

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

**Aspectos metabólicos, nutricionais e produtivos de cultivares de  
*Brachiaria* e *Panicum* visando eficiência no uso do nitrogênio**

**Tiago Barreto Garcez**

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

**Piracicaba  
2013**

Tiago Barreto Garcez  
Engenheiro Agrônomo

**Aspectos metabólicos, nutricionais e produtivos de cultivares de *Brachiaria* e  
*Panicum* visando eficiência no uso do nitrogênio**

Orientador:  
Prof. Dr. FRANCISCO ANTONIO MONTEIRO

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

**Piracicaba  
2013**

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

Garcez, Tiago Barreto

Aspectos metabólicos, nutricionais e produtivos de cultivares de *Brachiaria* e *Panicum* visando eficiência no uso do nitrogênio / Tiago Barreto Garcez. - - Piracicaba, 2013.

103 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2013.

1. Aminoácidos 2. Amônio 3. Área foliar 4. Comprimento radicular 5. Glutamina sintetase 6. Nitrato 7. Nitrato redutase 8. NUE 9. Proporção de massa seca 10. Superfície radicular I. Título

CDD 633.2  
G215a

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

Aos meus pais **João e Célia**, pelo amor e exemplo de Deus em minha vida. Com vocês tudo ficou mais fácil e alegre.

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

Aos meus irmãos **Lênio, Lucas, Carol, Flávia, Isabela e Júlio** e as minhas sobrinhas **Belinha, Manu e Lulu**, que estão sempre presentes em minha vida. Amo muito vocês.

A todos os **Tios, Tias, Primos, Primas, Sogra e Sogra** que sempre estiveram comigo durante esta caminhada dando força e amor. Agradeço a Deus sempre, por ter vocês em minha vida.

À minha esposa, **Juliane**, que, de um namoro inocente, virou o amor de minha vida. Amo-te do fundo do meu coração e nada vai conseguir apagar isso de mim.

Ao meu querido e amado filho, **João**, mesmo tão pequeno, se mostra uma pessoa tão forte. Muito obrigado, por não me deixar desanimar e ser um amigo tão carinhoso. Beijos, papo te ama.

**DEDICO**



## AGRADECIMENTOS

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

Ao Professor Francisco Antonio Monteiro, pela amizade, compreensão e ensinamentos dados desde que nos conhecemos. Muito obrigado pelo apoio e por estar sempre à disposição para ajudar;

Aos professores da pós-graduação da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, que me proporcionaram exemplos e ensinamentos que pretendo levar para a vida;

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

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento do projeto;

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

Aos colegas e amigos de pós-graduação, por toda ajuda, companheirismo, partilha dos conhecimentos e horas de descontração. Meus sinceros agradecimentos a: Adriana Guirado Artur, Ana Paula Neto, Ana Paula Telles, Beatriz Nastaro, Carla Elisa Alves Bastos, Elisângela Dupas, Fabiana Schmidt, Flávio Henrique Silveira Rabêlo, Ioná Rech, Lucíola Ellen Calió Martins, Marcio Mahmoud Megda, Marcos Rodrigues, Michele Megda, Roberta Corrêa Nogueirol, Saimon Souza, Salim Jacaúna de Souza Junior, Wilfrancesco Herrera;

Ao grupo de estagiários da Nutrição Mineral de Plantas, em especial a Henrique B. Brunetti, pelo apoio e amizade durante a condução do experimento;

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

**“Don't worry about a thing,  
'Cause every little thing  
Gonna be all right.”**

**ROBERT NESTA MARLEY**





## SUMÁRIO

RESUMO .....	13
ABSTRACT .....	15
1 INTRODUÇÃO.....	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	19
2.1 Características dos cultivares.....	19
2.1.1 <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu .....	19
2.1.2 <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Xaraés .....	19
2.1.3 <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Piatã.....	20
2.1.4 <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk .....	20
2.1.5 <i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia .....	21
2.1.6 <i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça.....	21
2.1.7 <i>Panicum maximum</i> cv. Aruana.....	21
2.1.8 <i>Panicum maximum</i> x <i>Panicum infestum</i> cv. Massai.....	22
2.2 Nitrogênio no solo .....	22
2.3 Absorção de nitrogênio pelas plantas .....	23
2.4 Assimilação de nitrogênio pelas plantas.....	24
2.5 Uso do nitrogênio pelas plantas forrageiras .....	25
Referências .....	28
3 MODIFICAÇÕES NO CRESCIMENTO DE CULTIVARES DE <i>PANICUM</i> E <i>BRACHIARIA</i> EM ALTA E BAIXA DOSES DE NITROGÊNIO.....	37
Resumo .....	37
Abstract.....	37
3.1 Introdução.....	38
3.2 Material e métodos .....	39
3.2.1 Material vegetal e condução em casa de vegetação .....	39
3.2.2 Caracterização do solo.....	40
3.2.3 Sistema de irrigação.....	40
3.2.4 Avaliações realizadas .....	40
3.2.5 Análise estatística .....	41
3.3 Resultados.....	41
3.3.1 Número de folhas, número de perfilhos, área foliar e produção de massa seca da parte aérea.....	41

3.3.2 Superfície, comprimento e produção de massa seca das raízes .....	47
3.3.3 Proporção da produção de massa seca .....	48
3.4 Discussão .....	49
3.5 Conclusões .....	53
Referências.....	53
4 MODIFICAÇÕES E EFICIÊNCIA NO USO DO NITROGÊNIO POR CULTIVARES DE <i>PANICUM</i> E <i>BRACHIARIA</i> EM ALTA E BAIXA DOSES DE NITROGÊNIO .....	57
Resumo .....	57
Abstract .....	57
4.1 Introdução .....	58
4.2 Material e métodos.....	59
4.2.1 Material vegetal e condução em casa de vegetação.....	59
4.2.2 Caracterização do solo .....	60
4.2.3 Sistema de irrigação.....	60
4.2.4 Avaliações realizadas.....	61
4.2.5 Análise estatística.....	61
4.3 Resultados .....	61
4.3.1 Nitrogênio total, nitrato e amônio na parte aérea.....	61
4.3.2 Nitrogênio total, nitrato e amônio nas raízes .....	68
4.3.3 Proporções de nitrogênio total, nitrato e amônio nas plantas .....	70
4.3.4 Eficiência de uso do nitrogênio.....	71
4.4 Discussão .....	73
4.5 Conclusões .....	77
Referências.....	77
5 MODIFICAÇÕES NO METABOLISMO DO NITROGÊNIO DE CULTIVARES DE <i>PANICUM</i> E <i>BRACHIARIA</i> EM ALTA E BAIXA DOSES DE NITROGÊNIO .....	83
Resumo .....	83
Abstract .....	83
5.1 Introdução .....	84
5.2 Material e métodos.....	85
5.2.1 Material vegetal e condução do experimento em casa de vegetação.....	85
5.2.2 Avaliações realizadas no período experimental.....	87
5.2.3 Análise estatística.....	88
5.3 Resultados .....	89

5.3.1 Produção de massa seca da parte aérea e das raízes .....	89
5.3.2 Nitrogênio total, nitrato e amônio nas folhas diagnósticas (LR) e raízes.....	90
5.3.3 Atividades das enzimas nitrato redutase e glutamina sintetase nas folhas diagnósticas e nas raízes.....	92
5.3.4 Concentrações de aminoácidos livres totais nas folhas diagnósticas e raízes .....	93
5.4 Discussão .....	95
5.5 Conclusões.....	98
Referências .....	98
6 CONCLUSÕES GERAIS .....	103



## RESUMO

### **Aspectos metabólicos, nutricionais e produtivos de cultivares de *Brachiaria* e *Panicum* visando eficiência no uso do nitrogênio**

O melhor entendimento sobre os aspectos metabólicos, nutricionais e produtivos das gramíneas forrageiras quanto ao uso do nitrogênio é necessário para aumentar a eficiência de uso do nutriente e para a sustentabilidade da produção pecuária. Com isso, objetivou-se analisar alguns cultivares de gramíneas forrageiras utilizados em pastagens no Brasil, quanto a: I) modificações morfológicas e produtivas da parte aérea e das raízes; II) formas de partição do nitrogênio absorvido para melhorar a eficiência de uso do nitrogênio e III) forma de assimilação do nitrogênio absorvido, sendo avaliados pelas variáveis: produção de massa seca, números de folhas e perfilhos, área foliar, concentração e conteúdos de nitrogênio total, nitrato e amônio, eficiência de uso do nitrogênio, atividades das enzimas nitrato redutase e glutamina sintetase e concentração de aminoácidos livres totais na parte aérea e nas raízes dessas gramíneas, quando submetidas a alta e baixa dose de nitrogênio. Na baixa dose de nitrogênio os cultivares Marandu, Xaraés, Piatã, Basilisk e Mombaça mantiveram o número de perfilhos constante e diminuíram o número de folhas e a área foliar, enquanto o cultivar Tanzânia manteve o número de perfilhos e área foliar constantes e reduziu o número de folhas e os cultivares Aruana e Massai aumentaram o número de perfilhos e de folhas e reduziram a área foliar. A baixa dose de nitrogênio resultou em proporções da massa seca da parte aérea e das raízes distintas entre os cultivares quando comparada à alta dose de nitrogênio, favorecendo o crescimento das raízes. Os cultivares estudados modificaram a partição de nitrogênio, nitrato e amônio da parte aérea e raízes, quando em alto e baixo suprimento de nitrogênio. Essas diferenças refletiram na mais alta eficiência de uso do nitrogênio pelos cultivares Mombaça e Tanzânia. A assimilação do nitrato ocorreu principalmente na parte aérea desses capins. Os cultivares Mombaça e Aruana apresentaram elevadas atividades da enzima nitrato redutase nas folhas diagnósticas. A atividade da enzima glutamina sintetase nas folhas diagnósticas foi mais elevada nos cultivares de *Panicum*. A concentração de amônio nas raízes foi mais alta nos cultivares Piatã e Xaraés, na baixa dose de nitrogênio, e nos capins Aruana e Mombaça, na dose alta de nitrogênio. A concentração de aminoácidos totais nas folhas diagnósticas foi mais elevada nos cultivares de *Panicum*, quando submetidos à alta dose de nitrogênio, enquanto nas raízes foi maior nos cultivares de *Brachiaria*, nas duas doses de nitrogênio.

Palavras-chave: Aminoácidos; Amônio; Área foliar; Comprimento radicular; Glutamina sintetase; Nitrato; Nitrato redutase; NUE; Proporção de massa seca; Superfície radicular



## ABSTRACT

### **Metabolic, nutritional and production aspects of *Brachiaria* and *Panicum* cultivars aiming nitrogen use efficiency**

A better understanding of the metabolic, nutritional and production aspects of nitrogen use by grasses are needed to increase nutrient use efficiency and livestock production sustainability. Thus, this study aimed to analyze some forage grasses cultivars used in Brazilian pastures, for: i) morphological and production changes in shoots and roots; II) absorbed nitrogen partition to improve nitrogen use efficiency and III) nitrogen assimilation, evaluated by the variables: dry matter production, number of leaves and tillers, leaf area, concentration and content of total nitrogen, nitrate and ammonium, nitrogen use efficiency, nitrate reductase and glutamine synthetase activities and free amino acids concentration in shoots and roots of these grasses, when supplied with high and low nitrogen rates. At low nitrogen rate, Marandu, Xaraés, Piatã, Basilisk and Mombaça cultivars kept the number of tillers constant and decreased the number of leaves and leaf area, while Tanzânia cultivar kept the number of tillers and leaf area constant and reduced the number of leaves, and Aruana and Massai cultivars increased the number of tillers and leaves and reduced leaf area. The low nitrogen rate resulted in different shoots to roots proportions among cultivars when compared to the higher nitrogen rate, which favored roots growth. The cultivars changed the partition of nitrogen, nitrate and ammonium between roots and shoots, in both nitrogen rates. These differences reflect the higher nitrogen use efficiency by Mombaça and Tanzânia cultivars. The nitrate assimilation occurred mainly in the shoots of these grasses. Mombaça and Aruana cultivars showed high nitrate reductase activity in diagnostic leaves. The glutamine synthetase activity in diagnostic leaves was higher in *Panicum* cultivars. Ammonium concentration in the roots was high in Piatã and Xaraés, at low nitrogen rate, and Aruana and Mombaça grasses, at high nitrogen rate. The total amino acids concentration in diagnostic leaves was higher in *Panicum* cultivars than in *Brachiaria* cultivars, when high nitrogen rate was supplied, whereas *Brachiaria* cultivars had this concentration high in the roots, at the two nitrogen rates.

**Keywords:** Amino acids; Ammonia; Glutamine synthetase; Leaf area; Nitrate; Nitrate reductase; NUE; Partition of dry mass; Root length; Root surface





## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui área territorial de 850 milhões de hectares, dos quais 58 milhões de hectares correspondem às áreas de pastagens naturais e 102 milhões de hectares de pastagens plantadas (totalizando 160 milhões de hectares de pastagens), na maior parte estabelecidas em solos com baixa fertilidade. Somente a quantidade de bovinos utilizando essas pastagens atinge cerca de 200 milhões de cabeças, as quais são manejadas principalmente de forma extensiva em pastos formados por gramíneas dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum*.

Os cultivares de *Brachiaria ssp.* e *Panicum ssp.* utilizados no Brasil foram selecionados naturalmente em suas regiões de origem, em condições edafoclimáticas distintas e depois trazidos ao país e selecionados por critérios produtivos visando a produção animal somente em pasto. Entretanto, os mecanismos adaptativos desses cultivares a situações de estresse foram pouco estudados. O conhecimento dessas características é de extrema importância para o uso eficiente dos nutrientes e em especial do nitrogênio, em razão das baixas permanência e disponibilidade nos solos.

O nitrogênio é o nutriente mais limitante para produção de pastagens e o incremento no seu fornecimento resulta em aumento na produção de massa e na concentração e conteúdo de nitrogênio em plantas forrageiras. O nitrato e o amônio são as principais formas inorgânicas de nitrogênio disponíveis para as plantas. O nitrato quando absorvido, pode ser reduzido a amônio, sendo rapidamente assimilado em compostos orgânicos, ou acumulado nos vacúolos. Por sua vez, o amônio é rapidamente convertido a aminoácidos, mas é altamente tóxico para as células vegetais quando em excesso.

As plantas possuem diversos mecanismos para melhor aproveitar o nitrogênio, como: rápida absorção, alocação e armazenamento em partes específicas, reutilização do nitrogênio incorporado em tecidos mais velhos, mobilização e/ou acúmulo de reservas em estruturas prioritárias ao desenvolvimento, entre outras. A ocorrência desses mecanismos depende do funcionamento e atividade das enzimas ligadas ao metabolismo do nitrogênio. A redução do nitrogênio na forma de nitrato acontece por meio das enzimas redutase do nitrato (RNa) e redutase do nitrito (RNi), porém a etapa de redução do nitrato a nitrito pela RNa é considerada a etapa chave na absorção. Na assimilação do amônio, a glutamina sintetase promove a combinação do amônio com glutamato para formar a glutamina.

A importância de conhecer os mecanismos metabólicos, nutricionais e produtivos das espécies de gramíneas forrageiras é evidente para o melhor aproveitamento e seleção de cultivares melhores adaptados a ambiente de estresse mineral. A adaptação de espécies

vegetais a ambientes com estresse mineral é tema em evidência e ao aproveitar a vantagem das características adaptativas será possível direcionar as pesquisas e melhor utilizar as espécies de gramíneas forrageiras.

Com isso, objetivou-se analisar as gramíneas forrageiras *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, *B. brizantha* cv. Xaraés, *B. brizantha* cv. Piatã, *B. decumbens* cv. Basilisk, *Panicum maximum* cv. Mombaça, *P. maximum* cv. Tanzânia, *P. maximum* cv. Aruana e *P. maximum* x *P. infestum* cv. Massai quanto às: I) modificações morfológicas e produtivas da parte aérea e das raízes; II) formas de partição do nitrogênio absorvido para melhorar a eficiência de uso do nitrogênio; III) forma de assimilação do nitrogênio absorvido, sendo avaliados pelas variáveis: produção de massa seca, número de folhas e perfilhos, área foliar, concentração e conteúdo de nitrogênio total, nitrato e amônio, eficiência de uso do nitrogênio, atividades das enzimas nitrato redutase e glutamina sintetase e concentração de aminoácidos livres totais na parte aérea e nas raízes dessas gramíneas, quando submetidas a alta e baixa dose de nitrogênio.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Características dos cultivares**

#### **2.1.1 *Brachiaria brizantha* cv. Marandu**

O cultivar é originário do Zimbábue, África, uma região vulcânica onde os solos apresentam bons níveis de fertilidade (BOGDAN, 1977), sendo que o cultivar Marandu, lançado em 1984 pela EMBRAPA - CNPQC, teve sua origem em germoplasmas introduzidos na região de Ibirarema em São Paulo (NUNES; BOOK; PENTEADO, 1985; SKERMAN; RIVEROS, 1990). De acordo com Nunes, Book e Penteado (1985) é um cultivar forrageiro cespitoso, muito robusto, de 1,5 a 2,5 m de altura quando em livre crescimento, com colmos iniciais prostrados, mas que produz perfilhos predominantemente eretos. Possui rizomas curtos e encurvados e com folhas pouco pilosas na face ventral e sem pilosidade na face dorsal, bainhas pilosas e inflorescências com até 40 cm de comprimento, com quatro a seis ráceros.

Apresenta boa produtividade de forragem, proporciona boa cobertura do solo, possui capacidade de competição com invasoras e tem estabelecimento rápido. É altamente responsiva à adubação nitrogenada, quando os outros nutrientes estão em teores adequados no solo (ALVIM et al., 1990; EMBRAPA, 2010). Por outro lado, apresenta a necessidade de moderada fertilidade do solo para seu desenvolvimento (BOGDAN, 1977; SKERMAN; RIVEROS, 1990).

#### **2.1.2 *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés**

O cultivar Xaraés foi, originalmente, coletado em Burundi, África. Foi estudado pela Embrapa Cerrados, Embrapa Amazônia Oriental, Embrapa Gado de Leite, Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira, Instituto de Zootecnia, Universidade Estadual de Maringá e Associação para o Fomento à Pesquisa de Melhoramento de Forrageiras Tropicais (EMBRAPA, 2010). Foi lançado em 2002 pela EMBRAPA - CNPQC para ser outra opção na formação de pastagens no Brasil Central (VALLE et al., 2003). É mais tolerante a solos com drenagem restrita do que o cultivar Marandu. Possui alta produtividade, principalmente de folhas, rápida rebrotação e florescimento tardio, alto valor nutritivo e alta capacidade de suporte, resultando em maior produtividade animal quando comparado ao cultivar Marandu (VALLE; EUCLIDES; MACEDO, 2001).

Esse capim possui crescimento cespitoso, colmos verdes de 6 mm de diâmetro e pouco ramificados. Apesar do porte ereto (crescimento em touceiras), apresenta colmos finos com nós que podem enraizar em contato com o solo, gerando novas plantas. A bainha apresenta pelos claros, duros, ralos, mas densos apenas nos bordos; a lâmina foliar tem coloração verde-escura, com até 64 cm de comprimento e 3 cm de largura, com pilosidade curta na face superior e bordos ásperos (EMBRAPA-CNPGC, 2004). É indicado para solo de média fertilidade e nesta condição apresenta boa persistência e produtividade (EMBRAPA-CNPGC, 2004; EMBRAPA, 2010).

### **2.1.3 *Brachiaria brizantha* cv. Piatã**

O cultivar Piatã foi originalmente coletado na região de Welega, na Etiópia, África e selecionado após 16 anos de avaliações pela Embrapa Cerrado. A planta possui crescimento ereto e cespitoso (forma touceira). Apresenta colmos verdes e finos, as bainhas foliares possuem poucos pelos claros e a lâmina foliar é áspera na face superior e tem bordas serrilhadas e cortantes. Apresenta perfilhamento aéreo e possui inflorescência com maior número de ráculos (até 12) que dos outros cultivares de *Brachiaria brizantha*. Possui elevada taxa de crescimento, rebrotação mais rápida e maior número de folhas e tolerância a solos com baixa drenagem do que o cultivar Marandu. O capim-piatã tolera solos de média fertilidade (VALLE et al., 2007; EMBRAPA, 2010; EMBRAPA-CNPGC, 2010).

### **2.1.4 *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk**

O cultivar Basilisk recebe este nome pois é importado da Austrália, da região denominada Basilisk. Ocorre de forma nativa no leste tropical da África em altitude maior do que 800 m, sob clima moderadamente úmido, em pastagens abertas ou em áreas com arbustos esporádicos. Sua chegada ao Brasil ocorreu na década de 1950, para posteriormente, em meados de 1970 a 1980, ter ocorrido sua expansão. É um cultivar perene, com 60 a 100 cm de altura, sub-ereta e robusta (SOARES FILHO, 1994).

Os rizomas apresentam-se em forma de nódulos pequenos e emitem grande quantidade de estolões, os quais enraízam com facilidade. As folhas são rígidas e esparsamente pilosas (SOARES FILHO, 1994). É bem adaptado às condições de baixa fertilidade de solo e ao clima tropical. As folhas são linear-lanceoladas, rígidas e esparsamente pilosas. A inflorescência é formada por 1-5 racemos. Apresenta bom número de perfilhos, o que confere boa cobertura de solo. É tolerante a solos de baixa fertilidade e pouco sensível à variação de umidade do solo (EMBRAPA, 2010).

### **2.1.5 *Panicum maximum* cv. Tanzânia**

O cultivar Tanzânia foi originalmente coletado na Tanzânia, África. Lançado em parceria com a Embrapa Acre, Embrapa Cerrados, Embrapa Amazônia Oriental, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Instituto Agronômico do Paraná e Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira, em 1990. O cultivar apresenta crescimento cespitoso, folhas decumbentes, com 2 a 2,6 cm de largura, colmos levemente arroxeados, folhas e bainhas sem pilosidade ou cerosidade. As inflorescências são do tipo panícula (EMBRAPA, 2010).

Esse capim Tanzânia possui elevado valor nutritivo e alimentício, resistência moderada à cigarrinha das pastagens, manejo fácil quanto à uniformidade de pastejo e maior relação folha:haste. São caracterizados por serem exigentes em fertilidade do solo e de elevada produção de massa seca (MACHADO et al., 1998; REGO, 2001; EMBRAPA, 2010).

### **2.1.6 *Panicum maximum* cv. Mombaça**

O cultivar Mombaça foi originalmente coletado na Tanzânia, África e lançado pela EMBRAPA-CNPGC em 1993 (SAVIDAN, 1990), em parceria com a Embrapa Acre, Embrapa Cerrados, Embrapa Amazônia Oriental, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Instituto Agronômico do Paraná e Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira. Esse cultivar apresenta alta produtividade, sendo usado em sistemas intensificados de produção animal. Necessita de solo com alta fertilidade para o desenvolvimento do seu potencial produtivo (EMBRAPA, 2010).

