e MALAVOLTA, 2006).

No presente experimento foi verificado que o incremento no suprimento de fósforo resultou em mais elevada concentração desse nutriente nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Tanzânia (Figura 22). Esse aumento na concentração de fósforo no tecido vegetal ocorreu paralelamente à elevação na produção de massa seca, o que pode ter influenciado negativamente a concentração de zinco nessas lâminas foliares devido ao efeito de diluição, como descrito por Murphy, Ellis Jr. e Adriano (1981). Em uma revisão sobre as várias causas possíveis para a deficiência de zinco induzida pelo elevado suprimento de fósforo às plantas, Olsen (1972) concluiu que o efeito de diluição provocado pelo maior crescimento das plantas em função das doses de fósforo, em plantas que já apresentavam baixas concentrações de zinco na parte aérea, foi a principal causa da deficiência.

Figura 29 - Concentração de zinco nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Tanzânia amostradas no segundo corte, em função das doses de fósforo na solução nutritiva

Figura 30 - Concentração de zinco nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Tanzânia amostradas no segundo corte, em função das doses de magnésio na solução nutritiva

Por outro lado, Saleque et al. (2001), estudando a deficiência de fósforo na absorção de zinco em variedades de arroz verificou que as concentrações de zinco na massa seca da parte aérea foram afetadas pelo teor de fósforo presente no solo, ocorrendo apenas pequenas variações entre as variedades. De acordo com Bergmann (1992) existem diferenças entre variedades para a capacidade de absorção e

translocação de zinco. Também, Murphy, Ellis Jr. e Adriano (1981) relataram que a interação entre fósforo e zinco varia entre espécies ou mesmo entre variedades, como foi constatado por Li et al. (2003) com dois cultivares de cevada onde o incremento do suprimento de fósforo resultou em mais baixas concentrações de zinco nas folhas.

A dose de fósforo responsável pela mínima concentração de zinco nas lâminas de folhas recém-expandidas coletadas no primeiro corte do capim-Tanzânia foi de $1,12 \text{ mmol L}^{-1}$. Manarin (2005), utilizando doses de fósforo iguais às utilizadas no presente experimento, observou que a concentração de zinco nas lâminas foliares obedeceu ao modelo quadrático de regressão, porém a dose de fósforo de $1,59 \text{ mmol L}^{-1}$ foi a responsável pela mais baixa concentração de zinco no tecido vegetal.

A concentração de zinco nas lâminas de folhas recém-expandidas coletadas no segundo corte do capim-Tanzânia foi influenciada pelo suprimento de magnésio na solução nutritiva.

Em estudo com doses de magnésio (semelhantes às do presente experimento) combinadas com doses de potássio para o capim-Tanzânia, Consolmagno Neto (2006) constatou que o incremento das doses de magnésio, independentemente das doses de potássio, provocou a redução na concentração de zinco nas lâminas de folhas recém-expandidas colhidas no segundo corte das plantas e os resultados também se ajustaram a modelo exponencial de regressão, corroborando o que foi encontrado no presente experimento.

4.8 Concentração conjunta de potássio, magnésio e cálcio na parte aérea

A interação entre as doses de fósforo e magnésio não foi significativa para a concentração de potássio, magnésio e cálcio em $\text{mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de massa seca da parte aérea, tanto no primeiro quanto no segundo corte do capim-Tanzânia. As doses de magnésio fornecidas na solução nutritiva alteraram significativamente essas concentrações de potássio, magnésio e cálcio na parte aérea do capim-Tanzânia, nas duas épocas avaliadas.