A planta é ereta e cespitosa, com uma altura média 1,65 m quando em livre crescimento, alta porcentagem de folhas e apenas 10% de sua produção ocorrendo na estação seca (CARNEVALLI, 2003). O cultivar apresenta boa qualidade nutricional e alta resposta à adubação, porém é altamente exigente em fertilidade do solo para boa produção e cobertura do solo.

### **2.1.7 *Panicum maximum* cv. Aruana**

O *Panicum maximum* Jacq. cv. Aruana foi lançado pelo Instituto de Zootecnia em Nova Odessa em 1989 como opção para formação de pastagens e até hoje tem destaque na Unidade de Ovinos desse Instituto. O cultivar possui o porte médio podendo atingir até 80 cm com rápido perfilhamento e livre crescimento. As plantas desse cultivar possuem hábito de crescimento cespitoso, com crescimento em touceiras e alta capacidade de perfilhamento,

resultando em alto potencial para cobrir o solo. Possui alta palatabilidade por bovinos, ovinos e equinos, além de poder ser usado em consórcio com leguminosas (COLOZZA et al., 2000).

### **2.1.8 *Panicum maximum* x *Panicum infestum* cv. Massai**

O cultivar Massai (Orstom T21; BRA- 007102) é um híbrido espontâneo entre *Panicum maximum* e *Panicum infestum*, coletado na rota entre Bagamoyo e Dares Salaam, na Tanzânia, África, em 1969, pelo Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento- IRD (PERNÈS, 1975; JANK et al., 1997) e possui ampla faixa de adaptação nas Regiões Norte e Centro-Oeste do Brasil (JANK et al., 1993; JANK, 1995; VALENTIM; VAZ, 2001).

Essa gramínea possui hábito de crescimento cespitoso, com altura média de 65 cm e alta densidade de perfilhos, folhas finas de 1 cm de espessura e decumbentes. As lâminas e bainhas apresentam pelos curtos e duros. O cultivar apresenta boa produção no período seco, por apresentar sistema radicular profundo (BONO; MACEDO; EUCLIDES, 2000; EUCLIDES et al., 2000; VALENTIM; VAZ, 2001). Segundo Bono Macedo e Euclides (2000), este cultivar apresenta, de maneira geral, sistema radicular com alta adaptabilidade às condições adversas do solo como fertilidade, acidez e compactação, quando comparadas aos cultivares Mombaça e Tanzânia.

## **2.2 Nitrogênio no solo**

O nitrogênio está presente no planeta em diversas formas. De acordo com Stevenson (1982) e Novais et al. (2007), o nitrogênio presente na litosfera na forma de rochas ígneas e de sedimentos fósseis e marinhos representa a maior porção do nitrogênio presente no planeta. O nitrogênio também pode ser encontrado na atmosfera, onde representa 78% do volume (NOVAIS et al., 2007) e na hidrosfera. A maior parte do nitrogênio do solo provém da atmosfera por meio de deposição atmosférica ou fixação biológica (MARSCHNER, 1995). Todavia, a disponibilidade desse nutriente para o crescimento vegetal também é dependente de outros fatores como ciclagem de nutrientes, mineralização da matéria orgânica realizada por microrganismos e uso de fertilizantes (TAIZ; ZEIGER, 2013).

O nitrogênio pode estar no solo nas formas inorgânicas, como: amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), óxido nítrico (NO) e o nitrogênio elementar ( $\text{N}_2$ ); e orgânicas, como: proteínas, aminoácidos, aminoaçúcar e outros componentes mais complexos (HAVLIN et al., 2005). Contudo, as formas de nitrogênio mais comuns na solução do solo são nitrato, amônio e componentes orgânicos de nitrogênio de baixo peso molecular (MENGEL; KIRKBY, 2001). O amônio se apresenta com alto teor em solos anaeróbicos

(alagados) e com baixo teor em solos aeróbicos, devido à rápida nitrificação. O nitrato, usualmente está mais presente em solos aeróbicos e o seu teor pode ser rapidamente alterado no solo em razão da absorção pelas plantas e microrganismos, e das perdas por lixiviação e desnitrificação (MENGEL; KIRKBY, 2001). A disponibilidade de nitrogênio no solo para o crescimento das plantas está relacionada à ciclagem de resíduos vegetais, fixação biológica de nitrogênio por organismos especializados, aplicação de fertilizantes nitrogenados ou aos processos de mineralização e imobilização.

### **2.3 Absorção de nitrogênio pelas plantas**

O nitrogênio é constituinte indispensável de componentes orgânicos da planta, como: aminoácidos, proteínas, bases nitrogenadas, ácidos nucleicos e componentes do metabolismo secundário como os alcalóides (MENGEL; KIRKBY, 2001) e por isso é o nutriente mais limitante para produção vegetal (MCALLISTER; BEATTY; GOOD, 2012; XU; FAN; MILLER, 2012). É absorvido em grande quantidade pela maioria das culturas comerciais, incluindo plantas forrageiras e geralmente tem concentração de 20 a 50 g kg<sup>-1</sup> na massa seca dos tecidos vegetais (MENGEL; KIRKBY, 2001; ROBERTSON; VITOUSEK, 2009). Por isso, é o nutriente que resulta no mais elevado incremento na produção dos capins (RYSER; LAMBERS, 1995; MARTUSCELLO et al., 2009; DE BONA et al., 2011; MØLLER et al., 2011; MOKHELE et al., 2012; VILELA et al., 2012)

A absorção de nitrogênio pelas plantas ocorre nas formas inorgânicas de nitrato e amônio (MARSCHNER, 1995; LEA et al., 2007; MARTÍNEZ-ANDÚJAR et al., 2013), de modo que a absorção de uma forma ou de outra forma é dependente da sua disponibilidade, das características da planta e do ambiente (ELGHARABLY; MARSCHNER, 2010). Dentre as características que mais influenciam a absorção de nitrato e/ou amônio podem ser citadas o pH, teor de carboidratos nas raízes e temperatura (MARSCHNER, 1995; MENGEL; KIRKBY, 2001). A absorção de uma forma ou de outra afeta também a absorção de outros íons. De acordo com Adams (1981), a absorção de amônio favorece a absorção de nutrientes nas formas aniônicas, porém desfavorece a absorção de cátions como potássio, cálcio e magnésio pelas plantas. Do mesmo modo, a absorção de nitrato favorece a absorção de cátions e plantas menos dependentes do nitrogênio amoniacal tendem a ter mais altas concentrações desses cátions. Quando a disponibilidade de amônio é maior do que de nitrato a absorção dessa forma pode resultar em toxidez nas plantas (BRITTO; KRONZUCKER, 2002). Entretanto, alguns estudos tem demonstrado que existe preferência de algumas



espécies por uma das formas inorgânicas de nitrogênio (VON WIRÉN; GAZZARRINI; FROMMER, 1997; WALLANDER et al., 1997; GARNETT; SMETHURST, 1999).

O nitrogênio absorvido pode ser metabolizado nas raízes ou transportado para a parte aérea via xilema. Quando absorvido como amônio é, na maior parte das vezes, metabolizado nas raízes enquanto que na forma de nitrato pode ser metabolizado nas raízes ou ser transportado para a parte aérea (MENGEL; KIRKBY, 2001; WANG; MACKO, 2011). A redistribuição do nitrogênio pode ocorrer rapidamente via floema, o que caracteriza a clorose das folhas mais velhas quando existe deficiência deste nutriente (PATE, 1980; MARSCHNER; 1995). Quando em deficiência na planta, o nitrogênio é mobilizado das folhas mais velhas para as mais novas, deixando as folhas mais velhas cloróticas e pode deixar as folhas mais novas ou superiores cloróticas ou castanhas (TAIZ; ZEIGER, 2013), pela ausência de clorofila em consequência da carência de nitrogênio.

#### **2.4 Assimilação de nitrogênio pelas plantas**

O nitrato absorvido pode permanecer no sistema radicular ou ser transportado para a parte aérea, e em ambos os locais, pode ser armazenado no vacúolo ou ser reduzido a nitrito pela nitrato redutase no citossol, que representa a etapa limitante e reguladora do processo de redução do nitrato (CAMPBELL, 1999). O nitrito formado é reduzido pela nitrito redutase, nos cloroplastos (tecidos fotossintetizantes) ou nos plastídeos (tecidos não fotossintetizantes), em amônio para assim ser assimilado via sistema glutamina sintetase/glutamato sintase (GS/GOGAT) ou via glutamato desidrogenase. A assimilação de nitrato tem alto custo energético quando comparado à absorção de amônio, sendo consumido o equivalente a 15 mols de adenosina trifosfato (ATP) para cada mol de nitrato reduzido (SALSAC et al., 1987).

A maior parte da assimilação do amônio acontece no sistema radicular ao invés da parte aérea (MARSCHNER, 1995; WANG; MACKO, 2011). O amônio no interior da planta é originado da redução do nitrato, da direta absorção dessa forma, da fotorespiração, da fixação gasosa e da desaminação de compostos nitrogenados, como asparagina (WICKERT et al. 2007; MOKHELE et al., 2012). Segundo Ruiz, Rivero e Romero (2007) toda forma de nitrogênio inorgânico sofre primeiro redução a amônio, pois é a única forma reduzida disponível para as plantas usarem na produção de aminoácidos de transporte. O amônio é absorvido pelas células das raízes por processo ativo, acompanhado pela extrusão de prótons, o que diminui o pH externo. O amônio absorvido é assimilado via sistema GS/GOGAT, uma vez que o amônio não pode ser armazenado em grande quantidade, pois pode resultar em intoxicação das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2013). A glutamina sintetase incorpora o amônio

absorvido com o glutamato formando a glutamina. Em seguida, a glutamato sintase transfere o amônio incorporado na glutamina para o  $\alpha$ -cetoglutarato, produzindo duas moléculas de glutamato.

A glutamato desidrogenase é a rota alternativa de aminação do  $\alpha$ -cetoglutarato, formando duas moléculas de glutamato e ela foi considerada durante algum tempo como a principal rota de assimilação do amônio. Em razão de sua afinidade pelo amônio e atividade serem menores do que a glutamina sintetase alguns estudos indicam que essa enzima seria mais importante na desaminação oxidativa do glutamato devido à alta atividade em tecidos mais velhos das raízes (LEWIS et al., 1983; LUXOVÁ, 1988) o que auxiliaria na remobilização do nitrogênio no tecido vegetal. O glutamato é a molécula central no transporte do nitrogênio pela planta e a reação de desaminação acontece com o intuito de manter o equilíbrio na concentração do aminóácido, e por isto esta é considerada a principal função dessa enzima no metabolismo do nitrogênio (LABBOUN et al., 2009).

## **2.5 Uso do nitrogênio pelas plantas forrageiras**

A mineralização do nitrogênio orgânico do solo pelos microrganismos é uma das fontes naturais de nitrogênio para a planta. Na região tropical, em particular, devido a alta quantidade de chuvas e temperatura, ocorrem processo químicos e biológicos muito acelerados, resultando na perda de diversos nutrientes, inclusive do nitrogênio, por lixiviação (RAO, 2001). De acordo com Monteiro e Werner (1989), o processo de lixiviação e o de volatilização são os principais excludentes do nitrogênio no sistema solo-planta.

Os fatores que contribuem para a baixa fertilidade de solos ácidos e as consequências disto para o cultivo de gramíneas forrageiras são complexos (RAO et al., 1993). Algumas gramíneas forrageiras tropicais foram selecionadas e são adaptadas para sobreviver no estresse biótico e abiótico encontrados em regiões tropicais. Aparentemente, as plantas apresentam respostas diferentes para aquisição dos nutrientes (CARADUS, 1990; CLARK; DUNCAN, 1991; MARSCHNER, 1991), e o entendimento de atributos que conferem a adaptação aos solos com baixa fertilidade é necessário para desenvolver gramíneas tropicais que mostrem alta produtividade nesse tipo de ambiente (RAO, 2001).

O nitrogênio é o nutriente com mais alto impacto na produtividade de gramíneas forrageiras, pois interfere diretamente em fatores relacionados à produção de massa seca da planta forrageira, como tamanho de folhas e colmos e aparecimento e desenvolvimento de perfilhos (CORSI, 1984; WERNER, 1986). Além disto, o nitrogênio é necessário no

aproveitamento dos carboidratos pela planta e auxilia na absorção de outros nutrientes (HOPKINS, 1995; MARSCHNER, 1995; TAIZ; ZEIGER, 2013).

De acordo com Fernandes e Rossiello (1986), as gramíneas forrageiras com metabolismo do tipo  $C_4$  possuem alta capacidade de aproveitamento de sua área foliar e por isto respondem muito bem a aumentos na dose de nitrogênio. A mais alta disponibilidade de nitrogênio proporciona mudanças significativas na estrutura do pasto (BARBOSA, 1998), pelo estímulo do nitrogênio na formação de novos tecidos foliares (OLIVEIRA et al., 2007). Entretanto, o aumento da produção de massa seca dos capins depende não somente do número de folhas, mas de sua forma, arranjo e tamanho (PARSONS; LEAFE; COLLET, 1983; GIACOMINI et al., 2009; VILELA et al., 2012). Assim, o aumento no número de folhas não caracteriza o potencial de produção da gramínea forrageira. Além do aparecimento de folhas, a área foliar precisa ser considerada, pois o suprimento de nutrientes (como o nitrogênio) aumenta a eficiência fotossintética da planta (PARSONS; LEAFE; COLLET, 1983) por incrementar a alongação e expansão foliar, resultando em elevada área de interceptação luminosa (CHAPMAN; LEMAIRE, 1993; AKMAL; JANSSENS, 2004). Com mais área de interceptação luminosa, a taxa fotossintética é aumentada, com consequente incremento da produção de biomassa (PILBEAM, 2011).

O hábito de crescimento das gramíneas pode interferir no uso do nitrogênio (RYSER; LAMBERS, 1995; ANWAR et al., 2012). Com o passar do tempo algumas gramíneas forrageiras foram se adaptando ao ambiente de baixa fertilidade, por meio da diminuição da demanda por nitrogênio. A alta capacidade de absorção de nutrientes em ambientes com baixa fertilidade do solo e o baixo requerimento destes nutrientes para alta produção de forragem são características desejáveis para espécies que crescem em solos de baixa produtividade (CARADUS, 1990; LAMBER et al., 1998). Os mecanismos que conferem estas características são: amplo sistema radicular, raízes com radículas longas, absorção de altas doses de nutrientes por unidade de comprimento de raiz, transporte mais efetivo de nutrientes das raízes para folhas, plantas de porte pequeno, baixo requerimento de nutrientes e alta eficiência na utilização do nutriente em questão (RAO, 2001).

As espécies de gramíneas forrageiras tropicais foram selecionadas para garantir a produção animal em solos altamente intemperizados. Os solos das regiões tropicais possuem como características principais argilas com baixa capacidade de troca de cátions, baixo teor de matéria orgânica, alto teor de alumínio trocável e baixos teores de nutrientes. O ambiente restritivo ao desenvolvimento do capim influencia como a gramínea forrageira utilizará suas reservas para garantir a sobrevivência. A habilidade em absorver, transportar, distribuir,

acumular e utilizar o nutriente mineral são importantes características na adaptação das gramíneas tropicais a solos ácidos (RAO; AYARZA; GARCIA, 1995).

A plasticidade de alocação e mobilização do nitrogênio é uma característica extremamente importante para garantir a adaptação das espécies aos ambientes com baixa disponibilidade de nitrogênio. Santos, Thornton e Corsi (2002) e Santos, Thornton e Corsi (2012) observaram que a espécie *Poa trivialis*, quando transferida do ambiente com concentração adequada de nitrogênio para ambiente sem nitrogênio, imediatamente interrompeu a mobilização do nitrogênio para o crescimento de perfilhos, enquanto o *Panicum maximum* cv. Tanzânia ainda continuou a mobilizá-lo para o crescimento de perfilhos e folhas novas. Estas estratégias estão ligadas às respostas dessas espécies em relação às outras espécies de plantas por meio da melhor utilização do nutriente, sendo isso determinante na permanência da espécie no ambiente.

A concentração e o conteúdo de nitrogênio na parte aérea podem estar relacionados à proporção de órgãos estruturais e de armazenamento que contém nitrogênio, o que modifica a produção de massa seca das plantas (GREENWOOD et al., 1990; PRIMAVERSI et al., 2004; CORRÊA et al., 2007; YUAN et al., 2007). Lemaire e Salette (1984) sugeriram que cultivares com elevadas produção de massa seca e eficiência de uso de nitrogênio tiveram baixa concentração de nitrogênio no tecido vegetal, o que pode ser um problema para atender as necessidades nutricionais dos ruminantes (BRÉGARDA; BÉLANGER; MICHAUDA, 2000), pois a baixa concentração de nitrogênio e, portanto, de proteína bruta, reduz o valor nutritivo da forragem (ANDRADE et al., 2000; VITOR et al., 2009; SANTOS et al., 2010). Segundo Brégarda, Bélanger e Michauda (2000), a partição da biomassa é a chave para incrementar a eficiência de uso do nitrogênio ou a concentração de nitrogênio no tecido.

Em função da interação dos múltiplos fatores genéticos e ambientais, a eficiência de uso do nitrogênio (NUE) se torna bem complexa (XU; FAN; MILLER, 2012). A definição da NUE também é complexa, pois pode ter diversos significados dependendo do contexto, como: eficiência de uso do nitrogênio (NUE), eficiência de absorção do nitrogênio (NupE), eficiência de utilização do nitrogênio (NutE), recuperação aparente do nitrogênio, eficiência agrônômica do fertilizante nitrogenado, eficiência fisiológica do nitrogênio, eficiência de transporte do nitrogênio e eficiência de remobilização do nitrogênio. Algumas revisões tem resumido aspectos mais amplos da NUE (FAGERIA; BALIGAR, 2005; HIREL et al., 2007; GARNETT; CONN; KAISER, 2009; ROBERTSON; VITOUSEK, 2009; FAN; MILLER, 2012). Em geral, os componentes NupE e NutE contribuem mais para o NUE planta (MOLL

et al., 1982; ORTIZ-MONASTERIO et al., 1997, HAWKESFORD; HOWARTH, 2011; XU; FAN; MILLER, 2012), devido a complexa dinâmica do nitrogênio no ambiente.

Outra estratégia dos capins adaptados a solos com baixa fertilidade é a elevada partição do carbono fixado na fotossíntese para a produção de raízes (RAO; AYARZA; GARCIA, 1995), quando se encontram em situação de estresse. O rápido crescimento inicial do sistema radicular também é visto como o principal fator para ocorrer o aumento na quantidade absorvida de nitrogênio (LIAO; FILLEY; PALTA, 2004; NOULAS et al., 2010). Entretanto, deve-se considerar, além da produção de massa seca das raízes, o comprimento e a superfície dessas raízes, pois estes parâmetros são os mais relevantes na absorção do nitrogênio pelo sistema radicular (NOULAS et al., 2010) e podem melhor demonstrar a capacidade de utilização do nitrogênio. Burton (1943) observou que gramíneas subtropicais possuem diferenças no crescimento do sistema radicular e que o *Paspalum notatum* (bahiagrass) teve grande crescimento de raízes, em quantidade e comprimento, podendo isto estar relacionado ao melhor aproveitamento do nitrogênio presente no solo (ACUÑA et al., 2010).

Segundo Scheurwater et al. (2002), a redução de nitrato a amônio nas raízes pode ter impacto nas exigências de carbono para assimilação de nitrato por determinada planta, quando comparada à assimilação na parte aérea. As espécies que preferencialmente reduzem nitrato na parte aérea podem ter a vantagem de utilizar o excesso de poder redutor (NADH ou NADPH e ferredoxina reduzida) produzido na fotossíntese (RAVEN; WOLLENWEBER; HANDLEY, 1992; KRONZUCKER; SIDDIQI; GLASS, 1997; SCHEURWATER et al., 2002), enquanto espécies que reduzem quantidade mais alta de nitrato nas raízes, obtém o poder redutor pela vias da pentose fosfato e glicólise, o que libera gás carbônico e aumenta o coeficiente respiratório. Portanto, onde é realizada essa redução há impacto no balanço de carbono da planta (OAKS; HIREL, 1986; BOWSER; HUCKLESBY; EMES, 1989; MARSCHNER, 1995) e conseqüentemente na produção de massa seca dos capins. O local da assimilação e como o nitrogênio absorvido é utilizado pode esclarecer como os capins respondem ao estresse e quando submetidos a altos suprimentos de nitrogênio em sistemas intensivos de manejo de pastagens.

## Referências

ACUÑA, C.A.; SINCLAIR, T.R.; MACKOWIAK, C.L.; BLOUNT, A.R.; QUESENBERRY, K.H.; HANNA, W.W. Potential root depth development and nitrogen uptake by tetraploid bahiagrass hybrids. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.334, p.491-499, 2010.

ADAMS, F. Nutritional imbalances and constraints to plant growth on acid soils. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.4, p.81-87, 1981.

AKMAL, M.; JANSSENS, M.J.J. Productivity and light use efficiency of perennial ryegrass with contrasting water and nitrogen supplies. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.88, p.143-155, 2004.

ALVIM, M.J.; BOTREL, M.A.; VERNEQUE, R.S.; SALVATI, J.A. Aplicação de nitrogênio em acessos de *Brachiaria*. 1. Efeito sobre a produção de matéria seca. **Pasturas Tropicais**, Cali, v.12, p.2-6, 1990.

ANDRADE, A.C.; FONSECA, D.M.; GOMIDE, J.A.; ALVAREZ, V.H.; MARTINS, C.E.; SOUZA, D.P.H. Produtividade e valor nutritivo do capim-elefante cv. Napier sob doses crescentes de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.29, p.1589-1595, 2000.

ANWAR, M.; AKMAL, M.; SHAH, A.; ASIM, M.; GOHAR, R. Growth and yield comparison of perennial grasses as rain fed fodder production. **Pakistan Journal of Botany**, Karachi, v.44, p.547-552, 2012.

BARBOSA, M.A.F. **Influência da adubação nitrogenada e das frequências de corte na produção e nas variáveis morfológicas do capim mombaça (*Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça)**. 1998. 153p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 1998.

BOWSHER, C.G.; HUCKLESBY, D.P.; EMES, M.J. Nitrite reduction and carbohydrate metabolism in plastids purified from roots of *Pisum sativum* L. **Planta**, New York, v.177, p.359-366, 1989.

BRÉGARDA, A.; BÉLANGER, G.; MICHAUDA, R. Nitrogen use efficiency and morphological characteristics of timothy populations selected for low and high forage nitrogen concentrations. **Crop Science**, Madison, v.40, p.422-429, 2000.

BRITTO, D.T.; KRONZUCKER, H.J.  $\text{NH}_4^+$  toxicity in higher plants: a critical review. **Journal of Plant Physiology**, Leipzig, v.159, p.567-584, 2002.

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

BONO, J.A.M.; MACEDO, M.C.M.; EUCLIDES, V.P.B. Biomassa e área do sistema radicular e resistência do solo à penetração em pastagens de *Panicum maximum* Jacq. Sob pastejo rotacionado. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., 2000. Viçosa. **Anais...** Viçosa: SBA, 2000. 1 CD-ROM. Seção Poster – Forragicultura -0382.

BURTON, G.W. A comparison of the first year's root production of seven southern grasses established from seed. **Journal of American Society of Agronomy**, Wisconsin, v.35, p.192-196, 1943.

CAMPBELL, W.H. Nitrate reductase structure, function and regulation: bridging the gap between biochemistry and physiology. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.50, p.277-303, 1999.

CARADUS, J.R. Mechanisms improving nutrient use by crop and herbage legumes. In: BALIGAR V.C.; DUNCAN R.R. (Ed.). **Crops as Enhancers of Nutrient Use**, 1. San Diego: Academic Press, 1990, p.253-311.

CARNEVALLI, R.A. **Dinâmica da rebrotação de pastos de capim-mombaça submetidos a regimes de desfolhação intermente**. 2003. 136p. Tese (Doutorado na área de Ciência animal e Pastagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

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

CLARK, R.B.; DUNCAN R.R. Improvement of plant mineral nutrition through breeding. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.27, p.219-240, 1991.

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

CORRÊA, L.A.; CANTARELLA, H.; PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; FREITAS, A.R.; SILVA, A.G. Efeito de fontes e doses de nitrogênio na produção e qualidade da forragem de capim-coastcross. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.36, p. 763-772, 2007.

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

DE BONA, F.D.; FEDOSEYENKO, D.; VON WIRÉN, N.; MONTEIRO, F.A. Nitrogen utilization by sulfur-deficient barley plants depends on the nitrogen form. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v.74, p.237-244, 2011.

EUCLIDES, V.P.B.; MACEDO, M.C.M.; VALÉRIO, J.R.; BONO, J.A.M. Cultivar Massai (*Panicum maximum*): uma nova opção de forrageira: características de adaptação e produtividade. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., 2000. Viçosa, **Anais...** Viçosa: SBZ, 2000. 1 CD-ROM. Seção Oral – Forragicultura – 0397.

EMBRAPA - Centro Agroflorestal de Rondônia. [2010]. In: Embrapa, Brasil: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2010. Disponível em: <<http://www.cpafrro.embrapa.br/embrapa/bases/index.htm>>. Acesso em: 25 out. 2010.

EMPRAPA-CNPQC. **O capim-xaraés (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés) na diversificação das pastagens de braquiária**. Campo Grande, 2004. 36p. (Documentos, 149).

EMBRAPA-CNPGC. **Capim Piatã**. Disponível em:

<<http://www.cnpdc.embrapa.br/produtoseservicos/pdf/piata.pdf>> Acesso em: 05 out. 2010.  
ELGHARABLY, A.; MARSCHNER, P. Wheat grown in saline sandy loam soil as affected by N form and application rate. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.328, p.303-312, 2010.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**, Newark, v.88, p.97-185, 2005.

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

GARNETT, T.; SMETHURST, P. Ammonium and nitrate uptake by *Eucalyptus nitens*: effects of pH and temperature. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.214, p.133-140, 1999.

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

GIACOMINI, A.A.; DA SILVA, S.C.; LUCENA, D.O.; ZEFERINO, S.C.V.; TRINDADE, J.K.; SOUZA JÚNIOR, S.J.; GUARDA, V. D.A.; SBRISSIA, A.F.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Growth of marandu palisadegrass subjected to strategies of intermittent stocking. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.66, p.721-732, 2009.

GREENWOOD, D.J.; LEMAIRE, G.; GOSSE, G.; CRUZ, P.; DRAYCOTT, A.; NEETESON, J.J. Decline in percentage N of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> crops with increasing plant mass. **Annals of Botany**, London, v.66, p.425- 436, 1990.

HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management**. 7<sup>th</sup> ed. New Jersey: Person Prentice Hall, 2005. 515p.

HAWKESFORD, M.J.; HOWARTH, J.R. Transcriptional profiling approaches for studying nitrogen use efficiency. **Annual Plant Reviews**, London, v.42, p.41-62, 2011.

HIREL, B.; LE GOUIS, J.; NEY, B.; GALLAIS, A. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.58, p.2369-2387, 2007.

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

KRONZUCKER, H.J.; SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Conifer root discrimination against soil nitrate and the ecology of forest succession. **Nature**, London, v.385, p.59-61, 1997.

JANK, L.; COSTA, J.C.G.; SAVIDAN, Y.H.; VALLE, C.B. do. New *Panicum maximum* cultivars for diverse ecosystems in Brazil. In: INTERNATIONAL GRASSLANDS CONGRESS, 17., 1993, Palmerston North. **Proceedings...** Palmerson North: New Zealand Grassland Association, 1993. p. 509-511.



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.

JANK, L.; CALIXTO, S.; COSTA, J.C.G.; SAVIDAN, Y.H.; CURVO, J.B.E. **Catálogo de caracterização e avaliação de germoplasma de *Panicum maximum*: descrição morfológica e comportamento agrônômico.** Campo Grande, MS : EMBRAPA-CNPGC, 1997. 53p (EMBRAPA-CNPGC. Documentos, 68).

LABBOUN, S.; TERCÉ-LAFORGUE, T.; ROSCHER, A.; Bedu, M.; RESTIVO, F.M.; VELANIS, C.N.; SKOPELITIS, D.S.; MOSCHOU, P.N.; ROUBELAKIS-ANGELAKIS, K.A.; SUZUKI, A.; HIREL, B. Resolving the role of plant glutamate dehydrogenase. I. in vivo real time nuclear magnetic resonance spectroscopy experiments. **Plant Cell Physiology**, Leiden, v.50, p.1761-1773, 2009.

LAMBERS, H.; CHAPIN, I.F.S.; PONS, T.L. **Plant physiological ecology.** New York: Springer-Verlag, 1998. 540p.

LEA, P.J.; SODEK, L.; PARRY, M.A.J.; SHEWRY, P.R.; HALFORD, N.G. Asparagine in plants. **Annals of Applied Biology**, Malden, v.150, p.1-26, 2007.

LEMAIRE, G.; SALETTE, J. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de gramine-es fourragères. II. Étude de la variabilité-entre ge-notypes. **Agronomie**, Les Ulis, v.4, p.431-436, 1984.

LEWIS, O.A.M.; CHADWICK, S.; WITHERS, J. The assimilation of ammonium by barley roots. **Planta**, New York, v.159, p.483-486, 1983.

LIAO, M.; FILLEY, I.R.P.; PALTA, J.A. Early vigorous growth is a major factor influencing nitrogen uptake in wheat. **Functional Plant Biology**, Melbourne, v.31, p.121-129, 2004.

LUXOVÁ, M. The participation of the primary maize root on the assimilation of  $\text{NH}_4^+$  ions. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.111, p.187-189, 1988.

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

MARSCHNER, H. Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.134, p.1- 20, 1991.

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

MARTÍNEZ-ANDÚJAR, C.; GHANEM, M.E.; ALBACETE, A.; PÉREZ-ALFOCEA, F. Response to nitrate/ammonium nutrition of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants overexpressing a prokaryotic  $\text{NH}_4^+$ -dependent asparagine synthetase. **Journal of Plant Physiology**, Leipzig, v.170, p.676-687, 2013.

- MARTUSCELLO, J.A.; FARIA, D.J.G.; CUNHA, D.N.F.V.; FONSECA, D.M. Adubação nitrogenada e partição massa seca em plantas de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés e *Panicum maximum* x *Panicum infestum* cv. Massai. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, p.663-667, 2009.
- MCALLISTER, C.H.; BEATTY, P.H.; GOOD, A.G. Engineering nitrogen use efficient crop plants: the current status. **Plant Biotechnology Journal**, Malden, v.10, p.1011-1025, 2012.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 5th.ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.
- MOKHELE, B.; ZHAN, X.; YANG, G.; ZHANG, X. Nitrogen assimilation in crop plants and its affecting factors. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.92, p.399-405, 2012.
- MOLL, R.H.; KAMPRATH, E.J.; JACKSON, W.A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, Madison, v.74, p.562-564, 1982.
- MØLLER, A.L.; PEDAS, P.; ANDERSEN, B.; SVENSSON, B.; SCHJOERRING, J.K.; FINNIE C. Responses of barley root and shoot proteomes to long-term nitrogen deficiency, short-term nitrogen starvation and ammonium. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.34, p.2024-2037, 2011.
- MONTEIRO, F.A.; WERNER, J.C. Ciclagem de nutrientes minerais em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 1989, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 1989. p. 149-192.
- NOULAS, C.; LIEDGENS, M.; STAMP, P.; ALEXIOU, I.; HERRERA, J.M. Subsoil root growth of field grown spring wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) differing in nitrogen use efficiency parameters. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.33, p.1887-1903, 2010.
- NUNES, S.G.; BOOK, A.; PENTEADO, M.I.O. *Brachiaria brizantha* cv. **Marandu**. 2 ed. Campo Grande: EMBRAPA-CNPQC, 1985. 31p. (Documentos, 21).
- NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.
- OAKS, A.; HIREL, B. Nitrogen metabolism in roots. **Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology**, Palo Alto, v.36, p.345-365, 1986.
- OLIVEIRA, A.B.; PIRES, A.J.V.; MATOS NETO, U.; CARVALHO, G.G.P.; VELOSO C.M.; SILVA, F.F. Morfogênese do capim-tanzânia submetido a adubações e intensidades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.36, p.1006-1013, 2007.
- ORTIZ-MONASTERIO, J.I.; SAYRE, K.D.; RAJARAM, S.; McMAHON, M. Genetic progress in wheat yield and nitrogen use efficiency under four nitrogen rates. **Crop Science**, Madison, v.37, p.898-904, 1997.

PARSONS, A.J.; LEAFE, E.L.; COLLET, B.; PENNING, P.D.; LEWIS, J. The physiology of grass production under grazing. I. Characteristics of leaf and canopy photosynthesis of continuously-grazed swards. **The Journal of Applied Ecology**, London, v.20, p.117-126, 1983.

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

PERNÈS, J. **Organization évolutive d'un groupe agamique**: la section des maximae du genre *Panicum* (Graminees). Paris: ORSTOM, 1975. 106p. (ORSTOM. Memórias, 75).

PILBEAM, D.J. The utilization of nitrogen by plants: a whole plant perspective. **Annual Plant Reviews**, Oxford, v.42, p.305-351, 2011.

PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A.; CANTARELLA, H.; SILVA, A.G.; FREITAS, A.R.; VIVALDI, L.J. Adubação nitrogenada em capim-coastcross: efeitos na extração de nutrientes e recuperação aparente do nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.33, p.68-78, 2004.

RAO, I.M. Adapting tropical forages to low-fertility soils. In: INTERNATIONAL GRASSLANDS CONGRESS, 19., 2001, Piracicaba. **Proceedings...** Brazilian Society of Animal Husbandry: Piracicaba, 2001, p. 247-254.

RAO, I.M.; ZEIGLER, R.S.; VERA, R.; SARKARUNG, S. Selection and breeding for acid-soil tolerance in crops: Upland rice and tropical forages as case studies. **BioScience**, Uberlândia, v.43, p.454-465, 1993.

RAO, I.M.; AYARZA, M.A.; GARCIA, R. Adaptive attributes of tropical forage species to acid soils I. Differences in plant growth, nutrient acquisition and nutrient utilization among C<sub>4</sub> grasses and C<sub>3</sub> legumes. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.18, p.2135-2155, 1995.

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

ROBERTSON, G.P.; VITOUSEK, P.M. Nitrogen in agriculture: balancing the cost of an essential resource. **Annual Review of Environment and Resources**, Palo Alto, v.34, p.97-125, 2009.

RUIZ, J.M.; RIVERO, R.; ROMERO, M.L. Comparative effect of Al, Se, and Mo toxicity on NO<sub>3</sub><sup>-</sup> assimilation in sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. **Journal of Environmental Management**, Berkeley, v.83, p.207-212, 2007.

RYSER, P.; LAMBERS, H. Root and leaf attributes accounting for the performance of fast- and slow-growing grasses at different nutrient supply. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.170, p.251-265, 1995.

SALSAC, L.; CHAILLOU, S; MOROT-GAUDRY, J.F.; LESAIN, C.; JOLIVET, E. Nitrate and ammonium nutrition in plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, Philadelphia , v.25, p.805-812, 1987.

SANTOS, M.E.R; FONSECA, D.M.; BALBINO, E.M.; SILVA, S.P.; MONNERAT, J.P.I.S. Valor nutritivo de perfilhos e componentes morfológicos em pastos de capim-braquiária diferidos e adubados com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.39, p.1919-1927, 2010.

SANTOS, P.M.; THORNTON, B.; CORSI, M. Nitrogen dynamics in the intact grasses *Poa trivialis* and *Panicum maximum* receiving contrasting supplies of nitrogen. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.53, p.2167-2176, 2002.

SANTOS, P.M.; THORNTON. B.; CORSI, M. Adaptation of the C4 grass *Panicum maximum* to defoliation is related to plasticity of N uptake, mobilisation and allocation patterns. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.69, p.293-299, 2012.

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).

SCHEURWATER, I.; KOREN, M.; LAMBERS, H.; ATKIN, O.K. The contribution of roots and shoots to whole plant nitrate reduction in fast- and slow-growing grass species. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.53, p.1635-1642, 2002.

SKERMAN, P.J.; RIVEROS, F. **Tropical grasses**. FAO Plant Production and Protection Series 23. Rome :Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1990. 832p.

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

STEVENSON, F.J. Origin and distribution of nitrogen in soil. In: \_\_\_\_\_ . **Nitrogen in agricultural soils**. Madison : ASA, CSSA, SSSA, 1982. p.1-42.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954p.

VALENTIM, J.F.; VAZ, FA. **Capim massai**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2001. 16p.

VALLE, C.B.; EUCLIDES, V.P.B.; MACEDO, M.C.M. Características de plantas forrageiras do genero *Brachiaria*. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DA PASTAGEM, 17., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p.133-176.

VALLE, C.B.; JANK, L.; RESENDE, R.M.S.; BONATO, A.L.V. Lançamento de cultivares forrageiras: o processo e seus resultados - cvs. Massai, Pojuca, Campo Grande e Xaraés. In: NÚCLEO DE ESTUDOS EM FORRAGICULTURA, 4., 2003, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2003. p.179-225.

VILELA, H.H.; SOUSA, B.M.L.; SANTOS, M.E.R.; SANTOS, A.L.; ASSIS, C.Z.; ROCHA, G.O.; FARIA, B.D.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Forage mass and structure of piatã grass deferred at different heights and variable periods. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.41, p.1625-1631, 2012.

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

VON WIRÉN, N.; GAZZARRINI, S.; FROMMER, W.B. Regulation of mineral nitrogen uptake in plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.196, p.191-199, 1997.

WALLANDER, H.; ARNEBRANT, K.; OSTRAND, F.; KAREN, O. Uptake of <sup>15</sup>N-labelled alanine, ammonium and nitrate in *Pinus sylvestris* L. ectomycorrhiza growing in forest soil treated with nitrogen, sulphur or lime. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.195, p.329-338, 1997.

WANG, L.; MACKO, S.A. Constrained preferences in nitrogen uptake across plant species and environments. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.34, p.525-534, 2011.

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

WICKERT, S.; MARCONDES, J.; LEMOS, M.V.; LEMOS, E.G.M. Nitrogen assimilation in citrus based on CitEST data mining. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v.30, p.810-818, 2007.

XU, G.; FAN, X.; MILLER, A.J. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v.63, p.153-182, 2012.

YUAN, Z.; LIU, W.; NIU, S.; WAN, S. Plant nitrogen dynamics and nitrogen-use strategies under altered nitrogen seasonality and competition. **Annals of Botany**, London, v.100, p.821-830, 2007.

### **3 MODIFICAÇÕES NO CRESCIMENTO DE CULTIVARES DE *PANICUM* E *BRACHIARIA* EM ALTA E BAIXA DOSES DE NITROGÊNIO**

#### **Resumo**

O uso do nitrogênio de forma eficiente pelas gramíneas forrageiras é extremamente importante para a sustentabilidade da produção pecuária. Um dos aspectos para que a utilização desse nutriente seja eficiente é conhecer quais as características e adaptações que as espécies vegetais utilizam para melhor aproveitá-lo. Com isso, objetivou-se analisar se oito gramíneas forrageiras, utilizadas em pastagens no Brasil, modificam sua forma de crescimento por meio do número de folhas e perfilhos, área foliar, produção de massa seca da parte aérea, superfície radicular, comprimento radicular e produção de massa seca de raízes, quando cultivadas em baixa e alta doses de nitrogênio. O experimento foi em casa de vegetação, com um Neossolo Quartzarênico coletado em área de pasto degradado. O experimento constituiu de fatorial 8 x 2 (oito gramíneas forrageiras x duas doses de nitrogênio), em blocos ao acaso, com quatro repetições. No baixo suprimento de nitrogênio, os cultivares Marandu, Xaraés, Piatã, Basilisk e Mombaça mantiveram o número de perfilhos constante e diminuíram o número de folhas e a área foliar, enquanto o cultivar Tanzânia manteve o número de perfilhos e área foliar constantes e reduziu o número de folhas e os cultivares Aruana e Massai aumentaram o número de perfilhos e de folhas e reduziram a área foliar.

**Palavras-chave:** Área foliar; Comprimento radicular; Produção de raízes; Proporção de massa seca; Superfície radicular

#### **Abstract**

The efficient use of nitrogen (N) by grasses is extremely important for global livestock sustainability. One aspect of the efficient application of this nutrient is knowing what features and adaptations plant species utilize to better take advantage of N. The present study was designed to analyze whether eight forage grasses used on a large scale in Brazil modify their growth pattern, based on the number of leaves and tillers, leaf area, shoot dry-matter production, root surface, root length and roots dry-matter production, when grown under low and high N availability. The experiment was conducted in a greenhouse with an Entisol collected from a degraded pasture area. The experiment was an 8 x 2 factorial (eight forage-grass cultivars x two nitrogen rates) in a randomized complete block design, with four replications. The high N application resulted increases in the number of leaves, number of tillers, leaf area, shoot dry-matter production, root length and surface and root dry matter production compared to the low N rate. The low N rate caused changes in the partition of the total dry matter in cultivars compared to the high N rate.

**Keywords:** Partition of dry matter; Leaf area; Production of roots; Root length; Root surface

### 3.1 Introdução

O Brasil possui área territorial de 850 milhões de hectares, dos quais 102 milhões de hectares são de pastagens plantadas (IBGE, 2010), e a quase totalidade é composta por capins dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum*. O descaso com a adubação do pasto e o não conhecimento do modo de crescimento das plantas forrageiras tem afetado de maneira significativa a longevidade dos sistemas produtivos em pastagens, como consequência do não aproveitamento do potencial produtivo das plantas. A escolha da espécie forrageira é o primeiro passo para melhorar o sistema produtivo, sendo a avaliação do aproveitamento do nitrogênio aplicado uma das características a analisar.

Os cultivares de *Brachiaria ssp.* e *Panicum ssp.* utilizados no país foram selecionados naturalmente em suas regiões de origem, em condições edafoclimáticas distintas e depois trazidos ao Brasil e selecionados por critérios morfológicos e produtivos, visando somente a produção animal em pasto. Entretanto, os mecanismos adaptativos desses cultivares a situações de estresse tem sido pouco estudados. O conhecimento dessas características é de extrema importância no uso eficiente dos nutrientes e, em especial, do nitrogênio (RAO; AYARZA; GARCIA, 1995; SANTOS; THORNTON; CORSI, 2002; MOMMER et al., 2011), em razão da baixa disponibilidade e rápida permanência desse nutriente na solução do solo.

A produtividade das gramíneas forrageiras está relacionada à contínua emissão de folhas e perfilhos, que são responsáveis pela restauração da área foliar e aumento da capacidade fotossintética do dossel após o corte mecânico ou pastejo pelos animais (LEMAIRE; CHAPMAN, 1996). Entretanto, cultivares eficientes no uso do nitrogênio possuem características distintas quanto à emissão de folhas e perfilhos e partição do nitrogênio acumulado para produção de biomassa, quando em limitação por nitrogênio, na busca de garantir a longevidade no sistema produtivo (BRÉGARDA; BÉLANGER; MICHAUDA, 2000; MARTUSCELLO et al., 2009; ANWAR et al., 2012; SANTOS, THORNTON; CORSI, 2012).

A importância do conhecimento sobre os mecanismos adaptativos das espécies de gramíneas forrageiras em ambiente de estresse mineral é evidente para o melhor aproveitamento do nutriente e seleção de cultivares (YASEEN; MALHI, 2009). Com isso, objetivou-se analisar as gramíneas forrageiras *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, *B. brizantha* cv. Xaraés, *B. brizantha* cv. Piatã, *B. decumbens* cv. Basilisk, *Panicum maximum* cv. Mombaça, *P. maximum* cv. Tanzânia, *P. maximum* cv. Aruana e *P. maximum* x *P.*

*infestum* cv. Massai quanto às modificações morfológicas e produtivas da parte aérea e das raízes quando cultivadas em ambiente com baixa e alta disponibilidades de nitrogênio.

## 3.2 Material e métodos

### 3.2.1 Material vegetal e condução em casa de vegetação

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada em Piracicaba, Estado de São Paulo, com as gramíneas *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, *B. brizantha* cv. Xaraés, *B. brizantha* cv. Piatã, *B. decumbens* cv. Basilisk, *Panicum maximum* cv. Mombaça, *P. maximum* cv. Tanzânia, *P. maximum* cv. Aruana e *P. maximum* x *P. infestum* cv. Massai, no período do verão. As sementes dos capins foram colocadas para germinar em bandejas plásticas contendo areia lavada e com umidade adequada para proporcionar ambiente favorável à germinação. O transplante das plântulas ocorreu 12 dias após a semeadura, quando apresentavam duas a três folhas. Foram transplantadas 15 mudas por vaso, realizando-se desbastes sucessivos até permanecerem cinco plantas por vaso.

As gramíneas forrageiras foram cultivadas em vasos plásticos com capacidade para 4,2 dm<sup>3</sup> ou 6 kg de terra, durante três períodos de crescimento, com o corte das plantas sendo efetuado à altura de 5 cm do nível do solo. O primeiro, segundo e terceiro cortes ocorreram com 26, 24, 22 dias de crescimento, respectivamente, quando as folhas mais maduras iniciaram a senescência. A temperatura e a umidade média do ar no interior da casa de vegetação, durante o período experimental, foram de 29,6 °C (T<sub>máx</sub> = 44,1°C / T<sub>min</sub> = 19,5°C) e 63,4%, respectivamente.