Mesmo com grandes variações na disponibilidade individual de um cátion a soma total de cátions em uma planta é pouco modificada, de forma que o total de

cargas positivas absorvidas pela planta permanece aproximadamente constante (MENGEL; KIRKBY, 2001). Neste sentido, Soares (1978) demonstrou que o aumento da quantidade absorvida de um cátion na planta, de maneira geral, reduz a quantidade de um ou mais cátions. Fageria (1983) concluiu que o magnésio exerce efeito depressivo na absorção de potássio e de cálcio, pois quando aumentou a concentração de magnésio no meio de cultura, as plantas de arroz tiveram menor absorção de potássio e de cálcio, enquanto aumentaram a de magnésio. Coutinho et al. (2004) também afirmaram que a soma total dos cátions potássio, magnésio e cálcio se mantém constante nos tecidos das plantas, representando o total de cargas positivas absorvidas.

No presente trabalho a soma total de cátions variou entre 971 e 1225 mmol_c kg⁻¹ na ocasião do primeiro corte e entre 897 e 1249 mmol_c kg⁻¹ na ocasião do segundo corte avaliado do capim-Tanzânia.

Consolmagno Neto (2006), variando as doses de potássio e de magnésio para o capim-Tanzânia, verificou valores entre 966 e 1423 mmol_c kg⁻¹, na parte aérea, no primeiro corte, e de 930 a 1661 mmol_c kg⁻¹ no segundo corte da gramínea. Nos casos em que a dose de potássio era constante de 6 mmol L⁻¹, a soma dos cátions situou-se em torno de 1100 mmol_c kg⁻¹ e aproximaram-se aos valores encontrados no presente experimento.

O aumento do suprimento de magnésio resultou em redução significativa na proporção de potássio (61 para 43%) na parte aérea das plantas de capim-Tanzânia e em aumento na proporção do magnésio (3 para 25%). O cálcio somente foi alterado significativamente quando da aplicação da dose de magnésio de 0,70 mmol L⁻¹ (Figuras 31 e 32).

Os atributos produtivos avaliados no presente experimento demonstram claramente que o capim-Tanzânia tem suas maiores expressões quando submetido a doses mais elevadas de magnésio que 2,00 mmol L⁻¹. A participação do magnésio na soma total dos cátions em situação de adequado suprimento de magnésio variou entre 22 e 25%, e, portanto, é a faixa em que se pode esperar a máxima produção desse capim. Consolmagno Neto (2006) determinou que as máximas produções de massa seca da parte aérea e das raízes do capim-Tanzânia foram atingidas na dose de

2,00 mmol L⁻¹ de magnésio e acrescentou que para tanto, a participação do magnésio na soma dos três macronutrientes situava-se entre 19 e 22%. Os valores dessa participação do magnésio no conjunto desses três nutrientes estão muito próximos em ambos os experimentos.

Miller (1999) verificou que o aumento do suprimento de potássio às plantas resultou em redução da concentração tanto de cálcio quanto de magnésio na parte aérea de grama-Bermuda (*Cynodon dactylon*). Avaliando a composição catiônica de plantas de festuca submetidas às aplicações de fertilizantes potássicos e magnesianos, West e Reynolds (1984) observaram que a aplicação de magnésio ao solo, na maioria dos casos, não aumentou a concentração de magnésio nas plantas e que tanto a fertilização com potássio quanto com magnésio não resultaram em alteração na concentração de cálcio no tecido vegetal. Porém, Mundy (1984), estudando o efeito do suprimento de potássio em azevém, constatou que o incremento das doses de potássio reduziu tanto a concentração de cálcio quanto de magnésio nas plantas. Em estudo anterior, Mundy (1983) verificou comportamento semelhante com plantas de azevém, quando o potássio disponível severamente reduziu as concentrações de cálcio e magnésio nas plantas.

Figura 31 - Participação percentual de potássio (K), magnésio (Mg) e cálcio (Ca) na parte aérea do capim-Tanzânia coletada no primeiro corte, em função das doses de magnésio na solução nutritiva. Porcentagens relativas seguidas da mesma letra, dentro de cada nutriente, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 99% de probabilidade

Figura 32 - Participação percentual de potássio (K), magnésio (Mg) e cálcio (Ca) na parte aérea do capim-Tanzânia coletada no segundo corte, em função das doses de magnésio na solução nutritiva. Porcentagens relativas seguidas da mesma letra, dentro de cada nutriente, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 99% de probabilidade

4.9 Sintomas visuais

As plantas de capim-Tanzânia apresentaram sintomas visuais de deficiência tanto de fósforo quanto de magnésio nos dois crescimentos avaliados. Na segunda semana após o transplante das mudas para os vasos foi possível visualizar sintomas de deficiência de fósforo nas plantas cultivadas nas doses de 0,2 e 0,6 mmol L⁻¹, que se caracterizaram por um desenvolvimento reduzido, com pequenos números de folhas e de perfilhos, comprometendo o desenvolvimento (Figura 33). Esses sintomas persistiram até o segundo corte das plantas.

A concentração de fósforo, nas lâminas de folhas recém-expandidas dos tratamentos que apresentaram sintomas de deficiência de fósforo, variou 1,13 e 1,46 g kg⁻¹ de massa seca no primeiro corte e, entre 0,75 e 1,27 g kg⁻¹ de massa seca no segundo corte

As mais altas doses de fósforo proporcionaram maiores crescimentos, tanto de parte aérea quanto de raízes o que, por consequência, diluiu o magnésio nos tecidos vegetais e provocou a deficiência observada em baixa disponibilidade de magnésio.

Figura 33 - Plantas de capim-Tanzânia supridas com $0,2 \text{ mmol L}^{-1}$ (esquerda) e $1,00 \text{ mmol L}^{-1}$ (direita) de fósforo combinadas a dose de magnésio de $0,05 \text{ mmol L}^{-1}$, aos 29 dias após o transplante das mudas para os vasos

Na época do primeiro corte (aos 29 dias após o transplante das mudas), foi possível visualizar que nas doses de fósforo de $1,00$ e $1,80 \text{ mmol L}^{-1}$, combinadas com a dose de magnésio de $0,05 \text{ mmol L}^{-1}$, as plantas apresentavam clorose generalizada, além de mostrarem-se prostradas (sintoma de acamamento) como mostrado na Figura 34.

Figura 34 - Clorose generalizada e sintoma de acamamento das plantas de capim-Tanzânia aos 28 dias após o transplante, com baixa dose de magnésio ($0,05 \text{ mmol L}^{-1}$) combinada com doses de fósforo de $1,00$ e $1,80 \text{ mmol L}^{-1}$ da esquerda para a direita, respectivamente

Os primeiros sintomas visuais de deficiência de magnésio foram registrados aos 14 dias após o transplante das mudas para os vasos, com as doses de magnésio de $0,05 \text{ mmol L}^{-1}$. Esses sintomas caracterizaram-se pelo aparecimento de clorose entre as nervuras das lâminas foliares mais velhas. Aos 26 dias após o transplante, todos os vasos que receberam a dose de magnésio de $0,05 \text{ mmol L}^{-1}$ combinadas com as doses

de fósforo mais altas que $1,00 \text{ mmol L}^{-1}$ apresentavam sintomas visuais de deficiência de magnésio. Na ocasião, a clorose internerval já era possível de ser visualizada em lâminas de folhas recém-expandidas e generalizada em folhas mais velhas. Estes sintomas podem ser visualizados em detalhes na Figura 35.

As plantas com sintomas de deficiência de magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas apresentaram concentrações que variaram entre $0,41$ e $0,98 \text{ g kg}^{-1}$ de massa seca no primeiro corte e entre $0,33$ e $0,71 \text{ g kg}^{-1}$ de massa seca no segundo corte.

Figura 35 - Sintomas de deficiência de magnésio em lâminas de folhas maduras, em diversos estádios de desenvolvimento do capim-Tanzânia

Aos 14 dias após a realização do primeiro corte das plantas, foi possível a visualização de sintomas de deficiência de zinco nas lâminas de folhas mais novas, nos tratamentos com as doses de fósforo de 1,4 e 1,8 mmol L⁻¹. Esse sintoma caracterizou-se por manchas necróticas (bronzeamento) nas folhas e nervura central esbranquiçada (Figura 36). Manarin (2005) verificou semelhantes sintomas visuais de deficiência de zinco em capim-Tanzânia, em experimento combinando doses de fósforo (iguais às do presente experimento) com doses de zinco que variaram entre 0 e 1,0 µmol L⁻¹.