Os quatro cultivares de *Brachiaria ssp.* e os quatro cultivares de *Panicum ssp.* foram submetidos à alta (300 mg dm<sup>-3</sup>) e baixa (30 mg dm<sup>-3</sup>) doses de nitrogênio, conforme experimentos anteriores realizados por Batista e Monteiro (2008) e De Bona e Monteiro (2010), constituindo um fatorial 8 x 2. O delineamento experimental foi o de blocos completos ao acaso, com quatro repetições e a fonte de nitrogênio foi o nitrato de amônio. Os nutrientes P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Zn e Mo foram aplicados no solo nas quantidades de 150; 150; 60; 50; 30; 1,5; 2,5; 2,0 e 0,25 mg dm<sup>-3</sup>, de forma a não limitarem o crescimento dos capins. As doses de nitrogênio e de potássio foram parceladas em três vezes, com aplicação a cada três dias, para evitar variação brusca da salinidade do solo. Para o segundo e terceiro crescimentos a dose de P que foi reduzida para 75 mg dm<sup>-3</sup>.



### 3.2.2 Caracterização do solo

A terra utilizada no experimento foi coletada em solo classificado como Neossolo Quartzarênico, segundo Embrapa (1999). Essa terra foi secada ao ar, passada em peneira com 4 mm de malha para o descarte de cascalhos e frações orgânicas grosseiras (como raízes e folhas) e homogeneizada para constituir as unidades experimentais. As características químicas do solo antes das adubações foram: pH (H<sub>2</sub>O) = 5,1; pH (CaCl<sub>2</sub>) = 4,2; M.O.(dicromato/titulométrico) = 13 g kg<sup>-1</sup>; P (resina) = 6 mg kg<sup>-1</sup>; K (resina), Ca (resina), Mg (resina), Al (KCl), H+Al (tampão SMP), SB e CTC = 0,8; 2,0; 1,0; 4,0; 18,0; 3,8 e 21,8 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, respectivamente, e V e m = 17 e 51%, respectivamente (RAIJ et al., 2001). Realizou-se calagem com o emprego do V<sub>2</sub> igual a 50% na fórmula para cálculo da dose de corretivo, com a utilização de CaO e MgO (reagentes analíticos) para atender as exigências nutricionais médias das gramíneas forrageiras estudadas. Após a aplicação do corretivo de acidez, o solo foi umedecido com água desionizada para atingir 70% da capacidade de retenção de água e incubado pelo período de 25 dias para reação dos corretivos aplicados.

### 3.2.3 Sistema de irrigação

A água para o sistema solo-planta foi fornecida por meio do sistema auto-irrigante subsuperficial (BONFIM-SILVA; MONTEIRO; SILVA, 2007). A reposição de água para as plantas foi realizada de forma contínua, mantendo-se o solo em 70% da capacidade de retenção de água. O sistema de reposição de água foi composto por cápsula de cerâmica porosa (vela de filtro: diâmetro de 5 cm e altura de 7 cm), inserida no solo, na porção superior do vaso, conectada a tubo flexível de 1,5 cm de diâmetro e a reservatório com capacidade para 1,8 L, situado abaixo do vaso. O potencial de água no solo foi estabelecido pela altura da coluna de água (30 cm) entre o vaso e o reservatório. Dessa forma, a evapotranspiração do sistema solo-planta garantiu a reposição automática de água.

### 3.2.4 Avaliações realizadas

O acompanhamento do aparecimento de folhas e perfilhos foi realizado nos três períodos de crescimento, em cada unidade experimental. As folhas e os perfilhos foram contados em sua totalidade ao final de cada corte. Ao final de cada período de crescimento a parte aérea foi cortada, separada em folhas e colmos+bainhas e as raízes foram separadas após o terceiro corte da parte aérea. A área foliar total do capim foi determinada com o auxílio do aparelho integrador de área foliar *LI 3100C* (LI-COR<sup>®</sup>, Nebraska - USA). A parte aérea foi

secada a 70°C e a massa seca total da parte aérea foi determinada pela soma de folhas e colmos+bainhas após pesagem em balança de precisão.

Após o terceiro corte, separou-se aproximadamente 20% do total do volume das raízes visando as determinações de comprimento e superfície radiculares (ROSSIELO et al., 1995). Essa fração foi acondicionada em recipientes plásticos com água desionizada e colorida com solução de violeta genciana a 50 mg L<sup>-1</sup>, pelo período de 24 horas. Em seguida, as raízes foram colocadas sobre folhas de acetato, de modo que ocorresse o mínimo de sobreposição possível. As imagens das raízes foram digitalizadas em *scanner* HP® Scanjet 3670 (300 dpi, Hewlett-Packard Development Company, Texas - EUA). As imagens digitalizadas foram submetidas ao aplicativo *SIARCS* versão 3.0 (Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo), para a determinação do comprimento e superfície radiculares (CRESTANA et al., 1994). As raízes, tanto as digitalizadas quanto as não digitalizadas, foram secadas a 70°C para obtenção da massa seca total. Com base na massa seca da subamostra digitalizada foram calculados o comprimento e a superfície totais de raízes em cada unidade experimental.

### 3.2.5 Análise estatística

A análise estatística dos resultados foi realizada empregando-se o aplicativo computacional “Statistical Analysis System” (SAS, 2004). Realizou-se a análise de variância pelo procedimento ANOVA e, em função do nível de significância do teste F, foi aplicado o teste de Tukey para a comparação das médias ao nível de significância de 5%.

## 3.3 Resultados

### 3.3.1 Número de folhas, número de perfilhos, área foliar e produção de massa seca da parte aérea

A interação doses de nitrogênio x cultivares foi significativa para o número de folhas, número de perfilhos e área foliar nos três cortes dos capins (Tabela 1). Os mais altos números de folhas foram dos cultivares Aruana, Massai e Basilisk, tanto em alta quanto em baixa dose de nitrogênio. A resposta dos cultivares em relação ao número de folhas, quando submetidos à baixa dose de nitrogênio, foi: 1º Corte (1°C) - Massai = Aruana = Basilisk; 2º Corte (2°C) - Massai = Basilisk, Massai > Aruana e Basilisk = Aruana; 3º Corte (3°C) - Aruana > Massai > Basilisk. Na alta dose de nitrogênio, a ordem das respostas foram: 1°C) Aruana = Basilisk > Massai; 2°C) Massai = Aruana > Basilisk; 3°C) Aruana = Massai > Basilisk. Os cultivares

Piatã e Xaraés, nas épocas dos três cortes, estiveram entre os que menos produziram folhas, nas duas doses de nitrogênio.

A resposta dos cultivares quanto ao número de perfilhos, quando na baixa dose de nitrogênio, foi: 1°C) Massai > Aruana = Basilisk > Marandu = Xaraés = Piatã = Mombaça = Tanzânia; 2°C) resposta igual à do primeiro corte; 3°C) Massai = Aruana > Basilisk = Marandu = Xaraés = Mombaça = Tanzânia, Basilisk > Piatã. Na alta dose de nitrogênio, o número de perfilhos foi: 1°C) o mais alto número de perfilhos foi apresentado pelo cultivar Massai e o mais baixo foi o do Piatã; 2°C) Massai > Aruana > Basilisk > demais cultivares; 3°C) Massai e Aruana com os mais altos e o Piatã com o mais baixo número de perfilhos (Tabela 1).

A área foliar foi igual para os cultivares Marandu, Xaraés, Mombaça, Tanzânia, Aruana e Massai no primeiro corte, quando em baixa dose de nitrogênio. No segundo corte, na mesma dose de nitrogênio, enquanto os mais altos valores foram dos cultivares Marandu, Xaraés, Tanzânia e Mombaça, tendo o Piatã a mais baixa área foliar. No terceiro corte, as mais altas áreas foliares foram dos cultivares de *Panicum*, destacando-se Mombaça e Tanzânia, uma vez que Aruana e Massai tiveram áreas foliares iguais ao Marandu, Xaraés e Basilisk. A alta dose de nitrogênio resultou em: 1°C) alta área foliar dos cultivares Xaraés, Basilisk, Mombaça, Tanzânia e Aruana e baixa área foliar do cultivar Piatã; 2°C) alta área foliar do cultivar Mombaça, sendo igual aos demais cultivares de *Panicum* e maior que os de *Brachiaria*, e o cultivar Piatã mostrando a mais baixa área foliar (Tabela 1).

Ao comparar os cultivares individualmente na baixa dose de nitrogênio, à medida que os cortes foram realizados e o estresse por nitrogênio foi aumentado, foram detectados três padrões de resposta para as variáveis área foliar, número de folhas e número de perfilhos: 1°) para os cultivares Marandu, Xaraés, Piatã, Basilisk e Mombaça o número de perfilhos foi constante e o número de folhas foi reduzido antes da redução da área foliar (Figuras 1A, 1B, 1C, 1D e 1E, respectivamente); 2°) o cultivar Tanzânia manteve o número de perfilhos e área foliar constantes e reduziu o número de folhas (Figura 1F); 3°) os cultivares Aruana e Massai aumentaram o número de perfilhos e o número de folhas enquanto a área foliar foi reduzida (Figuras 1G e 1H, respectivamente). Na alta dose de nitrogênio, a resposta foi semelhante entre os cultivares, ocorrendo aumento do número de perfilhos e da área foliar e redução do número de folhas. As exceções foram os cultivares Massai e Aruana, que aumentaram os números de perfilhos e de folhas e a área foliar.

A interação doses de nitrogênio x cultivares foi significativa para produção de massa seca de folhas e de colmos+bainhas dos capins, nos três cortes dos capins (Tabela 2). Com o

Tabela 1 – Número de folhas, número de perfilhos e área foliar no primeiro, segundo e terceiro cortes dos cultivares de *Brachiaria* e *Panicum* em alta e baixa doses de nitrogênio

Cultivares/Dose N	Número de folhas				Número de perfilhos				Área foliar			
	Baixo N		Alto N		Baixo N		Alto N		Baixo N		Alto N	
<i>1º Corte</i>	Folhas/vaso				Perfilhos/vaso				cm <sup>2</sup> /vaso			
Marandu	92	bcd	108	cd	23	c	34	c	1877	abc	2909	b
Xaraés	76	cd	92	de	21	c	30	c	2121	ab	3664	ab
Piatã	73	d	67	e	18	c	16	d	1330	c	1228	c
Basilisk	123	a	190	a	36	b	60	b	1681	bc	4129	ab
Mombaça	93	bc	118	cd	22	c	25	cd	2498	a	4548	a
Tanzânia	101	b	148	b	20	c	31	c	2061	ab	4406	ab
Aruana	127	a	201	a	40	b	66	b	2080	ab	3507	ab
Massai	137	a	161	b	63	a	79	a	1958	abc	2939	b
<i>Média</i>	<i>103</i>		<i>136</i>		<i>30</i>		<i>43</i>		<i>1951</i>		<i>3416</i>	
<i>Teste F</i>												
N	**				**				**			
Cultivar	**				**				**			
N x Cultivar	**				**				**			
CV (%)	8,6				11,3				16,8			
<i>2º Corte</i>	Folhas/vaso				Perfilhos/vaso				cm <sup>2</sup> /vaso			
Marandu	38	c	85	c	25	c	41	d	1790	abc	5448	b
Xaraés	23	c	62	c	23	c	49	d	1898	ab	5577	b
Piatã	38	c	52	c	22	c	25	d	1052	d	1292	c
Basilisk	80	ab	173	b	43	b	76	c	1477	c	5221	b
Mombaça	31	c	90	c	24	c	46	d	1954	ab	7783	a
Tanzânia	39	c	91	c	25	c	41	d	2107	a	6399	ab
Aruana	63	b	220	a	44	b	109	b	1593	bc	6598	ab
Massai	85	a	226	a	81	a	149	a	1543	bc	6330	ab
<i>Média</i>	<i>50</i>		<i>125</i>		<i>36</i>		<i>67</i>		<i>1677</i>		<i>5581</i>	
<i>Teste F</i>												
N	**				**				**			
Cultivar	**				**				**			
N x Cultivar	**				**				**			
CV (%)	13,6				15,3				13,5			
<i>3º Corte</i>	Folhas/vaso				Perfilhos/vaso				cm <sup>2</sup> /vaso			
Marandu	53	c	107	c	27	bc	53	bc	895	bc	3616	b
Xaraés	17	e	90	c	19	bc	59	bc	742	bc	4844	ab
Piatã	23	e	31	d	13	c	6	d	315	c	317	c
Basilisk	62	c	206	b	35	b	78	b	798	bc	3977	b
Mombaça	33	de	97	c	24	bc	42	c	1554	a	5556	ab
Tanzânia	47	cd	118	c	30	bc	57	bc	1599	a	6736	a
Aruana	117	a	284	a	70	a	144	a	1041	ab	6677	a
Massai	91	b	257	a	72	a	165	a	1263	ab	6201	a
<i>Média</i>	<i>55</i>		<i>149</i>		<i>36</i>		<i>75</i>		<i>1026</i>		<i>4740</i>	
<i>Teste F</i>												
N	**				**				**			
Cultivar	**				**				**			
N x Cultivar	**				**				**			
CV (%)	16,1				25,7				30,6			

Médias seguidas da mesma letra em cada sub-coluna, em cada corte das plantas, não são significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. \*\*, significativo a 1% de probabilidade.

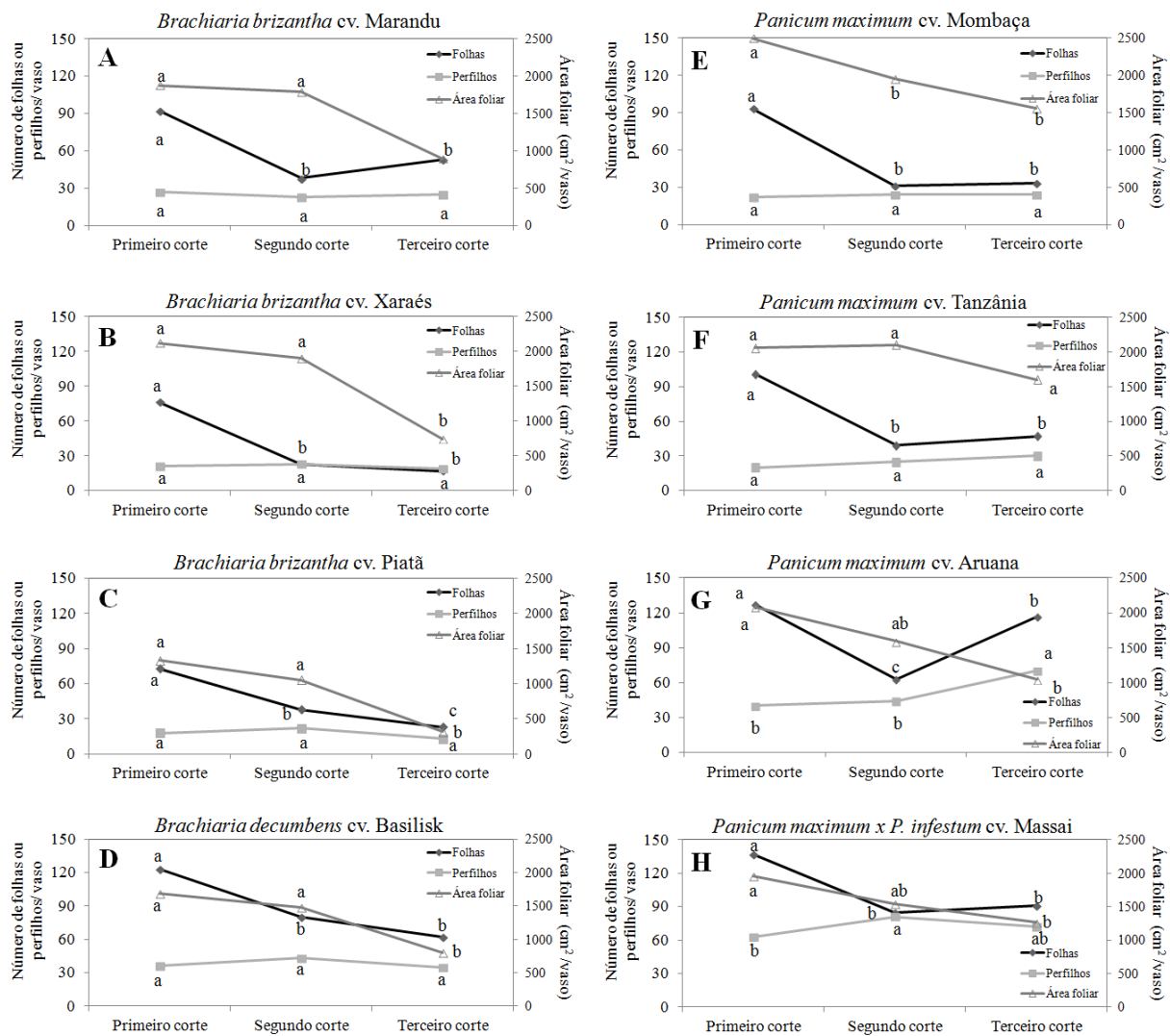


Figura 1 – Padrões de resposta dos cultivares recebendo baixa dose de nitrogênio à medida que os cortes foram realizados (médias seguidas de mesma letra, dentro de cada cultivar e variável, não são significativas a 5% de probabilidade)

incremento da dose de nitrogênio foi verificado aumento na produção de massa seca de folhas e de colmos + bainhas. A resposta dos cultivares em relação à produção de massa seca de folhas, quando submetido à baixa dose de nitrogênio, foi: 1°C) o cultivar Mombaça teve a mais alta produção de folhas, enquanto Marandu, Piatã, Basilisk e Aruana tiveram as mais baixas produções de massa seca de folhas; 2°C) os cultivares Xaraés, Mombaça, Tanzânia e Massai tiveram as mais altas produções de massa seca de folhas enquanto Piatã e Basilisk as mais baixas produções de massa seca de folhas; 3°C) os cultivares Mombaça, Tanzânia e Massai tiveram as mais altas produções de massa seca de folhas e os cultivares de *Brachiaria* tiveram as menores produções de massa seca de folhas. Na alta dose de nitrogênio, os cultivares Mombaça e Piatã mostraram a mais alta e mais baixa, respectivamente, produções de massa seca de folhas no primeiro corte. No segundo corte, o cultivar Piatã continuou tendo

a mais baixa produção de massa seca de folhas, enquanto Mombaça, Tanzânia e Massai tiveram os maiores valores para essa variável. No terceiro corte, o cultivar Piatã teve similar resposta aos dois primeiros cortes e os cultivares de *Panicum* tiveram elevadas produções de massa seca de folhas.

A produção de massa seca de colmos+bainhas foi semelhante entre os cultivares (Tabela 2). A resposta dos cultivares para produção de massa seca de colmos+bainhas, na baixa dose de nitrogênio, foi: 1°C) o cultivar Basilisk teve a mais alta produção de massa seca de colmos+bainhas e o cultivar Massai foi um dos que apresentou mais baixa produção de massa seca de colmos+bainhas; 2°C) o cultivar Massai teve a mais baixa produção de massa seca de colmos+bainhas, enquanto o Marandu esteve entre os que mais produziram massa seca de colmos+bainhas; 3°C) Basilisk, Mombaça e Aruana tiveram altos valores de massa seca de colmos+bainhas enquanto Piatã e Massai apresentaram baixos valores de massa seca de colmos+bainhas. Na alta dose de nitrogênio, o cultivar Piatã mostrou as mais baixas produções de massa seca de colmos+bainhas e o Basilisk sempre esteve entre os que mais produziram massa seca de colmos+bainhas, nas ocasiões dos três cortes.

A interação doses de nitrogênio x cultivares foi significativa para produção de massa seca da parte aérea dos capins, nos três cortes (Figura 2). A baixa disponibilidade de nitrogênio no solo, na fase de estabelecimento das gramíneas forrageiras (Figura 2A) resultou em maior produção de massa seca da parte aérea do cultivar Mombaça do que nos demais cultivares, enquanto que os cultivares Marandu, Piatã e Aruana estiveram entre os de mais baixa produção de massa seca da parte aérea. No segundo corte, os capins Piatã, Basilisk e Massai estiveram entre os que menos produziram massa seca da parte aérea (Figura 2B). No terceiro corte, o cultivar Mombaça produziu mais massa seca da parte aérea do que os demais cultivares, exceto o Tanzânia, e o cultivar Piatã esteve entre os de mais baixa produção de massa seca da parte aérea (Figura 2C). A alta disponibilidade de nitrogênio no solo resultou na seguinte ordem de produção de massa seca da parte aérea: 1°C) Mombaça = Tanzânia, Mombaça > que os demais, Tanzânia = Basilisk > Marandu = Xaraés = Aruana = Massai > Piatã; 2°C) os cultivares de *Panicum* tiveram alta produção de massa seca da parte aérea, tendo o Mombaça maior produção de massa seca do que todos os cultivares de *Brachiaria*, porém os cultivares Xaraés e Basilisk tiveram produções iguais a alguns dos cultivares de *Panicum*; 3°C) *Panicum* > que os demais capins, Xaraés = Basilisk, Basilisk = Marandu, Xaraés > Marandu > Piatã.

Tabela 2 – Produção de massa seca de folhas (MSF) e colmos+bainhas (MSCB) no primeiro, segundo e terceiro cortes dos cultivares de *Brachiaria* e *Panicum* em alta e baixa doses de nitrogênio

Cultivares Dose N	MSF				MSCB			
	Baixo N		Alto N		Baixo N		Alto N	
<i>1° Corte</i>	g/vaso				g/vaso			
Marandu	10,9	de	14,0	d	4,3	de	5,1	cd
Xaraés	14,0	bc	19,0	c	6,1	bcd	6,9	c
Piatã	9,9	de	7,6	e	4,5	de	2,7	d
Basilisk	9,5	e	17,8	cd	9,8	a	17,5	a
Mombaça	17,8	a	32,2	a	7,7	bcd	12,3	b
Tanzânia	14,6	b	26,3	b	6,6	bcd	10,7	b
Aruana	8,8	e	16,3	cd	5,5	cde	10,3	b
Massai	12,0	cd	16,5	cd	3,8	e	5,6	cd
<i>Média</i>	<i>12,2</i>		<i>18,7</i>		<i>6,0</i>		<i>8,9</i>	
<i>Teste F</i>								
N			**				**	
Cultivar			**				**	
N x Cultivar			**				**	
CV (%)			11,0				14,3	
<i>2° Corte</i>	g/vaso				g/vaso			
Marandu	8,6	b	17,9	c	5,8	a	9,4	d
Xaraés	9,5	ab	26,3	b	5,2	ab	14,3	abc
Piatã	5,3	c	6,5	d	4,3	b	4,5	e
Basilisk	5,7	c	17,9	c	5,2	ab	17,5	ab
Mombaça	10,6	a	35,9	a	4,2	b	14,7	ab
Tanzânia	10,3	a	31,3	a	4,4	b	13,6	bcd
Aruana	8,1	b	25,8	b	4,6	b	19,0	a
Massai	9,5	ab	31,4	a	1,9	c	9,9	cd
<i>Média</i>	<i>8,5</i>		<i>24,1</i>		<i>4,5</i>		<i>12,9</i>	
<i>Teste F</i>								
N			**				**	
Cultivar			**				**	
N x Cultivar			**				**	
CV (%)			9,0				12,0	
<i>3° Corte</i>	g/vaso				g/vaso			
Marandu	5,0	c	14,6	d	1,9	bc	6,3	c
Xaraés	4,7	cd	22,6	bc	2,0	bc	10,3	bc
Piatã	2,1	d	2,8	e	1,1	c	1,1	d
Basilisk	3,5	cd	16,1	cd	2,3	abc	13,4	ab
Mombaça	9,8	a	32,7	a	3,5	a	13,5	ab
Tanzânia	8,5	ab	34,2	a	3,2	ab	16,4	a
Aruana	6,0	bc	27,8	ab	2,2	bc	15,4	a
Massai	8,1	ab	33,7	a	1,3	c	17,4	a
<i>Média</i>	<i>6,0</i>		<i>23,0</i>		<i>2,2</i>		<i>11,7</i>	
<i>Teste F</i>								
N			**				**	
Cultivar			**				**	
N x Cultivar			**				**	
CV (%)			14,0				21,0	

Médias seguidas da mesma letra em cada sub-coluna, em cada corte das plantas, não são significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. \*\*, significativo a 1% de probabilidade.