Figura 36 - Sintomas de deficiência de zinco em lâminas foliares do capim-Tanzânia suprido com dose de fósforo 1,40 mmol L⁻¹

5 CONCLUSÕES

A combinação entre o fósforo e o magnésio altera a produção de massa seca da parte aérea e das raízes, área foliar, concentração de fósforo nas lâminas de folhas recém-expandidas, comprimento de raízes, superfície específica de raízes e concentrações de fósforo e de magnésio nas raízes, no segundo corte do capim-Tanzânia.

As doses de fósforo determinam a produção de massa seca da parte aérea, número de folhas e de perfilhos, valor SPAD, área foliar e concentração de fósforo nas lâminas de folhas recém-expandidas, no primeiro corte do capim. No segundo corte do capim, influenciam o número de folhas e de perfilhos, o comprimento radicular específico e as concentrações de cálcio e magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas.

As doses de magnésio, no crescimento inicial do capim-Tanzânia, são fundamentais para a produção de massa seca da parte aérea, valor SPAD e concentrações de fósforo, magnésio e potássio nas lâminas de folhas recém-expandidas e, no segundo crescimento nas concentrações de magnésio, potássio e zinco nas lâminas de folhas recém-expandidas.

O capim-Tanzânia tem suas maiores expressões com doses de fósforo e magnésio mais elevadas que $1,00 \text{ mmol L}^{-1}$ e $2,00 \text{ mmol L}^{-1}$, respectivamente, sendo que doses de fósforo de $0,2$ e $0,6 \text{ mmol L}^{-1}$ e de magnésio de $0,05$ e $0,70 \text{ mmol L}^{-1}$ resultam em sintomas visuais de deficiência.

A participação do magnésio na soma total de cátions situa-se entre 22 e 25%, quando da obtenção da produção máxima de massa seca do capim-Tanzânia.

REFERÊNCIAS

ABREU, J.B.R. **Níveis de nitrogênio e proporções de nitrato e amônio afetando a produção, atividade da redutase do nitrato e composição de três gramíneas forrageiras.** 1994. 109p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

ABREU, J.B.R.; MONTEIRO, F.A. Produção e nutrição do capim-Marandu em função da adubação nitrogenada e estádios de crescimento. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v.56, p.137-146, 1999.

ALMEIDA, J.C.R. **Combinação de doses de fósforo e magnésio na produção e nutrição de duas braquiárias.** 1998. 81p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

ALMEIDA, J.C.R.; MACEDO, M.C.M. ; VALE, C.B. Eficiência de diferentes fontes e doses de fósforo na produção de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk em Areia Quartzosa. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 8., 1996, Brasília, **Anais...** Brasília: EMBRAPA-CPAC, 1996. p.350-353.

ANDREW, C.S.; ROBINS, M.F. The effect of phosphorus on the growth, chemical composition, and critical phosphorus percentages of some tropical pasture grasses. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v.22, p.693-706, 1971.

ARONOVICH, S. O capim-Colonião e outros cultivares de *Panicum maximum* (Jacq): introdução e evolução do uso no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12., 1995, Piracicaba, **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1995. p.1-20.

BERGMANN, W. **Nutritional disorders of plants:** development, visual and analytical diagnosis. 2nd Ed., New York: Gustav Fischer Publishing House Jena, 1992. 741p.

BERINGER, H.; FORSTER, H. Einfluß variierter Mg-Ernährung auf Tausendkorngewicht und P-Fractionen des Gerstenkorns. **Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde**, Weinheim, v.144, p.8-15, 1981.