### 3.3.2 Superfície, comprimento e produção de massa seca das raízes

A interação doses de nitrogênio x cultivares foi significativa para a produção de massa seca, superfície e comprimento das raízes (Figura 3). A alta dose de nitrogênio resultou em: alta produção de massa seca de raízes pelos cultivares Mombaça e Tanzânia; o mais baixo valor observado foi do cultivar Piatã, porém este valor foi igual ao dos cultivares Marandu e Xaraés. Na baixa dose de nitrogênio, a ordem de produção de massa seca foi: Mombaça = Tanzânia > todos os demais cultivares, exceto o Aruana; Aruana = Massai; *Panicum* > Marandu = Xaraés = Piatã = Basilisk (Figura 3A).

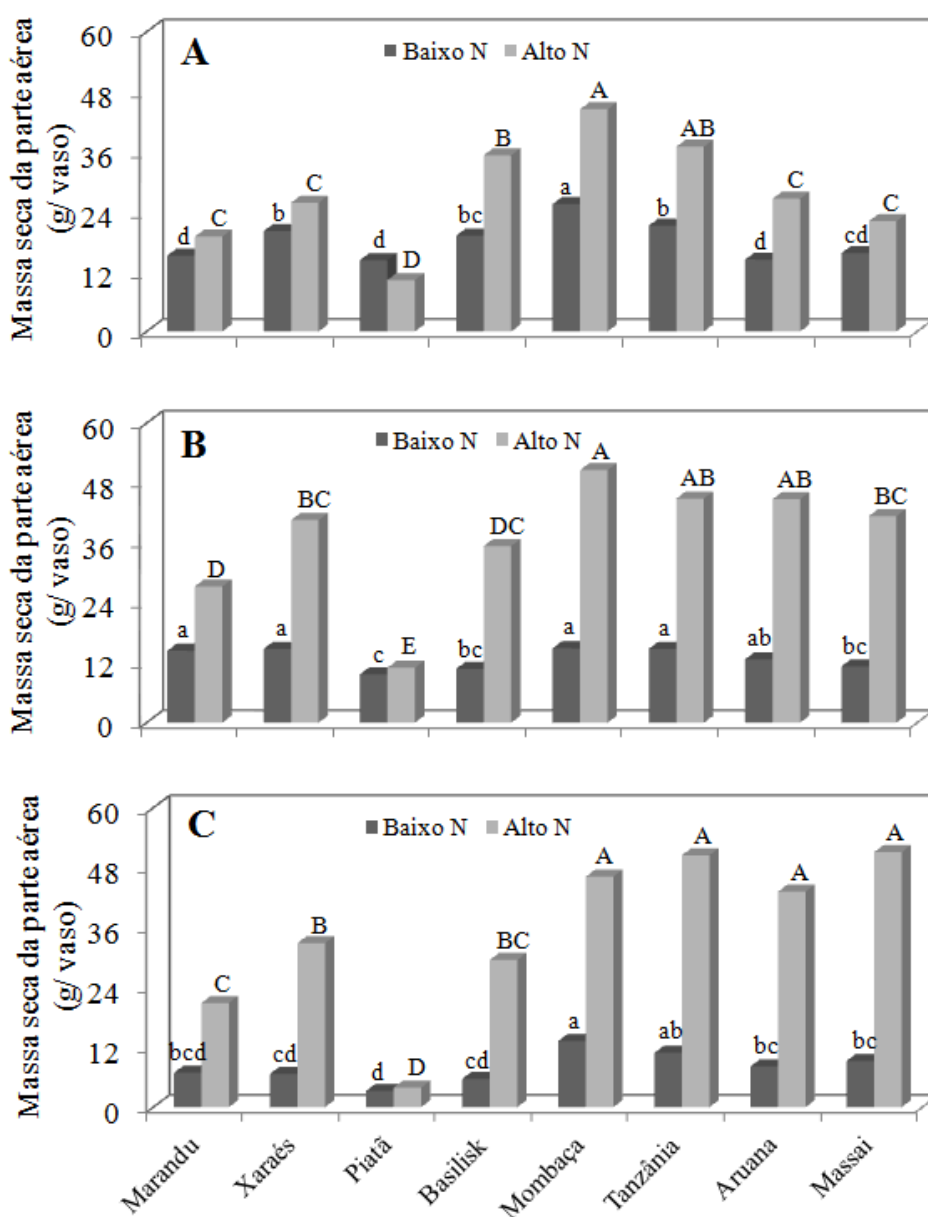


Figura 2 – Produção de massa seca da parte aérea no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) cortes dos cultivares de *Brachiaria* e *Panicum* em alta e baixa doses de nitrogênio (médias seguidas de mesma letra, minúscula em baixa dose de nitrogênio e maiúscula em alta dose de nitrogênio, não são significativas a 5% de probabilidade)



A resposta dos cultivares em termos de superfície das raízes, na baixa dose de nitrogênio, foi: o cultivar Mombaça teve a maior superfície de raízes do que os demais cultivares, exceto Tanzânia e Aruana; o cultivar Piatã teve o mais baixo valor de superfície radicular, porém não se diferenciou dos outros cultivares de *Brachiaria*. Na alta dose de nitrogênio, a resposta dos cultivares foi similar à da baixa dose de nitrogênio (Figura 3B). A baixa dose de nitrogênio resultou em alto comprimento radicular para os cultivares Aruana e Mombaça. O comprimento das raízes do cultivar Tanzânia não se diferenciou do Mombaça. O cultivar Piatã apresentou o mais baixo valor de comprimento radicular, porém este valor foi estatisticamente igual ao dos cultivares Marandu e Xaraés. Na alta dose de nitrogênio, os cultivares de *Panicum* tiveram os mais altos comprimentos de raízes. Todavia, os capins Marandu, Xaraés e Basilisk tiveram comprimentos iguais ao cultivar Massai. O cultivar Piatã teve o mais baixo valor de comprimento radicular, porém este valor foi igual ao dos cultivares Marandu, Xaraés e Basilisk (Figura 3C).

### 3.3.3 Proporção da produção de massa seca

A produção de massa seca da parte aérea do terceiro corte foi usada para calcular a proporção da produção de massa seca dos capins, pois, somente ao final deste corte o sistema radicular foi separado da parte aérea. Na baixa dose de nitrogênio, os cultivares Marandu, Xaraés e Piatã tiveram proporções semelhantes entre produção de massa seca de folhas, colmos+bainhas e raízes (Figura 4) tendo, principalmente, o cultivar Basilisk proporção maior de raízes. A proporção de massa seca de folhas foi maior nos cultivares de *B. brizantha* do que no cultivar de *B. decumbens*. Nos cultivares de *Panicum*, a proporção de raízes foi mais elevada no Aruana, enquanto a proporção de folhas foi mais alta no Massai.

A alta dose de nitrogênio resultou em maior participação das folhas e colmos+bainhas na massa seca total dos cultivares Marandu, Xaraés e Piatã do que na baixa dose de nitrogênio, sendo que para o Basilisk ocorreu aumento na proporção, principalmente, para colmos+bainhas em relação aos demais cultivares (Figura 4). Nessa dose de nitrogênio, houve aumento da proporção de folhas e colmos+bainhas nos cultivares Mombaça e Tanzânia, porém a proporção de raízes continuou elevada, resultado semelhante ao da baixa dose de nitrogênio. O elevado suprimento de nitrogênio resultou em menor proporção de raízes e incremento na proporção de folhas e colmos+bainhas nos cultivares Massai e Aruana (Figura 4).

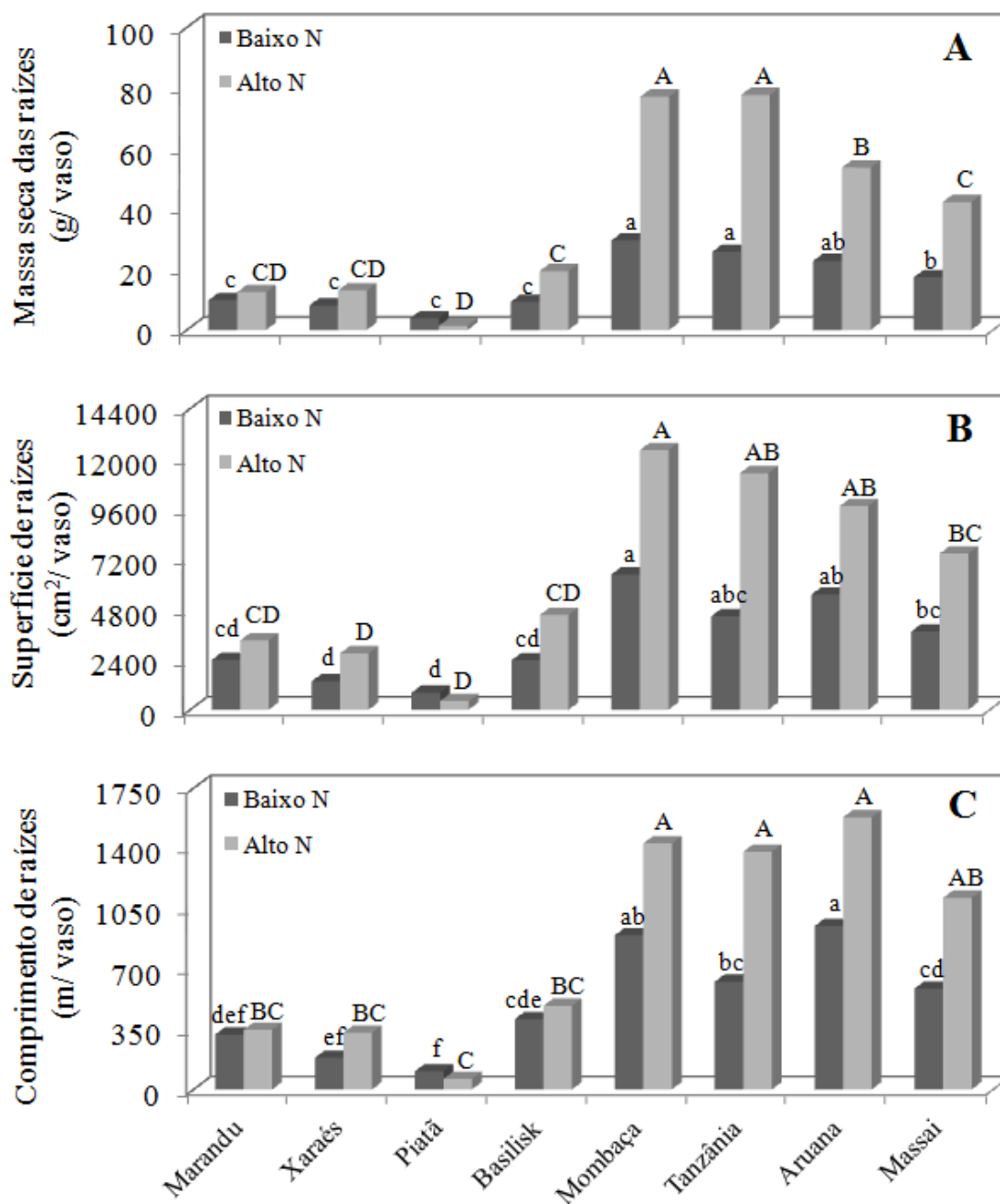


Figura 3 – Produção de massa seca (A), superfície (B) e comprimento (C) das raízes dos cultivares de *Brachiaria* e *Panicum* em alta e baixa doses de nitrogênio (médias seguidas de mesma letra minúscula em baixa dose de nitrogênio e maiúscula em alta dose de nitrogênio, não são significativas a 5% de probabilidade)

### 3.4 Discussão

O incremento na dose de nitrogênio resultou em aumento do número de folhas em todos os cultivares (Tabela 1), pelo estímulo do nitrogênio na formação de novos tecidos foliares (OLIVEIRA et al., 2007). Entretanto, o aumento da produção de massa seca dos capins depende não somente do número de folhas, mas de sua forma, arranjo e tamanho

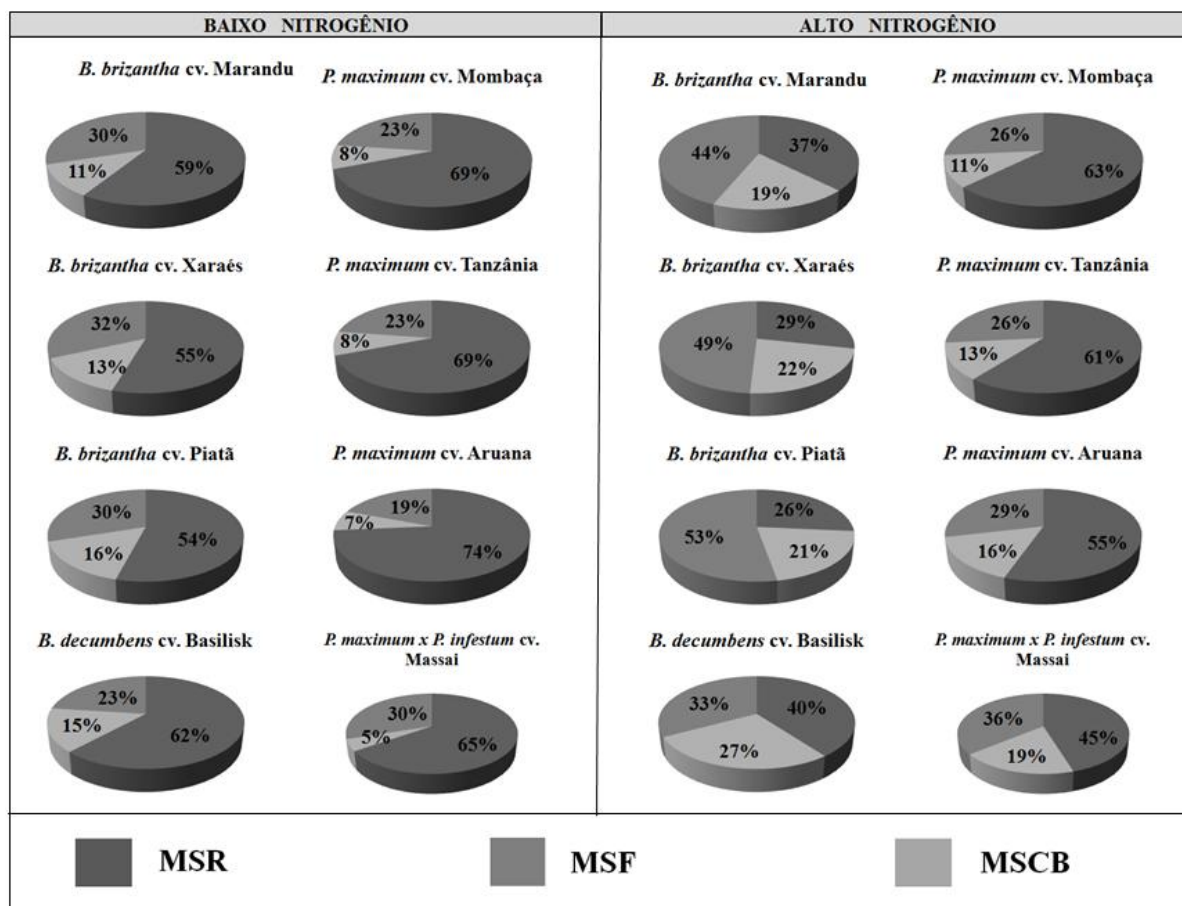


Figura 4 – Proporção da produção total de massa seca em massa seca de raízes (MSR), folhas (MSF) e colmos+bainhas (MSCB) dos cultivares de *Brachiaria* e *Panicum* no terceiro corte, com variação no fornecimento de nitrogênio

(PARSONS; LEAFE; COLLET, 1983; GIACOMINI et al., 2009; VILELA et al., 2012). Assim, o aumento no número de folhas não caracteriza o potencial de produção dessas gramíneas forrageiras, como não aumentou a produção de massa seca dos cultivares Basilisk, Aruana e Massai (Figura 2). Além do aparecimento de folhas a área foliar precisa ser considerada, pois o suprimento de nutrientes, como o nitrogênio, aumenta a eficiência fotossintética da planta (PARSONS; LEAFE; COLLET, 1983) por incrementar a elongação e expansão foliar, resultando em elevada área de interceptação luminosa (CHAPMAN; LEMAIRE, 1993; AKMAL; JANSSENS, 2004). Com mais área de interceptação luminosa, a taxa fotossintética é aumentada, com consequente incremento da produção de biomassa (PILBEAM, 2011). O cultivar Mombaça produziu poucas folhas nas duas doses de nitrogênio, porém apresentou maior área foliar que os demais cultivares, o que resultou em elevada produção de massa seca de folhas (Tabela 2). O cultivar Xaraés também teve resposta semelhante ao Mombaça produzindo poucas folhas, mas com alta área foliar (Tabela 2).

O hábito de crescimento de gramíneas pode ter interferido no uso do nitrogênio aplicado em termos da produção de massa seca da parte aérea (RYSER; LAMBERS, 1995; ANWAR et al., 2012). Cultivares como Massai, Aruana e Basilisk tiveram elevados números de folhas e perfilhos nas duas doses de nitrogênio (Tabela 1). O gasto de energia para o aumento do número de perfilhos e folhas resultou em baixa produção de massa seca de folhas e de colmos+bainhas (Tabelas 1 e 2), o que refletiu na menor produção de massa seca total por esses cultivares quando comparados ao Mombaça (Figura 2). Existe correlação negativa entre o número e a massa de perfilhos dentro do cultivar o que impede as gemas mais tardias de iniciarem novos perfilhos (MATTHEW et al., 1995; NABINGER; MEDEIROS, 1995; SANTOS et al., 2009; SANTOS et al., 2011). Por essa razão, a alta produção de perfilhos resulta em menor produção de massa seca de perfilhos, e conseqüentemente da parte aérea (Figura 2), o que ocorreu com os cultivares Massai e Aruana. O cultivar Basilisk respondeu de forma diferente do Massai e Aruana quando em baixa dose de nitrogênio, pois mostrou alta produção de massa seca de colmos+bainhas com elevado número de folhas, enquanto a área foliar foi uma das mais baixas observadas. Essa resposta pode estar relacionada à forma decumbente de crescimento (estimulando a emissão de folhas e perfilhos), a mais baixa perda de água e ao ataque de herbívoros no seu habitat natural, garantindo sua sobrevivência no ambiente.

A disponibilidade de nitrogênio controla o processo de desenvolvimento da planta, devido à rapidez de formação das gemas axilares e de iniciação dos perfilhos correspondentes (NABINGER; MEDEIROS, 1995), porém cada cultivar exibiu adaptações inerentes ao ambiente em que foi selecionado na utilização do nitrogênio e na partição do carbono assimilado para produção de massa seca (ANWAR et al., 2012). Segundo Nabinger e Pontes (2001), em condição que a fotossíntese é limitada (ex. falta de nitrogênio) no início ocorre redução do perfilhamento, depois aumento na duração de vida da folha e, por último, diminuição no tamanho da folha. Entretanto, à medida que os cortes ocorreram e o estresse aumentou, na baixa dose de nitrogênio, os cultivares Marandu, Xaraés, Piatã, Basilisk e Mombaça mantiveram o número de perfilhos constante e o número de folhas foi reduzido antes da diminuição da área foliar (Figuras 1A, 1B, 1C, 1D e 1E, respectivamente). O cultivar Tanzânia manteve o número de perfilhos e área foliar constantes e reduziu o número de folhas (Figura 1F), enquanto os cultivares Aruana e Massai aumentaram o número de perfilhos e o número de folhas, mas produziram menor a área foliar que nos cortes anteriores (Figuras 1G e 1H, respectivamente).

Outra estratégia para melhor aproveitamento dos nutrientes presentes no solo dos capins adaptados a solos com baixa fertilidade é a elevada partição do carbono fixado na fotossíntese para a produção de raízes (RAO; AYARZA; GARCIA, 1995), quando se encontram em situação de estresse. O rápido crescimento inicial do sistema radicular é visto como o principal fator para proporcionar o aumento na quantidade absorvida de nitrogênio (LIAO; FILLEY; PALTA, 2004; NOULAS et al., 2009) o que favorece a persistência das gramíneas forrageiras no ambiente produtivo. Os cultivares que mais produziram massa seca de raízes foram Mombaça e Tanzânia, tanto em alta quanto em baixa dose de nitrogênio (Figura 3C), evidenciando que cultivares que possuem crescimento radicular exuberante também tem alta produção de massa seca da parte aérea (Figura 2). Burton (1943) observou que gramíneas subtropicais possuem diferenças no crescimento do sistema radicular e que o *Paspalum notatum* (bahiagrass) teve grande crescimento de raízes, em quantidade e comprimento, podendo isto estar relacionado ao melhor aproveitamento do nitrogênio presente no solo (ACUÑA et al., 2010).

Santos, Thornton e Corsi (2002) observaram que a espécie *Poa trivialis*, quando retirada do ambiente com concentração adequada de nitrogênio para outro sem nitrogênio disponível, imediatamente interrompeu a mobilização do nitrogênio para o crescimento de perfilhos, enquanto que o *Panicum maximum* cv. Tanzânia continuou a mobilizar esse nutriente, prioritariamente, para o crescimento de perfilhos e folhas novas, mas com o passar do tempo as raízes foram os principais drenos do nitrogênio. Martuscello et al. (2009) concluíram que, para a *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés e para o *P. maximum* x *P. infestum* cv. Massai, o nitrogênio foi translocado prioritariamente para o crescimento da parte aérea e não para o sistema radicular. Acuña et al. (2010) observaram em *Paspalum notatum* (bahiagrass) que o nitrogênio absorvido foi deslocado, preferencialmente, para assimilação na parte aérea do capim. Santos, Thornton e Corsi (2012) confirmaram que os principais drenos no cultivar Tanzânia seriam folhas novas e perfilhos laterais.