CONSOLMAGNO NETO, D. **Combinação de doses de potássio e magnésio na produção e nutrição mineral do capim-Tanzânia**. 2006. 82p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

CORRÊA, B.D. **Doses de nitrogênio e magnésio afetando aspectos produtivos e bioquímicos dos capins Colômbio, Tanzânia-1 e Vencedor**. 1996. 76p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

CORRÊA, L.A.; HAAG, H.P. Níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de gramíneas forrageiras em Latossolo Vermelho-Amarelo, álico: I: Ensaio em casa de vegetação. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.50, p.99-108, 1993a.

CORRÊA, L.A.; HAAG, H.P. Níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de gramíneas forrageiras em Latossolo Vermelho-Amarelo, álico: II: Experimento de campo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.50, p.109-116, 1993b.

CORRÊA, L.A.; SANTOS, P.M. **Sistemas de Produção**. In: Embrapa Pecuária Sudeste. Versão eletrônica, acesso em 29 ago. 2005.

CORRÊA, L.A.; FREITAS, A.R.; VITTI, G.C. Resposta de *Panicum maximum* cv. Tanzânia a fontes e doses de fósforo no estabelecimento. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34., 1997, Juiz de Fora, **Anais...** Juiz de Fora: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1998, p.190-193.

CORSI, M. Manejo de plantas forrageiras do gênero *Panicum*. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DA PASTAGEM, 9., 1988, Piracicaba, **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1988. p.57-75.

COSTA, G.G.; MONERATT, P.H.; GOMIDE, J.A. Efeito de doses de fósforo sobre o crescimento e teor de fósforo de capim-Jaraguá e capim-Colômbio. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.12, p.1-10, 1983.

COUTINHO, E.L.M.; SILVA, A.R.; MONTEIRO, F.A.; RODRIGUES, L.R.A. Adubação potássica em forrageiras. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 21., 2004, Piracicaba, **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2004. p.219-277.

CRESTANA, S.; GUIMARÃES, M.F.; JORGE, L.A.C.; RALISCH, R.; TOZZI, C.L.; TORRE, A. ; VAZ, C.M.P. Avaliação da distribuição de raízes no solo auxiliada por processamento de imagens digitais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.18, p.365-371, 1994.

CRUSCIOL, C.A.C.; MAUAD, M.; ALVAREZ, R.C.F.; LIMA, E.V. ; TIRITAN, C.S. Doses de fósforo e crescimento radicular de cultivares de arroz de terras altas. **Bragantia**, Campinas, v.64, p.643-649, 2005.

FAGERIA, N.K. Ionic interactions in rice plants from dilute-solutions. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.70, p.309-316, 1983.

FAGERIA, V.D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.24, p.1269-1290, 2001.

FEIBO, W.; LIANGHUAN, W. ; FUHUA, X. Chlorophyll meter to predict nitrogen sidedress requirements for short-season cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Field Crops Research**, Amsterdam, v.56, p.309-314, 1998.

FERREIRA, E.M.; SANTOS, A.C.; ARAÚJO, L.C. ; CUNHA, O.F.R. Produção de matéria seca, perfilhos e touceiras do *Panicum maximum* cv. Mombaça, submetido a diferentes níveis de fósforo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife, **Anais...** Recife: 2005. (1 CD-ROM)

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

GHERI, E.O.; CRUZ, M.C.P.; FERREIRA, M.E. ; PALMA, L.A.S. Nível crítico de fósforo no solo para *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p.1809-1816, 2000.

GOMIDE, J.A.; ZAGO, C.P.; RIBEIRO, A.C.; BRAGA, J.M.; MARTINS, O. Calagem, fontes e níveis de fósforo no estabelecimento e produção de capim-Colonião (*Panicum maximum* Jacq) no cerrado. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.15, p.241-246, 1986.

HOFFMANN, C.R. **Nutrição mineral e crescimento da braquiária e do colonião, sob influência das aplicações de nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre em Latossolo da região noroeste do Paraná**. 1992. 204p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1992.

HOFFMANN, C.R.; FAQUIN, V.; GUEDES, G.A.A. ; EVANGELISTA, A.R. O nitrogênio e o fósforo no crescimento da Braquiária e do Colonião em amostras de um Latossolo da região noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p.79-86, 1995.

JANK, L. Potencial do gênero *Panicum*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FORRAGEIRAS E PASTAGENS, 1., 1994, Campinas, **Anais...** Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 1994. p.25-31.

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

KAVANOVA, M.; LATTANZI, F.A.; GRIMOLDI, A.A. ; SCHNYDER, H. Phosphorus deficiency decreases cell division and elongation in grass leaves. **Plant Physiology**, Rockville, v.141, p.766-775, 2006.

LI, H.Y.; ZHU, Y.G.; SMITH, S.E. ; SMITH, F.A. Phosphorus-zinc interactions in two barley cultivars differing in phosphorus and zinc efficiencies. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.26, p.1085-1099, 2003.

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

LOBATO, E.; KORNELIUS, E. ; SANZONOWICZ, C. Adubação fosfatada em pastagens. In: MATTOS, H.B.; WERNER, J.C.; YAMADA, T.; MALAVOLTA, E. (Ed.). **Calagem e adubação de pastagens**. Nova Odessa: POTAFÓS, 1986. p.145-174.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.

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

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

MANARIN, S.A. **Combinações de doses de fósforo e de zinco em solução nutritiva para o capim-Tanzânia**. 2005. 68p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

MANFREDINI, D.; CONSOLMAGNO NETO, D. ; MONTEIRO, F.A. Relação entre potássio e magnésio na área foliar e na produção de folhas do capim-Tanzânia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife, **Anais...** Recife: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. (1 CD-ROM)

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

MARTINEZ, H.E.P. **Níveis críticos de fósforo em *Panicum maximum* (Stapf) Prain, *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweirdt, *Digitaria decumbens* Stent, *Hyparrhenia rufa* (Ness) Stapf, *Melinis minutiflora* Pal de Beauv, *Panicum maximum* Jacq. e *Pennisetum purpureum* Schum.** 1980. 90p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1980.

MARUN, F. **Produção de matéria seca e nutrição mineral de gramíneas forrageiras em função da relação Ca/Mg do corretivo**. 1990. 81p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1990.

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.

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.

MEIRELLES, N.M.F.; WERNER, J.C.; ABRAMIDES, P.L.G.; CARRIEL, J.M.; PAULINO, V.T.; COLOZZA, M.T. Nível crítico de fósforo em capim-Colômbia cultivado em dois tipos de solo: Latossolo Vermelho-Amarelo-Escuro e Podzólico Vermelho-Amarelo. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v.45, p.215-232, 1988.

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

MELO, S.P. **Silício e fósforo para o estabelecimento do capim-Marandu num Latossolo Vermelho-Amarelo**. 2005. 110p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

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

MESQUITA, E.E.; PINTO, J.C.; NETO, A.E.F.; DOS SANTOS, I.P.A. ; TAVARES, V.B. Teores críticos de fósforo em três solos para o estabelecimento de capim-Mombaça, capim-Marandu e capim-Andropogon em vasos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.33, p.290-301, 2004.

MILLER, G.L. Potassium application reduces calcium and magnesium levels in bermudagrass leaf tissue and soil. **Hortscience**, Alexandria, v.34, p.265-268, 1999.

MINOLTA CAMERA CORPORATION. **Manual for chlorophyllmeter SPAD-502**. Osaka: 1989. 22p.

MITIDIERI, F.J. **Respostas de cinco gramíneas forrageiras a níveis de calcário em um Latossolo Vermelho-Escuro**. 1995. 137p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

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.; MATTOS, W.T. ; MARTIM, R.A. Produção de matéria seca e sua distribuição na parte aérea de *Brachiaria decumbens* sob níveis de fósforo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 1993, Goiânia, **Resumos...** Goiânia: Astro, Gráfica e Editora., 1993. p.249-250.