O baixo suprimento de nitrogênio resultou em maior participação da massa seca de raízes na massa seca total dos cultivares Marandu, Xaraés, Piatã e Basilisk do que na alta dose de nitrogênio, sendo que para o Basilisk mostrou menor valor dessa proporção, principalmente, nos colmos+bainhas (Figura 4). Rao, Ayarza e Garcia (1995), trabalhando com sete gramíneas forrageiras tropicais, consideraram que, em solos com baixa fertilidade, a adaptação dos cultivares ocorreu de forma marcante, com o aumento da proporção de biomassa para o crescimento radicular, em detrimento da parte aérea. No alto suprimento de nitrogênio, os cultivares Mombaça e Tanzânia tiveram aumento na proporção de folhas e

colmos+bainhas, porém a proporção para as raízes permaneceu elevada, de forma semelhante à verificada na baixa disponibilidade de nitrogênio no solo. Os cultivares Massai e Aruana tiveram diminuição na proporção de massa seca para as raízes e aumento para folhas e colmos+bainhas, evidenciando maior plasticidade destes cultivares em relação aos outros dois cultivares de *Panicum*. Ao contrário dos relatos feitos por Santos, Thornton e Corsi (2002), Martuscello et al., (2009) e Santos, Thornton e Corsi (2012) os capins Xaraés e Massai com baixo suprimento de nitrogênio priorizaram o crescimento radicular em relação a parte aérea e o Tanzânia produziu grande quantidade de raízes para garantir o crescimento vigoroso da parte aérea, tanto em baixa quanto em alta dose de nitrogênio (Figura 4).

### 3.5 Conclusões

As oito gramíneas forrageiras possuem diferenciação no crescimento da parte aérea e raízes quando em alto e baixo suprimento de nitrogênio. No baixo suprimento de nitrogênio os cultivares Marandu, Xaraés, Piatã, Basilisk e Mombaça mantiveram o número de perfilhos constante e diminuíram o número de folhas e a área foliar. O cultivar Tanzânia manteve o número de perfilhos e área foliar constantes e reduziu o número de folhas, na baixa dose de nitrogênio. Os cultivares Aruana e Massai aumentaram o número de perfilhos e de folhas e reduziram a área foliar, nessa mesma dose de nitrogênio. Na baixa dose de nitrogênio, os capins Marandu, Xaraés, Piatã, Basilisk, Aruana e Massai priorizaram o crescimento do sistema radicular, enquanto Mombaça e Tanzânia mantiveram similar proporção da massa seca a alta dose de nitrogênio.

### Referências

- ACUÑA, C.A.; SINCLAIR, T.R.; MACKOWIAK, C.L.; BLOUNT, A.R.; QUESENBERRY, K.H.; HANNA, W.W. Potential root depth development and nitrogen uptake by tetraploid bahiagrass hybrids. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.334, p.491-499, 2010.
- AKMAL, M.; JANSSENS, M.J.J. Productivity and light use efficiency of perennial ryegrass with contrasting water and nitrogen supplies. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.88, p.143-155, 2004.
- ANWAR, M.; AKMAL, M.; SHAH, A.; ASIM, M.; GOHAR, R. Growth and yield comparison of perennial grasses as rain fed fodder production. **Pakistan Journal of Botany**, Karachi, v.44, p.547-552, 2012.
- BATISTA, K.; MONTEIRO, F.A. Nitrogênio e enxofre nas características morfogênicas do capim-marandu em substituição ao capim-braquiária em degradação em solo com baixo teor de matéria orgânica. **Brazilian Journal of Animal Science**, Viçosa, v.37, p.1151-1160, 2008.

BONFIM-SILVA, E.M.; MONTEIRO, F.A.; SILVA, T.J.A. Nitrogênio e enxofre na produção e no uso de água pelo capim-braquiária em degradação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.309-317, 2007.

BRÉGARDA, A; BÉLANGER, G.; MICHAUDA, R. Nitrogen use efficiency and morphological characteristics of timothy populations selected for low and high forage nitrogen concentrations. **Crop Science**, Madison, v.40, p.422-429, 2000.

BURTON, G.W. A comparison of the first year's root production of seven southern grasses established from seed. **Journal of American Society of Agronomy**, Wisconsin, v.35, p.192-196, 1943.

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

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

DE BONA, F.D.; MONTEIRO, F.A. Marandu palisadegrass growth under nitrogen and sulphur for replacing Signal grass in degraded tropical pasture. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.67, p.570-578, 2010.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412p.

GIACOMINI, A.A.; DA SILVA, S.C.; LUCENA, D.O; ZEFERINO, S.C.V.; TRINDADE, J.K.; SOUZA JÚNIOR, S.J.; GUARDA, V.D.A.; SBRISSIA, A.F.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Growth of marandu palisadegrass subjected to strategies of intermittent stocking. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.66, p.721-732, 2009.

IBGE – Indicadores de desenvolvimento sustentável. [2010]. In: IBGE. Brasil: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 out. 2012.

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

LIAO, M.; FILLEY, I.R.P.; PALTA, J.A. Early vigorous growth is a major factor influencing nitrogen uptake in wheat. **Functional Plant Biology**, Melbourne, v.31, p.121-129, 2004.

MARTUSCELLO, J.A.; FARIA, D.J.G.; CUNHA, D.N.F.V.; FONSECA, D.M. Adubação nitrogenada e partição massa seca em plantas de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés e *Panicum maximum* x *Panicum infestum* cv. Massai. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, p.663-667, 2009.

MATTHEW, C.; LEMAIRE, G.; HAMILTON, N.R.S.; HERNÁNDEZ-GARAY, A.H.A modified self-thinning equation to describe size/density relationships for defoliated swards. **Annals of Botany**, London, v.76, p.579-587, 1995.

MOMMER, L.; VISSER, E.J.W.; van RUIJVEN, J.; DE CALUWE, H.; PIERIK, R.; DE KROON, H. Contrasting root behaviour in two grass species: A test of functionality in dynamic heterogeneous conditions. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.344, p.347-360, 2011.

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

NABINGER, C.; PONTES, L.S. Morfogênese de plantas forrageiras e estrutura do pasto. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38, 2001. Piracicaba. **Anais ...** Piracicaba: SBZ, 2001. p.755-771.

NOULAS, C.; LIEDGENS, M.; STAMP, P.; ALEXIOU, I.; HERRERA, J.M. Subsoil root growth of field grown spring wheat genotypes (*Triticum aestivum L.*) differing in nitrogen use efficiency parameters. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.33, p.1887-1903, 2010.

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

PARSONS, A.J.; LEAFE, E.L.; COLLET, B.; PENNING, P.D.; LEWIS, J. The physiology of grass production under grazing. I. Characteristics of leaf and canopy photosynthesis of continuously-grazed swards. **The Journal of Applied Ecology**, London, v.20, p.117-126, 1983.

PILBEAM, D.J. The utilization of nitrogen by plants: a whole plant perspective. **Annual Plant Reviews**, Oxford, v.42, p.305-351, 2011.

RAO, I.M.; AYARZA, M.A.; GARCIA, R. Adaptative attributes of tropical forage species to acid soils I. Differences in plant growth, nutrient acquisition and nutrient utilization among C<sub>4</sub> grasses and C<sub>3</sub> legumes. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.18, p.2135-2155, 1995.

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

RYSER, P.; LAMBERS, H. Root and leaf attributes accounting for the performance of fast- and slow-growing grasses at different nutrient supply. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.170, p.251-265, 1995.

SANTOS, M.E.R.; FONSECA, D.M.; BALBINO, E.M.; MONNERAT, J.P.I.S.; SILVA, S.P. Caracterização dos perfilhos em pastos de capim-braquiária diferidos e adubados com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, n.4, p.643-649, 2009.



SANTOS, M.E.R.; FONSECA, D.M.; PIMENTEL, R.M.; SILVA, G.P.; GOMES, V.M.; SILVA, S.P. Número e peso de perfilhos no pasto de capim-braquiária sob lotação contínua. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.33, p.131-136, 2011.

SANTOS, P.M.; THORNTON, B.; CORSI, M. Nitrogen dynamics in the intact grasses *Poa trivialis* and *Panicum maximum* receiving contrasting supplies of nitrogen. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.53, p.2167-2176, 2002.

SANTOS, P.M.; THORNTON, B.; CORSI, M. Adaptation of the C4 grass *Panicum maximum* to defoliation is related to plasticity of N uptake, mobilisation and allocation patterns. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.69, p.293-299, 2012.

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

RAIJ, B. van; DE ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade dos solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285p.

VILELA, H.H.; SOUSA, B.M.L.; SANTOS, M.E.R.; SANTOS, A.L.; ASSIS, C.Z.; ROCHA, G.O.; FARIA, B.D.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Forage mass and structure of piatã grass deferred at different heights and variable periods. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.41, p.1625-1631, 2012.

YASEEN, M.; MALHI, S. Differential growth response of wheat genotypes to ammonium phosphate and rock phosphate phosphorus sources. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.32, p.410-432, 2009.

#### **4 MODIFICAÇÕES E EFICIÊNCIA NO USO DO NITROGÊNIO POR CULTIVARES DE *PANICUM* E *BRACHIARIA* EM ALTA E BAIXA DOSES DE NITROGÊNIO**

##### **Resumo**

O melhor aproveitamento do nitrogênio pelas gramíneas forrageiras é necessário para aumentar a eficiência de uso do nutriente e a persistência das espécies no ambiente produtivo. Com isso, objetivou-se analisar se oito gramíneas forrageiras modificam a partição do nitrogênio absorvido para melhor eficiência de uso desse nutriente, quando cultivadas em ambiente com baixa e alta disponibilidades de nitrogênio. O experimento foi realizado em casa de vegetação com um Neossolo Quartzarênico coletado em área de pasto degradado. O experimento foi um fatorial 8 x 2 (oito gramíneas forrageiras x duas doses de nitrogênio) em blocos completos ao acaso, com quatro repetições. As gramíneas forrageiras estudadas modificam a partição de nitrogênio total, nitrato e amônio entre parte aérea e raízes, quando em alto e baixo suprimentos de nitrogênio. Essas diferenças refletem na mais alta eficiência de uso do nitrogênio por Mombaça e Tanzânia do que nos outros seis cultivares.

Palavras-chave: Amônio; Concentração; Conteúdo; Nitrato; NUE

##### **Abstract**

A better nitrogen use in grasses is necessary to increase nutrient use efficiency and the species persistence in the production environment. Thus, this study aimed to analyze if eight grasses modify nitrogen partition to a better nutrient use efficiency when growing in an environment with low and high nitrogen availability. The experiment was carried out in a greenhouse with an Entisol collected in a degraded pasture area. The experiment was a 8 x 2 factorial (eight grasses x two nitrogen rates) in randomized block design, with four replications. The grasses studied modify the nitrogen partition, nitrate and ammonium concentrations in shoots and roots, both high and low nitrogen supply. These differences reflect the higher nitrogen use efficiency by Mombaça and Tanzânia than the other six cultivars.

Keywords: Ammonium; Concentration; Content; Nitrate; NUE

## 4.1 Introdução

O Brasil possui aproximadamente 173 milhões de hectares de pastagens em seu território, com as pastagens plantadas representando 102 milhões de hectares, sendo que estas tiveram incremento de 2,7% entre os anos de 1996 a 2006, devido à substituição das pastagens naturais (IBGE, 2012). Grande parte das áreas de pastagens plantadas e da substituição das naturais foram formadas por capins dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum*. Para aumentar o entendimento sobre os sistemas de produção animal baseados em pastagens, as pesquisas tem se concentrado em características como aumento de produção, tolerância e persistência das espécies em situações de estresse e melhoria no valor nutritivo da forragem, situações essas que requerem o desenvolvimento e a seleção de cultivares mais adaptados para cada situação de ambiente (HUMPHREYS et al., 2006; YASEEN; MALHI, 2009; PARSONS et al., 2011; RASMUSSEN; PARSONS; JONES, 2012).

O nitrogênio é o nutriente mais limitante para produção de pastagens e o incremento resulta em aumento na produção de massa e na concentração e conteúdo de nitrogênio em plantas forrageiras (LAVRES JUNIOR; SANTOS JUNIOR; MONTEIRO, 2010; SILVEIRA; MONTEIRO, 2010; MUIR et al., 2013). O nitrato e o amônio são as principais formas inorgânicas de nitrogênio disponíveis para as plantas (MAHMOOD; KAISER, 2003). O nitrato quando absorvido, pode ser reduzido a amônio, sendo rapidamente assimilado em compostos orgânicos, ou acumulado nos vacúolos (CÁRDENAS-NAVARRO; ADAMOWICZ; ROBIN, 1999; CHEM et al., 2004). Por sua vez, o amônio é rapidamente convertido a aminoácidos, mas é altamente tóxico para as células vegetais quando em excesso (MARSCHNER, 1995; WANG; MACKO, 2011).

A concentração e o conteúdo de nitrogênio na parte aérea podem estar relacionados à proporção de órgãos estruturais e de armazenamento que contém nitrogênio, o que modifica a produção de massa seca das plantas (GREENWOOD et al., 1990; PRIMAVERSI et al., 2004; CORRÊA et al., 2007; YUAN et al., 2007). Santos, Thornton e Corsi (2002) e Santos, Thornton e Corsi (2012) observaram que a absorção radicular é a principal fonte de nitrogênio para produção de novos perfilhos laterais e folhas em *Panicum maximum* cv. Tanzânia e que o baixo suprimento de nitrogênio resulta na mobilização do nitrogênio acumulado da parte aérea para o sistema radicular.

Lemaire e Salette (1984) sugeriram que cultivares com elevada produção de massa seca e eficiência de uso de nitrogênio tiveram baixa concentração de nitrogênio no tecido vegetal, o que pode ser um problema para atender as necessidades nutricionais dos ruminantes

(BRÉGARDA; BÉLANGER; MICHAUDA, 2000), pois a baixa concentração de nitrogênio e, portanto, de proteína bruta, reduz o valor nutritivo da forragem (ANDRADE et al., 2000; VITOR et al., 2009; SANTOS et al., 2010). Segundo Brégarda, Bélanger e Michauda (2000), a partição da biomassa é a chave para incrementar a eficiência de uso do nitrogênio ou a concentração de nitrogênio no tecido.

A compreensão de como as gramíneas forrageiras utilizam o nitrogênio absorvido para melhorar a eficiência de uso e persistência desse nutriente no ambiente é necessária para melhor utilização dos capins no sistema produtivo. Com isso, objetivou-se analisar se as gramíneas forrageiras *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, *B. brizantha* cv. Xaraés, *B. brizantha* cv. Piatã, *B. decumbens* cv. Basilisk, *Panicum maximum* cv. Mombaça, *P. maximum* cv. Tanzânia, *P. maximum* cv. Aruana e *P. maximum* x *P. infestum* cv. Massai modificam sua forma de partição do nitrogênio absorvido para melhorar a eficiência de uso desse nutriente, quando cultivadas em ambientes com baixa e alta disponibilidade de nitrogênio.

## 4.2 Material e métodos

### 4.2.1 Material vegetal e condução em casa de vegetação

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada em Piracicaba, Estado de São Paulo, com as gramíneas *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, *B. brizantha* cv. Xaraés, *B. brizantha* cv. Piatã, *B. decumbens* cv. Basilisk, *Panicum maximum* cv. Mombaça, *P. maximum* cv. Tanzânia, *P. maximum* cv. Aruana e *P. maximum* x *P. infestum* cv. Massai, no período do verão. As sementes dos capins foram colocadas para germinar em bandejas plásticas contendo areia lavada e com umidade adequada para proporcionar ambiente favorável à germinação. O transplante das plântulas ocorreu 12 dias após a semeadura, quando apresentavam duas a três folhas. Foram transplantadas 15 mudas por vaso, realizando-se desbastes sucessivos até permanecerem cinco plantas por vaso.

As gramíneas forrageiras foram cultivadas em vasos plásticos com capacidade para 4,2 dm<sup>3</sup> ou 6 kg de terra, durante três períodos de crescimento, com o corte das plantas sendo efetuado à altura de 5 cm do nível do solo. O primeiro, segundo e terceiro cortes ocorreram com 26, 24, 22 dias de crescimento, respectivamente, quando as folhas mais maduras iniciaram a senescência. A temperatura e a umidade média do ar no interior da casa de vegetação, durante o período experimental, foram de 29,6 °C (T<sub>máx</sub> = 44,1°C / T<sub>min</sub> = 19,5°C) e 63,4%, respectivamente.

Os quatro cultivares de *Brachiaria ssp.* e os quatro cultivares de *Panicum ssp.* foram submetidos à alta ( $300 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e baixa ( $30 \text{ mg dm}^{-3}$ ) doses de nitrogênio, conforme experimentos anteriores realizados por Batista e Monteiro (2008) e De Bona e Monteiro (2010), constituindo um fatorial  $8 \times 2$ . O delineamento experimental foi o de blocos completos ao acaso, com quatro repetições e a fonte de nitrogênio foi o nitrato de amônio. Os nutrientes P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Zn e Mo foram aplicados no solo nas quantidades de 150; 150; 60; 50; 30; 1,5; 2,5; 2,0 e  $0,25 \text{ mg dm}^{-3}$ , de forma a não limitarem o crescimento dos capins. As doses de nitrogênio e de potássio foram parceladas em três vezes, com aplicação a cada três dias, para evitar variação brusca da salinidade do solo. Para o segundo e terceiro crescimentos a dose de P foi reduzida para  $75 \text{ mg dm}^{-3}$ .

#### 4.2.2 Caracterização do solo

A terra utilizada no experimento foi coletada em solo classificado como Neossolo Quartzarênico, segundo Embrapa (1999). Essa terra foi secada ao ar, passada em peneira com 4 mm de malha para o descarte de cascalhos e frações orgânicas grosseiras (como raízes e folhas) e homogeneizada para constituir as unidades experimentais. As características químicas do solo antes das adubações foram: pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) = 5,1; pH ( $\text{CaCl}_2$ ) = 4,2; M.O.(dicromato/titulométrico) =  $13 \text{ g kg}^{-1}$ ; P (resina) =  $6 \text{ mg kg}^{-1}$ ; K (resina), Ca (resina), Mg (resina), Al (KCl), H+Al (tampão SMP), SB e CTC = 0,8; 2,0; 1,0; 4; 18; 3,8 e  $21,8 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , respectivamente,  $\text{N}_{\text{total}} = 170 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $\text{N-NO}_3^- = 2,1 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $\text{N-NH}_4^+ = 2,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $V = 17\%$  e  $m = 51\%$  (RAIJ et al., 2001). Realizou-se correção da acidez do solo, utilizando  $V_2$  igual a 50% na fórmula para cálculo da dose de corretivo, com a utilização de CaO e MgO (reagentes analíticos) para atender as exigências nutricionais médias das gramíneas forrageiras estudadas. Após a aplicação do corretivo de acidez, o solo foi umedecido com água desionizada para atingir 70% da capacidade de retenção de água e incubado pelo período de 25 dias para reação dos corretivos aplicados.

#### 4.2.3 Sistema de irrigação

A água para o sistema solo-planta foi fornecida por meio do sistema auto-irrigante subsuperficial (BONFIM-SILVA; MONTEIRO; SILVA, 2007). A reposição de água para as plantas foi realizada de forma contínua, mantendo-se o solo em 70% da capacidade de retenção de água. O sistema de reposição de água foi composto de cápsula de cerâmica porosa (vela de filtro: diâmetro de 5 cm e altura de 7 cm), inserida no solo, na porção superior do vaso, conectada a tubo flexível de 1,5 cm de diâmetro e a reservatório com capacidade para

1,8 L, situado abaixo do vaso. O potencial de água no solo foi estabelecido pela altura da coluna de água (30 cm) entre o vaso e o reservatório. Dessa forma, a evapotranspiração do sistema solo-planta garantiu a reposição automática de água.

#### **4.2.4 Avaliações realizadas**

Ao final de cada período de crescimento a parte aérea foi cortada e separada em folhas e colmos+bainhas, sendo as raízes separadas após o terceiro corte da parte aérea. A parte aérea e as raízes foram moídas em moinho tipo Wiley e acondicionadas em sacos plásticos, mantendo-se a separação das partes colhidas. A determinação da concentração de nitrogênio foi realizada conforme proposto por Sarruge e Haag (1974). As concentrações de amônio e nitrato foram determinadas de acordo com a metodologia descrita por Tedesco et al. (1985).

Foram calculadas a eficiência de uso do nitrogênio (NUE), a eficiência de absorção de nitrogênio (NupE) e a eficiência de utilização de nitrogênio (NutE). A NUE foi obtida pelo emprego da produção total de folhas dos capins (soma dos valores dos três cortes) por unidade de nitrogênio aplicado ao solo ( $g\ g^{-1}$ ). Segundo Moll et al. (1982) existem dois componentes da NUE: a NupE e a NutE. A NupE é composta pelo total de nitrogênio na parte aérea da planta colhida dividido pelo total de nitrogênio aplicado ( $g\ g^{-1}$ ) e a NutE é caracterizada pela massa seca de folhas dividida pelo total de nitrogênio na parte aérea após o corte ( $g\ g^{-1}$ ) (ORTIZ-MONASTERIO et al., 1997, HAWKESFORD; HOWARTH, 2011).

#### **4.2.5 Análise estatística**

A análise estatística dos resultados foi realizada empregando-se o aplicativo computacional “Statistical Analysis System” (SAS, 2004). As variáveis foram submetidas à análise de variância pelo procedimento ANOVA e, em função do nível de significância do teste F, foi aplicado o teste de Tukey para comparação de médias ao nível de significância de 5%.

### **4.3 Resultados**

#### **4.3.1 Nitrogênio total, nitrato e amônio na parte aérea**

A interação doses de nitrogênio x cultivares foi significativa para a concentração e o conteúdo de nitrogênio nas folhas e colmos+bainhas dos capins, coletados nos três cortes (Tabela 1). Os cultivares Marandu e Piatã sempre estiveram entre os capins com mais altas concentrações de nitrogênio nas folhas nos três cortes, tanto em alta quanto em baixa dose de

nitrogênio. Os cultivares Mombaça e Tanzânia apresentaram-se entre os capins com mais baixas concentrações de nitrogênio nas folhas em ambas as doses de nitrogênio, no material vegetal dos três cortes.

A concentração de nitrogênio nos colmos+bainhas dos cultivares, quando submetidos à baixa dose de nitrogênio, revelou: 1º Corte (1°C) – o cultivar Piatã teve a mais alta concentração de nitrogênio, enquanto o cultivar Mombaça teve o mais baixo valor de concentração de nitrogênio nessa parte, porém não se diferenciou do cultivar Tanzânia; 2º Corte (2°C) - o cultivar Piatã teve a mais alta concentração de nitrogênio enquanto o Mombaça mostrou o mais baixo valor de concentração de nitrogênio, mesmo não sendo diferente dos demais cultivares de *Panicum*; 3º Corte (3°C) - Piatã > demais cultivares, tendo os cultivares de *Panicum* as mais baixas concentrações de nitrogênio nos colmos+bainhas, as quais foram similares à do Xaraés. Na alta dose de nitrogênio, os cultivares Piatã e Marandu sempre apresentaram as mais altas concentrações de nitrogênio nesse tecido vegetal, enquanto os cultivares Mombaça e Tanzânia estiveram entre os que menos concentraram nitrogênio nessa parte da planta, nos três cortes dos capins (Tabela 1).