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

MONTEIRO, F.A.; WERNER, J.C. Efeito das adubações nitrogenada e fosfatada em capim-Colômbio, na formação e em pasto estabelecido. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v.34, p.91-101, 1977.

MUNDY, G.N. Effects of potassium and sodium concentrations on growth and cation accumulation in pasture species grown in sand culture. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v.34, p.469-481, 1983.

MUNDY, G.N. Effects of potassium and sodium application to soil on growth and cation accumulation of herbage. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v.35, p.85-97, 1984.

MURPHY, L.S.; ELLIS JR., R. ; ADRIANO, D.C. Phosphorus-micronutrient interaction effects on crop production. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.3, p.593-613, 1981.

OLIVEIRA, P.P.A.; BOARETTO, A.E. ; TRIVELIN, P.C.O. Liming and fertilization to restore degraded *Brachiaria decumbens* pasture grown on an Entisol. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, p.125-131, 2003.

OLIVEIRA, T.N.; PAZ, L.G.; SANTOS, M.V.F.; DUBEUX JÚNIOR, C.B.; FERREIRA, R.L.C.; PIRES, A.J.V. ; SILVA, M.C. Influência do fósforo e de diferentes regimes de corte na produtividade e no perfilhamento do capim-de-raiz (*Chloris orthonoton* Doell). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.33, p.60-67, 2004.

OLSEN, S.R. Micronutrient interactions. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. (Ed). **Micronutrients in Agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p.243-261.

PEREIRA, W.L.M. **Doses de potássio e de magnésio em solução nutritiva para capim-Mombaça**. 2001. 124p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

PREMAZZI, L.M. **Saturação por bases como critério para recomendação de calagem em cinco forrageiras tropicais**. 1991. 124p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

RAIJ, B.van; SILVA, N.M.; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELLINAZZI JUNIOR, R.; DECHEN, A.R. ; TRANI, P.E. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Piracicaba: Instituto Agrônomo de Campinas, 1996. 105p.

RAO, I.M.; BORRERO, V.; RICAURTE, J.; GARCIA, R.; AYARZA, M.A. Adaptive attributes of tropical forage species to acid soils II. Differences in shoot and root growth responses to varying phosphorus supply and soil type. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.19, p.323-352, 1996.

REINBOTT, T.M.; BLEVINS, D.G. Phosphate interaction with uptake and leaf concentration of magnesium, calcium, and potassium in winter-wheat seedlings. **Agronomy Journal**, Madison, v.83, p.1043-1046, 1991.

REINBOTT, T.M.; BLEVINS, D.G. Phosphorus and temperature effects on magnesium, calcium, and potassium in wheat and tall fescue leaves. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, p.523-529, 1994.

REINBOTT, T.M.; BLEVINS, D.G. Phosphorus and magnesium fertilization interaction with soil phosphorus level: tall fescue yield and mineral element content. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.10, p.260-265, 1997.

ROSSI, C. **Nutrição em fósforo e atividade da fosfatase ácida nos capins Braquiária e Colonião**. 1999. 121p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

ROSSI, C.; MONTEIRO, F.A. Doses de fósforo, épocas de coleta e o crescimento e diagnose nutricional nos capins braquiária e colonião. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.56, p.1101-1110, 1999.

RUGGIERI, A.C.; RODRIGUES, L.R.A.; PACOLA, L.J.; FIGUEIREDO, L.A.; RAZOOK, A.G. ; MALHEIROS, E.B. Avaliação dos capins Colonião, Tanzânia 1 e Marandu sob pastejo durante o período de estação de monta. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34., 1997, Juiz de Fora, **Anais...** Juiz de Fora: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1997. p.237-239.

SABREEN, S.; SAIGA, S.; SAITOH, M.; TSUIKI, M. ; MAYLAND, H.F. Performance of high-magnesium cultivars of three cool-season grasses in nutrient solution culture. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.28, p.589-605, 2003.

SALEQUE, M.A.; ABEDIN, M.J.; AHMED, Z.U.; HASAN, M. ; PANAULLAH, G.M. Influences of phosphorus deficiency on the uptake of nitrogen, potassium, calcium, magnesium, sulfur, and zinc in lowland rice varieties. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.24, p.1621-1632, 2001.

SANTOS, A.C.; SANTOS, A.R.; LOMANTO NETO, R. ; SANTOS, L.G. Efeito da interação fósforo e magnésio na produção de massa seca em pastagens degradadas de *Brachiaria decumbens* Stapf. In: FERTBIO, 2002, **Resumos...** 2002. (1 CD-ROM)

SANTOS, A.C.; SANTOS, A.R. ; SANTOS, L.G. Teores de nutrientes em pastagens com Braquiária em função da interação fósforo e magnésio em um Latossolo Amarelo. **Magistra**, Cruz das Almas, v.16, p.9-18, 2004.

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

SANTOS, A.R.; SANTOS, A.C. Interação fósforo-magnésio na nutrição do capim-Braquiária num Latossolo Amarelo coeso do recôncavo baiano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003. Ribeirão Preto, **Anais...** Ribeirão Preto: 2003. (1 CD-ROM)

SANTOS, H.Q.; FONSECA, D.M.; CANTARUTTI, R.B.; ALVAREZ, V.H.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Níveis críticos de fósforo no solo e na planta para gramíneas forrageiras tropicais, em diferentes idades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.173-182, 2002.

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

SARRUGE, J.R. Soluções nutritivas. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v.1, p.231-233, 1975.

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

SAS Institute Inc. SAS/STAT. **User's guide**, version 8.0. Cary: SAS Institute, 2000.

SAVIDAN, Y.H.; JANK, L. ; COSTA, J.C.G. **Registro de 25 acessos selecionados de *Panicum maximum***. Campo Grande: EMBRAPA-CNPGC, 1990. 68p. (EMBRAPA-CNPGC, Documentos, 44)

SILCOCK, R.G.; NOBLE, A. ; WHALLEY, R.D.B. Importance of phosphorus and nitrogen in nutrition of grass seedlings growing in Mulga soil. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v.27, p.583-592, 1976.

SILVA, J.E.P. **Parâmetros produtivos e atividade de fosfatase ácida em três gramíneas forrageiras cultivadas com doses de fósforo**. 1996. 81p. Tese (Doutorado e Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

SILVA, S.C. Fundamentos para o manejo do pastejo de plantas forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 2., 2004, Viçosa, **Anais...** Viçosa: 2004. p.347-385.

SILVEIRA, C.P. **Produção e nutrição mineral do capim-Tanzânia com variável disponibilidade de nitrogênio e cálcio**. 2005. 87p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SKERMANN, P.J.; RIVEROS, F. **Gramíneas tropicales**. N° 23., Roma,: FAO, 1992. 849p. (Coleção FAO. Producción y Protección Vegetal)

SKINNER, P.W.; MATTHEWS, M.A. A novel interaction of magnesium translocation with the supply of phosphorus to roots of grapevine (*Vitis vinifera* L.). **Plant, Cell and Environment**, Logan, v.13, p.821-826, 1990.

SOARES, E. **Influência do teor de potássio trocável no solo na absorção de cálcio e magnésio pela soja (*Glycine max* (L) Merrill)**. 1978. 148p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1978.

SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed., Planaltina,: EMBRAPA-CPAC, 2004. 416p.

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

WERNER, J.C.; HAAG, H.P. Estudos sobre a nutrição mineral de alguns capins tropicais. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v.29, p.191-245, 1972.

WERNER, J.C.; PAULINO, V.T. ; CANTARELLA, H. Forrageiras. In: RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, Fundação IAC, 1996. p.263-273. (Boletim Técnico, 100)

WEST, J.W.; REYNOLDS, J.H. Cation composition of tall fescue forage as affected by K and Mg fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v.76, p.676-680, 1984.