O conteúdo de nitrogênio nas folhas foi menor na dose baixa de nitrogênio do que na dose alta de nitrogênio (Tabela 1). Com o decorrer dos cortes, o conteúdo de nitrogênio nas folhas, quando em baixa disponibilidade de nitrogênio, no solo foi similar entre os cultivares, tendo o Aruana, no primeiro corte, o Mombaça e o Basilisk, no segundo corte, e o Piatã, no terceiro corte, apresentado os mais baixos valores absolutos para esse conteúdo, mesmo não sendo estatisticamente diferentes de alguns cultivares. Na alta dose de nitrogênio, o cultivar Piatã teve o mais baixo conteúdo de nitrogênio nas folhas coletadas, nos três cortes, enquanto que os capins Xaraés, Aruana, Massai e Mombaça estiveram sempre entre os que mais acumularam nitrogênio no tecido foliar, mesmo existindo outros cultivares com conteúdo estatisticamente similar. O cultivar Basilisk sempre esteve entre os que tiveram alto conteúdo de nitrogênio nos colmos+bainhas, enquanto o Massai mostrou mais baixo conteúdo de nitrogênio nessa parte da planta, quando em baixa dose de nitrogênio e nos três cortes. Na alta dose de nitrogênio, o cultivar Basilisk também revelou elevado conteúdo de nitrogênio nos colmos+bainhas, enquanto o Piatã teve baixo conteúdo de nitrogênio nessa parte, nos três cortes (Tabela 1).

A interação doses de nitrogênio x cultivares foi significativa para concentração e conteúdo de nitrato nas folhas e colmos+bainhas dos capins, nos três cortes (Tabela 2). A concentração de nitrato nas folhas, na baixa dose de nitrogênio, apresentou a ordem: 1°C) cultivar Piatã > demais capins; 2°C) Marandu = Piatã = Basilisk = Mombaça = Tanzânia =

Aruana, Marandu = Piatã = Basilisk > Xaraés = Tanzânia = Massai e Aruana = Mombaça = Xaraés; 3°C) Piatã > Marandu = Xaraés, Xaraés > Basilisk = Mombaça = Aruana = Massai, Xaraés = Tanzânia e Tanzânia = Basilisk = Mombaça = Aruana = Massai. Na dose alta de nitrogênio, o cultivar Piatã teve maior concentração de nitrato nas folhas do que os demais cultivares, nos três corte. No segundo corte, os cultivares de *Panicum* e o Xaraés tiveram as mais baixas concentrações de nitrato nas folhas. No terceiro corte, a concentração de nitrato nas folhas obedeceu a seguinte ordem: Piatã > Marandu > Xaraés = Basilisk > *Panicum*.

A concentração de nitrato nos colmos+bainhas foi maior no cultivar Marandu do que nos demais, no primeiro corte, na baixa dose de nitrogênio. O cultivar Mombaça teve a menor concentração de nitrato nos colmos+bainhas, porém estatisticamente igual ao Massai, neste corte e nessa dose de nitrogênio. No segundo corte, os cultivares Marandu, Xaraés e Piatã tiveram maiores concentrações de nitrato nos colmos+bainhas que Basilisk, Mombaça, Aruana e Massai, e o cultivar Tanzânia foi similar aos cultivares Xaraés e Piatã, na dose baixa de nitrogênio. No terceiro corte, na baixa dose de nitrogênio, os cultivares Piatã, Basilisk e Tanzânia revelaram altas concentrações de nitrato nos colmos+bainhas, mas somente o cultivar Piatã exibiu maior concentração de nitrato nesta parte do que os demais capins (Tabela 2). Na alta dose de nitrogênio, nos dois primeiros cortes, o cultivar Piatã teve a mais alta concentração de nitrato nos colmos+bainhas, enquanto Mombaça e Aruana tiveram as menores concentrações de nitrato nessa parte. No terceiro corte, os cultivares de *Brachiaria* tiveram maiores concentrações de nitrato nos colmos+bainhas do que os cultivares de *Panicum* (Tabela 2).

O conteúdo de nitrato nas folhas dos capins, quando supridos com baixa dose de nitrogênio, seguiu a ordem: 1°C) Mombaça = Marandu, Mombaça > demais cultivares, Aruana = Piatã = Basilisk, Aruana < demais cultivares; 2°C) Marandu = Mombaça > demais cultivares, o cultivar Tanzânia teve o mais baixo valor absoluto de conteúdo de nitrato nas folhas, sendo estatisticamente igual aos cultivares Piatã, Basilisk e Massai; 3°C) Marandu > Xaraés = Piatã = Mombaça = Tanzânia = Massai > Basilisk = Aruana. Na alta dose de nitrogênio, os cultivares Marandu, Xaraés e Mombaça estiveram entre os que exibiram mais alto conteúdo de nitrato nas folhas nos três cortes, no primeiro e terceiro cortes e nos dois primeiros cortes, respectivamente. O cultivar Aruana, nessa mesma dose de nitrogênio, esteve entre os de mais baixo conteúdo de nitrato nas folhas, nos três cortes dos capins (Tabela 2). O conteúdo de nitrato nos colmos+bainhas mostrou a seguinte ordem, na baixa dose de nitrogênio: 1°C) os cultivares Marandu e Tanzânia tiveram elevados conteúdos de nitrato nessa parte da planta, enquanto Mombaça e Massai tiveram os menores conteúdos de nitrato



Tabela 1 – Concentração e conteúdo de nitrogênio nas folhas e colmos+bainhas no primeiro, segundo e terceiro cortes dos cultivares de *Brachiaria* e *Panicum* em alta e baixa doses de nitrogênio

Cultivares/Dose N	Concentração de nitrogênio				Conteúdo de nitrogênio			
	Folhas		Colmos + bainhas		Folhas		Colmos + bainhas	
	Baixo N	Alto N	Baixo N	Alto N	Baixo N	Alto N	Baixo N	Alto N
<i>1° Corte</i>	g/kg				mg/vaso			
Marandu	17,5 ab	43,7 a	8,1 b	23,9 ab	190,5 a	603,8 a	35,0 bc	120,4 cd
Xaraés	12,8 de	34,3 b	7,0 bc	20,8 bc	179,0 ab	650,3 a	42,4 bc	142,6 bc
Piatã	20,1 a	43,7 a	10,8 a	26,2 a	197,8 a	332,8 b	48,2 bc	70,8 d
Basilisk	16,7 bc	33,3 b	7,5 b	16,2 de	157,5 bc	592,5 a	72,9 a	281,9 a
Mombaça	9,7 f	22,3 c	4,9 d	10,1 f	172,3 abc	715,3 a	37,9 bc	123,6 cd
Tanzânia	11,6 ef	24,4 c	5,9 cd	12,2 ef	167,8 abc	631,8 a	38,7 bc	130,4 bc
Aruana	16,2 bc	36,4 b	7,2 bc	18,1 cd	142,8 c	593,5 a	39,6 bc	185,9 b
Massai	14,5 cd	36,9 b	7,1 bc	20,9 bc	173,3 abc	608,0 a	26,6 c	116,6 cd
<i>Média</i>	<i>14,9</i>	<i>34,4</i>	<i>7,3</i>	<i>18,5</i>	<i>172,6</i>	<i>591,0</i>	<i>42,7</i>	<i>146,5</i>
<i>Teste F</i>								
N		**		**		**		**
Cultivar		**		**		**		**
N x Cultivar		**		**		**		**
CV (%)		8,9		10,1		11,1		14,0
<i>2° Corte</i>	g/kg				mg/vaso			
Marandu	15,1 abc	41,0 a	8,0 b	23,8 ab	130,5 a	729,5 bc	46,0 a	224,6 bc
Xaraés	12,1 cde	32,4 b	7,6 b	20,0 bc	116,0 ab	846,5 ab	40,0 ab	284,4 ab
Piatã	18,0 a	42,4 a	11,6 a	26,1 a	96,0 ab	274,0 d	48,8 a	117,7 c
Basilisk	16,0 ab	32,3 b	7,4 b	16,1 cd	88,8 b	575,2 c	38,9 ab	283,5 ab
Mombaça	8,7 e	20,1 c	4,9 c	10,3 e	92,7 b	719,3 bc	20,4 cd	149,6 bc
Tanzânia	10,2 de	22,0 c	5,8 bc	12,1 de	106,5 ab	686,0 bc	25,3 cd	163,7 bc
Aruana	13,5 bcd	32,2 b	7,1 bc	19,6 bc	109,5 ab	834,0 ab	32,2 bc	376,8 a
Massai	12,3 cd	31,1 b	7,1 bc	16,3 cd	116,0 ab	977,0 a	13,1 d	161,8 bc
<i>Média</i>	<i>13,2</i>	<i>31,7</i>	<i>7,4</i>	<i>18,0</i>	<i>107,0</i>	<i>705,2</i>	<i>33,1</i>	<i>220,3</i>
<i>Teste F</i>								
N		**		**		**		**
Cultivar		**		**		**		**
N x Cultivar		**		**		**		**
CV (%)		9,9		14,0		15,2		18,0
<i>3° Corte</i>	g/kg				mg/vaso			
Marandu	15,2 ab	34,1 ab	7,9 b	21,7 ab	74,5 ab	497,3 c	14,4 ab	135,3 d
Xaraés	17,7 a	29,6 b	7,1 bc	17,0 bcd	76,5 ab	661,3 a	13,9 ab	175,2 bcd
Piatã	21,8 a	34,4 a	11,8 a	24,8 a	44,0 b	96,2 d	13,1 ab	22,0 e
Basilisk	14,8 ab	31,3 ab	8,8 b	18,7 abc	51,0 ab	501,5 bc	19,6 a	248,1 a
Mombaça	8,3 b	20,7 c	4,6 d	11,0 de	81,5 a	673,5 a	16,1 ab	149,5 cd
Tanzânia	9,9 b	19,1 c	4,7 d	10,0 e	84,8 a	651,8 a	14,7 ab	163,5 bcd
Aruana	10,4 b	23,0 c	5,4 cd	13,3 cde	60,8 ab	637,2 ab	11,8 ab	202,4 abc
Massai	10,1 b	19,4 c	5,3 cd	12,8 cde	81,2 a	654,2 a	6,7 b	216,9 ab
<i>Média</i>	<i>13,5</i>	<i>26,4</i>	<i>6,9</i>	<i>16,1</i>	<i>69,3</i>	<i>546,6</i>	<i>13,8</i>	<i>164,1</i>
<i>Teste F</i>								
N		**		**		**		**
Cultivar		**		**		**		**
N x Cultivar		**		**		**		**
CV (%)		12,4		18,1		14,0		16,0

Médias seguidas da mesma letra em cada sub-coluna, em cada corte das plantas, não são significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. \*\*, significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 2 – Concentração e conteúdo de nitrato nas folhas e colmos+bainhas no primeiro, segundo e terceiro cortes dos cultivares de *Brachiaria* e *Panicum* em alta e baixa doses de nitrogênio

Cultivares/Dose N	Concentração de nitrato				Conteúdo de nitrato			
	Folhas		Colmos + bainhas		Folhas		Colmos + bainhas	
	Baixo N	Alto N	Baixo N	Alto N	Baixo N	Alto N	Baixo N	Alto N
<i>1° Corte</i>	g/kg				mg/vaso			
Marandu	0,29 a	0,68 b	0,31 a	2,88 c	3,19 ab	9,33 ab	1,63 a	15,73 c
Xaraés	0,19 b	0,58 bc	0,15 bcd	2,58 cd	2,63 bc	11,04 a	0,94 cd	17,68 c
Piatã	0,16 b	1,47 a	0,17 bc	4,92 a	1,61 de	9,54 ab	0,74 d	15,61 c
Basilisk	0,17 b	0,41 cde	0,14 cd	1,91 d	1,58 de	7,24 bc	1,17 bc	30,93 a
Mombaça	0,16 b	0,28 def	0,05 e	0,38 e	3,36 a	8,76 ab	0,37 e	4,84 d
Tanzânia	0,18 b	0,21 ef	0,22 b	2,25 cd	2,57 c	5,64 c	1,35 ab	24,04 b
Aruana	0,15 b	0,19 f	0,13 cd	0,89 e	1,35 e	3,08 d	0,97 cd	8,04 d
Massai	0,16 b	0,47 bcd	0,10 de	3,85 b	1,96 d	8,52 ab	0,29 e	21,47 bc
<i>Média</i>	<i>0,18</i>	<i>0,54</i>	<i>0,16</i>	<i>2,46</i>	<i>2,28</i>	<i>7,90</i>	<i>0,93</i>	<i>17,29</i>
<i>Teste F</i>								
N		**		**		**		**
Cultivar		**		**		**		**
N x Cultivar		**		**		**		**
CV (%)		18,5		18,9		15,2		19,9
<i>2° Corte</i>	g/kg				mg/vaso			
Marandu	0,10 a	0,35 b	0,13 a	2,37 b	0,85 a	6,29 a	0,75 a	20,36 b
Xaraés	0,06 bcd	0,18 dc	0,10 ab	1,72 c	0,58 bc	4,88 b	0,47 b	30,93 a
Piatã	0,10 a	0,69 a	0,11 ab	4,05 a	0,46 cd	4,45 bc	0,46 b	19,86 bc
Basilisk	0,11 a	0,23 c	0,04 c	1,81 bc	0,55 bcd	3,92 bcd	0,23 c	31,13 a
Mombaça	0,08 abc	0,14 d	0,05 c	0,24 e	0,85 a	5,00 ab	0,22 c	3,40 e
Tanzânia	0,04 d	0,09 d	0,07 bc	0,91 d	0,40 d	3,07 d	0,21 c	12,45 cd
Aruana	0,09 ab	0,11 d	0,05 c	0,26 e	0,68 b	2,82 d	0,23 c	5,22 de
Massai	0,05 cd	0,11 d	0,05 c	0,39 de	0,51 cd	3,16 cd	0,08 d	3,86 e
<i>Média</i>	<i>0,08</i>	<i>0,24</i>	<i>0,08</i>	<i>1,47</i>	<i>0,61</i>	<i>4,20</i>	<i>0,33</i>	<i>15,90</i>
<i>Teste F</i>								
N		**		**		**		**
Cultivar		**		**		**		**
N x Cultivar		**		**		**		**
CV (%)		17,4		22,1		17,1		27,4
<i>3° Corte</i>	g/kg				mg/vaso			
Marandu	0,12 b	0,48 b	0,05 b	1,67 ab	0,65 a	6,53 a	0,10 bc	10,49 b
Xaraés	0,11 bc	0,34 c	0,04 b	1,11 b	0,50 b	6,94 a	0,10 bc	10,55 b
Piatã	0,20 a	1,04 a	0,11 a	2,04 a	0,50 b	2,85 cd	0,17 ab	1,99 c
Basilisk	0,06 d	0,28 c	0,07 ab	1,74 ab	0,23 c	4,54 b	0,17 ab	23,03 a
Mombaça	0,04 d	0,12 d	0,03 b	0,30 c	0,44 b	3,95 bc	0,11 abc	3,58 c
Tanzânia	0,06 cd	0,08 d	0,07 ab	0,15 c	0,49 b	2,69 cd	0,21 a	2,06 c
Aruana	0,04 d	0,08 d	0,06 b	0,07 c	0,26 c	1,84 d	0,12 abc	0,99 c
Massai	0,06 d	0,10 d	0,03 b	0,12 c	0,45 b	2,73 cd	0,03 c	1,75 c
<i>Média</i>	<i>0,09</i>	<i>0,31</i>	<i>0,06</i>	<i>0,90</i>	<i>0,44</i>	<i>4,01</i>	<i>0,13</i>	<i>6,80</i>
<i>Teste F</i>								
N		**		**		**		**
Cultivar		**		**		**		**
N x Cultivar		**		**		**		**
CV (%)		18,5		26,0		20,2		27,0

Médias seguidas da mesma letra em cada sub-coluna, em cada corte das plantas, não são significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. \*\*, significativo a 1% de probabilidade.

do que os demais cultivares; 2°C) Marandu e Massai tiveram maior e menor, respectivamente, conteúdo de nitrato nos colmos+bainhas do que os demais cultivares; 3°C) Tanzânia e Massai estiveram entre os de mais alto e mais baixo conteúdo de nitrato nos colmos+bainhas, respectivamente. Na alta dose de nitrogênio, o cultivar Basilisk revelou o maior conteúdo de nitrato nos colmos+bainhas, nos três cortes dos capins (no segundo corte somente o Xaraés igualou-se ao Basilisk). Os cultivares de *Panicum*, principalmente Mombaça e Aruana, estiveram entre os de mais baixo conteúdo de nitrato nessa parte dos capins (Tabela 2).

A interação doses de nitrogênio x cultivares foi significativa para concentração e conteúdo de amônio nas folhas e colmos+bainhas dos capins, nos três cortes, com exceção da concentração de amônio nos colmos+bainhas no primeiro corte (Tabela 3). A concentração de amônio nas folhas foi semelhante entre os capins, principalmente na dose alta de nitrogênio. O cultivar Piatã sempre esteve entre os capins com mais elevada concentração de amônio nas folhas, enquanto os cultivares de *Panicum*, Tanzânia (primeiro corte), Mombaça, Tanzânia, Aruana e Massai (segundo corte) e Mombaça e Aruana (terceiro corte) estiveram entre os cultivares de mais baixa concentração de amônio nas folhas, na baixa dose de nitrogênio. Na alta dose de nitrogênio, diferenças nessa concentração ocorreram somente nas folhas coletadas nos segundo e terceiro cortes dos capins. No segundo corte, somente a concentração de amônio nas folhas do cultivar Mombaça foi maior que nos demais cultivares, enquanto no terceiro corte, Piatã > Xaraés > demais cultivares. Não existiu padrão claro de resposta para a concentração de amônio nos colmos+bainhas dos capins. A baixa dose de nitrogênio, no segundo corte, proporcionou maior concentração de amônio nos colmos+bainhas dos cultivares Marandu, Xaraés, Mombaça e Massai. No entanto, no terceiro corte apenas o Piatã teve maior concentração de amônio que os demais cultivares. Na alta dose de nitrogênio, o cultivar Marandu esteve entre os de mais alta concentração de amônio nos colmos+bainhas. Por sua vez, Mombaça e Aruana sempre apresentaram baixos valores de concentração de amônio nessa parte dos capins (Tabela 3).

O conteúdo de amônio na parte aérea dos capins foi maior na alta dose de nitrogênio do que na baixa dose de nitrogênio (Tabela 3). Na baixa dose de nitrogênio, os cultivares que tiveram mais alto conteúdo de amônio nas folhas foram: Xaraés e Mombaça (primeiro corte); Xaraés, Piatã, Basilisk, Mombaça, Tanzânia e Massai (segundo corte) e Xaraés, Tanzânia e Massai (terceiro corte). O cultivar Piatã, no primeiro e terceiro cortes, esteve entre os capins com mais baixo conteúdo de amônio nas folhas. A alta dose de nitrogênio resultou em alto conteúdo de amônio nas folhas dos cultivares Mombaça, Tanzânia e Massai (primeiro corte), Mombaça (segundo corte) e Xaraés e Tanzânia (terceiro corte), sendo que os valores mais

Tabela 3 – Concentração e conteúdo de amônio nas folhas e colmos+bainhas no primeiro, segundo e terceiro cortes dos cultivares de *Brachiaria* e *Panicum* em alta e baixa doses de nitrogênio

Cultivares/Dose N	Concentração de amônio				Conteúdo de amônio			
	Folhas		Colmos + bainhas		Folhas		Colmos + bainhas	
	Baixo N	Alto N	Baixo N	Alto N	Baixo N	Alto N	Baixo N	Alto N
<i>1º Corte</i>	g/kg				mg/vaso			
Marandu	0,18 abc	0,23 a	0,15	0,40	2,00 b	3,18 cd	0,64 b	2,00 cd
Xaraés	0,23 a	0,24 a	0,17	0,35	3,23 a	4,66 bc	1,02 ab	2,37 bcd
Piatã	0,20 ab	0,27 a	0,12	0,32	2,01 b	2,03 d	0,53 b	0,94 d
Basilisk	0,16 bc	0,26 a	0,13	0,35	1,50 b	4,68 bc	1,28 a	6,00 a
Mombaça	0,18 abc	0,23 a	0,09	0,26	3,22 a	7,25 a	0,65 b	3,23 bc
Tanzânia	0,12 c	0,24 a	0,10	0,36	1,79 b	6,41 ab	0,69 b	3,82 b
Aruana	0,19 ab	0,28 a	0,15	0,37	1,67 b	4,60 bc	0,82 ab	3,77 b
Massai	0,19 ab	0,32 a	0,14	0,47	2,28 b	5,27 abc	0,55 b	2,63 bc
<i>Média</i>	<i>0,18</i>	<i>0,26</i>	<i>0,13</i>	<i>0,36</i>	<i>2,21</i>	<i>4,76</i>	<i>0,77</i>	<i>3,10</i>
<i>Teste F</i>								
N		**		**		**		**
Cultivar		**		ns		**		**
N x Cultivar		*		ns		**		**
CV (%)		17,0		32,1		23,8		27,1
<i>2º Corte</i>	g/kg				mg/vaso			
Marandu	0,16 b	0,27 b	0,44 a	1,32 a	1,36 bc	4,93 cd	2,56 ab	12,18 a
Xaraés	0,21 b	0,32 b	0,50 a	0,36 c	2,00 ab	8,28 bc	2,65 a	5,17 bc
Piatã	0,36 a	0,23 b	0,23 b	0,83 b	1,91 ab	1,48 d	1,01 cd	3,78 c
Basilisk	0,39 a	0,21 b	0,14 b	0,37 c	2,16 a	3,84 d	0,72 d	6,35 b
Mombaça	0,18 b	0,50 a	0,41 a	0,27 c	1,92 ab	17,89 a	1,72 bc	3,93 bc
Tanzânia	0,14 b	0,30 b	0,25 b	0,89 b	1,41 abc	9,40 b	1,13 cd	12,21 a
Aruana	0,14 b	0,22 b	0,20 b	0,31 c	1,09 c	5,61 bcd	0,94 cd	5,80 bc
Massai	0,19 b	0,31 b	0,44 a	0,34 c	1,76 abc	9,72 b	0,83 d	3,35 c
<i>Média</i>	<i>0,22</i>	<i>0,30</i>	<i>0,33</i>	<i>0,59</i>	<i>1,70</i>	<i>7,64</i>	<i>1,44</i>	<i>6,60</i>
<i>Teste F</i>								
N		**		**		**		**
Cultivar		**		**		**		**
N x Cultivar		**		**		**		**
CV (%)		23,9		15,6		29,7		22,1
<i>3º Corte</i>	g/kg				mg/vaso			
Marandu	0,38 a	0,30 c	0,08 b	0,32 ab	1,72 bc	4,31 d	0,15 a	2,00 c
Xaraés	0,38 a	1,09 b	0,12 b	0,32 a	1,80 abc	23,95 a	0,22 a	3,22 abc
Piatã	0,27 ab	1,82 a	0,20 a	0,31 abc	0,60 d	5,06 d	0,24 a	0,34 d
Basilisk	0,23 ab	0,38 c	0,11 b	0,25 abc	0,80 cd	5,95 d	0,27 a	3,30 abc
Mombaça	0,15 b	0,51 c	0,09 b	0,21 bc	1,44 bcd	16,46 b	0,32 a	2,86 bc
Tanzânia	0,28 ab	0,59 c	0,08 b	0,26 abc	2,34 ab	20,28 ab	0,26 a	4,31 a
Aruana	0,14 b	0,29 c	0,10 b	0,21 c	0,84 cd	8,03 cd	0,23 a	3,13 abc
Massai	0,34 a	0,41 c	0,10 b	0,23 abc	2,78 a	13,65 bc	0,13 a	4,03 ab
<i>Média</i>	<i>0,27</i>	<i>0,67</i>	<i>0,11</i>	<i>0,26</i>	<i>1,54</i>	<i>12,21</i>	<i>0,23</i>	<i>2,90</i>
<i>Teste F</i>								
N		**		**		**		**
Cultivar		**		**		**		**
N x Cultivar		**		**		**		**
CV (%)		28,9		20,6		29,7		25,6

Médias seguidas da mesma letra em cada sub-coluna, em cada corte das plantas, não são significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. \*\*, significativo a 1% de probabilidade. \*, significativo a 5% de probabilidade; ns, não significativo.

baixos de conteúdo de amônio nas folhas foram observados no Piatã (nos três cortes) e no Basilisk (segundo e terceiro cortes). Os capins com mais alto conteúdo de amônio nos colmos+bainhas, na baixa dose de nitrogênio, foram Xaraés, Basilisk e Aruana (primeiro corte), Xaraés e Marandu (segundo corte) e no terceiro corte não ocorreu diferença entre os cultivares. Na alta dose de nitrogênio as diferenças entre os capins foram bem evidentes tendo o Piatã mostrado valores baixos de conteúdo de amônio nesse tecido coletado nos três cortes e o Basilisk com altos valores de conteúdo de amônio nos colmos+bainhas, no primeiro corte das plantas (Tabela 3).

#### 4.3.2 Nitrogênio total, nitrato e amônio nas raízes

A interação doses de nitrogênio x cultivares foi significativa para as concentrações e os conteúdos de nitrogênio total, nitrato e amônio nas raízes dos capins (Tabela 4). Os capins Xaraés e Piatã tiveram os mais altos valores absolutos de concentração de nitrogênio nas raízes, enquanto que os cultivares Tanzânia e Mombaça tiveram os mais baixos valores absolutos, na baixa dose de nitrogênio. Na alta dose de nitrogênio, os capins Aruana e Tanzânia tiveram os mais baixos valores de concentração de nitrogênio nas raízes, tendo o cultivar Basilisk uma das mais altas concentrações de nitrogênio no sistema radicular. O conteúdo de nitrogênio no sistema radicular das gramíneas estudadas teve a seguinte ordem, na dose baixa de nitrogênio: Mombaça = Aruana, Aruana > demais cultivares, Mombaça = Tanzânia = Massai, Mombaça > cultivares de *Brachiaria* e Tanzânia = Massai = *Brachiaria*. Na alta dose de nitrogênio, os capins Basilisk, Mombaça, Tanzânia e Massai tiveram elevados e iguais conteúdos de nitrogênio nas raízes, enquanto o cultivar Piatã o menor valor de conteúdo de nitrogênio no sistema radicular (este valor foi estatisticamente igual aos dos cultivares Marandu, Xaraés e Aruana).

A concentração de nitrato nas raízes foi menor no cultivar Piatã do que no Mombaça, quando submetidos à dose baixa de nitrogênio (Tabela 4). Na alta dose de nitrogênio, os cultivares de *Brachiaria* (Piatã > Xaraés = Marandu = Basilisk) tiveram maiores concentrações de nitrato nas raízes do que os cultivares de *Panicum*. Entretanto, quando submetidos à baixa dose de nitrogênio, o maior conteúdo de nitrato nas raízes foi constatado no cultivar Mombaça, enquanto o Piatã exibiu o mais baixo valor absoluto (este valor foi estatisticamente igual a outros cultivares de *Brachiaria* e do Massai). Os cultivares Marandu, Xaraés e Basilisk tiveram maior conteúdo de nitrato nas raízes que os demais cultivares, quando submetidos à alta dose de nitrogênio.

Tabela 4 – Concentração e conteúdo de nitrogênio total (N total), nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e amônio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) nas raízes dos cultivares de *Brachiaria* e *Panicum* em alta e baixa doses de nitrogênio

Sistema radicular									
Cultivares/Dose N	Concentração				Conteúdo				
	Baixo N		Alto N		Baixo N		Alto N		
<i>N total</i>	g/kg				mg/vaso				
Marandu	2,5	bcd	8,8	ab	25	c	93	bc	
Xaraés	3,9	a	6,8	abc	31	c	89	bc	
Piatã	4,5	a	8,8	ab	17	c	12	c	
Basilisk	3,4	abc	10,6	a	31	c	211	ab	
Mombaça	2,3	cd	4,9	bc	65	ab	375	a	
Tanzânia	1,9	d	4,6	c	47	bc	368	a	
Aruana	3,6	ab	3,1	c	84	a	165	bc	
Massai	2,5	bcd	6,3	bc	42	bc	260	ab	
<i>Média</i>	<i>3,1</i>		<i>6,7</i>		<i>43</i>		<i>196</i>		
<i>Teste F</i>									
N			**				**		
Cultivar			**				**		
N x Cultivar			**				**		
CV (%)			21,6				23,0		
<i>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	g/kg				mg/vaso				
Marandu	0,06	ab	1,08	b	0,54	cd	12,71	a	
Xaraés	0,06	ab	1,17	b	0,45	cd	15,11	a	
Piatã	0,05	b	2,48	a	0,17	d	3,58	b	
Basilisk	0,05	ab	0,65	b	0,46	cd	12,40	a	
Mombaça	0,09	a	0,03	c	2,72	a	2,03	b	
Tanzânia	0,06	ab	0,03	c	1,56	b	2,01	b	
Aruana	0,05	ab	0,07	c	1,13	bc	3,80	b	
Massai	0,05	ab	0,06	c	0,96	bcd	2,65	b	
<i>Média</i>	<i>0,06</i>		<i>0,70</i>		<i>1,00</i>		<i>6,79</i>		
<i>Teste F</i>									
N			**				**		
Cultivar			**				**		
N x Cultivar			**				**		
CV (%)			18,0				32,0		
<i>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></i>	g/kg				mg/vaso				
Marandu	0,10	b	0,40	a	1,02	cd	5,07	a	
Xaraés	0,16	b	0,41	a	1,28	cd	5,36	a	
Piatã	0,16	b	0,42	a	0,63	d	0,62	d	
Basilisk	0,12	b	0,23	b	1,07	cd	4,46	ab	
Mombaça	0,12	b	0,03	c	3,51	bc	2,16	bcd	
Tanzânia	0,30	a	0,07	c	7,75	a	5,55	a	
Aruana	0,17	b	0,07	c	3,92	b	3,62	abc	
Massai	0,18	b	0,02	c	3,16	bcd	1,00	cd	
<i>Média</i>	<i>0,16</i>		<i>0,21</i>		<i>2,79</i>		<i>3,48</i>		
<i>Teste F</i>									
N			**				*		
Cultivar			**				**		
N x Cultivar			**				**		
CV (%)			34,0				32,0		

Médias seguidas da mesma letra em cada sub-coluna, em cada corte das plantas, não são significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. \*\*, significativo a 1% de probabilidade. \*, significativo a 5% de probabilidade.

A concentração de amônio nas raízes foi maior no cultivar Tanzânia do que os demais capins estudados, quando estes foram submetidos à baixa dose de nitrogênio (Tabela 4). Na alta dose de nitrogênio, as concentrações de amônio nos cultivares de *Brachiaria* (Marandu = Xaraés = Piatã > Basilisk) foram maiores que as dos cultivares de *Panicum*. O conteúdo de amônio nas raízes foi mais elevado nos cultivares Tanzânia e Aruana (Tanzânia > Aruana) do que nos cultivares de *Brachiaria*, quando em baixa dose de nitrogênio. O conteúdo de amônio, na alta dose de nitrogênio, foi mais baixo no cultivar Piatã, mas Marandu, Xaraés, Basilisk, Tanzânia e Aruana apresentaram conteúdos de amônio elevados e estatisticamente similares.

#### 4.3.3 Proporções de nitrogênio total, nitrato e amônio nas plantas

Os conteúdos de nitrogênio total, nitrato e amônio nas partes das plantas ao terceiro corte foram usados para calcular as proporções dessas formas de nitrogênio nos capins, pois, somente na ocasião desse corte o sistema radicular foi separado da parte aérea. As diferenças mais marcantes nas proporções de nitrogênio ocorreram nos cultivares Xaraés, Piatã, Basilisk e Aruana que mostraram maior proporção de nitrogênio total para o sistema radicular quando se proporcionou mais baixa disponibilidade de nitrogênio no solo (Figuras 1A e B). A proporção de nitrato nos cultivares, quando se compara a dose alta com a baixa dose de nitrogênio revelou que: 1) os cultivares Xaraés, Marandu e Piatã mantiveram a proporção de nitrato no sistema radicular, reduziram proporção nos colmos+bainhas e aumentaram nas folhas; 2) o cultivar Basilisk aumentou muito a proporção de nitrato nas raízes, mas teve baixa proporção nos colmos+bainhas e alta nas folhas; 3) os cultivares de *Panicum* aumentaram muito a proporção no sistema radicular e diminuíram nas folhas e, principalmente, nos colmos+bainhas (Figuras 1C e D).

A maior proporção de amônio permaneceu no sistema radicular dos cultivares, tanto em alta quanto em baixa dose de nitrogênio. Para o cultivar Piatã, na alta dose de nitrogênio, não foi observada a mesma resposta de outros cultivares, em razão de grande parte do nitrogênio aplicado ao solo não ter sido absorvido por este cultivar (Figuras 1E e F). Na alta dose de nitrogênio, todos os cultivares mantiveram pequena proporção de amônio na parte aérea, principalmente nas folhas. Entretanto, ao comparar a dose alta com a baixa dose de nitrogênio os capins Marandu, Xaraés e Basilisk mantiveram a mesma proporção de amônio nas folhas, à medida que os cultivares de *Panicum* mostraram menor proporção de amônio nessa parte da planta.

#### 4.3.4 Eficiência de uso do nitrogênio

A interação doses de nitrogênio x cultivares foi significativa para eficiência de absorção de nitrogênio (NupE), eficiência de utilização do nitrogênio (NutE) e eficiência de uso do nitrogênio (NUE) nos capins (Figura 2). Os cultivares foram menos eficientes na absorção, na utilização e no uso do nitrogênio na dose alta de nitrogênio do que na dose baixa de nitrogênio. O cultivar Marandu teve maior NupE do que os cultivares Aruana e Massai, quando submetidos à baixa disponibilidade de nitrogênio no solo (Figura 2A). Quando a disponibilidade de nitrogênio no solo foi alta, o cultivar Aruana teve maior NupE do que Marandu e Piatã. Em termos de NutE, os cultivares Mombaça e Tanzânia apresentaram maiores valores do que os demais capins, tanto em baixa quanto em alta dose de nitrogênio (Figura 2B). O cultivar de mais baixa NutE, na dose baixa de nitrogênio, foi o Piatã, enquanto os cultivares Piatã e Marandu tiveram as mais baixas NutE, na dose alta de nitrogênio.

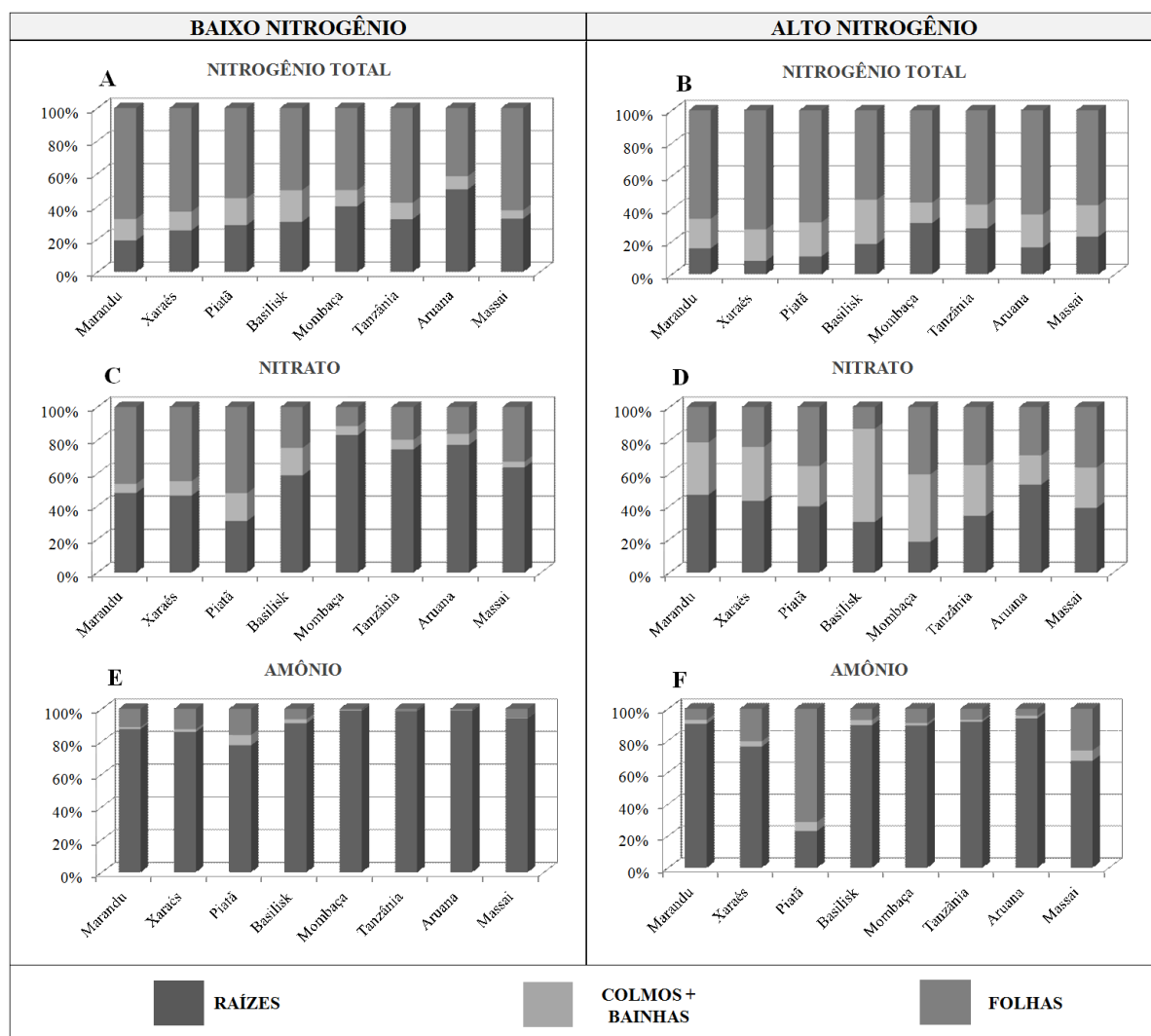


Figura 1 – Proporções de nitrogênio total (A e B), nitrato (C e D) e amônio (E e F) nas raízes, colmos+bainhas e folhas em relação ao total nas plantas de *Brachiaria* e *Panicum*, no terceiro corte



A eficiência de uso do nitrogênio (NUE) foi mais alta na dose baixa de nitrogênio (Figura 2c). O cultivar mais eficiente no uso do nitrogênio foi o Mombaça seguido pelo Tanzânia e Xaraés, quando no solo teve baixa disponibilidade de nitrogênio. Nessa mesma condição o cultivar Xaraés se mostrou o mais eficiente no uso do nitrogênio dentro das *Brachiaria* (estatisticamente não foi diferente do cultivar Marandu), inclusive tendo eficiência maior que o Aruana. Quando houve aplicação de alta dose de nitrogênio ao solo, os cultivares Mombaça e Tanzânia tiveram iguais eficiências de uso do nitrogênio e foram os mais eficientes no uso do nitrogênio aplicado. Na dose alta de nitrogênio, o cultivar Piatã foi o menos eficiente no uso do nitrogênio e foi seguido por Marandu, Basilisk e Xaraés.

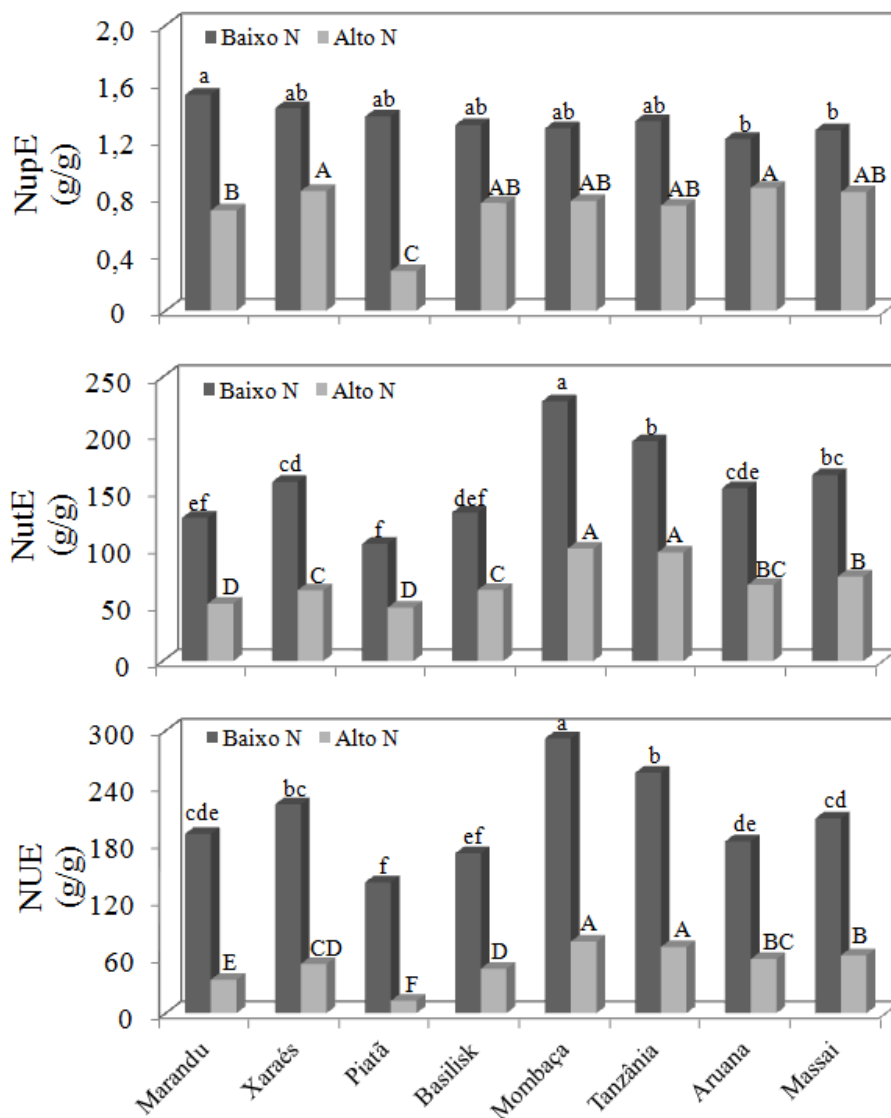


Figura 2 – Eficiência de absorção de nitrogênio - NupE (A), eficiência de utilização de nitrogênio - NutE (B), eficiência de uso do nitrogênio - NUE (C) dos cultivares de *Brachiaria* e *Panicum* em alta e baixa doses de nitrogênio (médias seguidas de mesma letra, minúscula em baixa dose de nitrogênio e maiúscula em alta dose de nitrogênio, não são significativas a 5% de probabilidade)

#### 4.4 Discussão

Estudos tem mostrado que o incremento na dose de nitrogênio resulta em aumento na concentração e conteúdo de nitrogênio em plantas forrageiras (BATISTA; MONTEIRO, 2007; LAVRES JUNIOR; SANTOS JUNIOR; MONTEIRO, 2010; SILVEIRA; MONTEIRO, 2010; MUIR et al., 2013). No presente experimento, a concentração e conteúdo de nitrogênio foram distintos entre cultivares de capins. Os cultivares Marandu e Piatã tiveram altas concentrações de nitrogênio nas folhas e colmos+bainhas, enquanto os cultivares Mombaça e Tanzânia tiveram baixas concentrações de nitrogênio nessas partes, nas duas doses de nitrogênio e nos três cortes efetuados. Para o conteúdo de nitrogênio, observou-se o inverso do verificado para a concentração de nitrogênio, pois os cultivares com baixa concentração tiveram altos conteúdos de nitrogênio (Tabela 1).

Os capins que exibiram mais altas concentrações de nitrogênio foram os que tiveram mais elevada concentração nitrato na parte aérea (Tabela 2). O cultivar Mombaça sempre esteve entre aqueles com mais baixa concentração de nitrato nas folhas e colmos+bainhas, enquanto os capins Piatã e Marandu sempre se mostraram entre os com mais altos valores. O conteúdo de nitrato na parte aérea também seguiu o mesmo padrão de resposta do conteúdo de nitrogênio, tendo os cultivares de mais baixa concentração de nitrato mais alto conteúdo de nitrato na parte aérea. Sabe-se que as gramíneas com mais altas concentrações de nitrato na parte aérea podem ter alta capacidade de armazenamento de nitrato no vacúolo. O nitrato absorvido pode ser reduzido a amônio, sendo rapidamente assimilado em compostos orgânicos ou acumulado nos vacúolos (CÁRDENAS-NAVARRO; ADAMOWICZ; ROBIN, 1999; CHEM et al., 2004).

A concentração de amônio nas folhas foi bem semelhante entre os capins, principalmente na dose alta de nitrogênio e não existiu padrão claro de resposta para concentração de amônio nos colmos+bainhas dos capins (Tabela 3). Os cultivares Marandu e Piatã sempre estiveram entre os capins com mais elevada concentração de amônio nas folhas e colmos+bainhas, enquanto Mombaça e Aruana mostraram-se entre aqueles de baixa concentração de amônio nas folhas e colmos+bainhas, em dose baixa de nitrogênio. Os cultivares que tiveram mais baixa concentração de amônio na parte aérea tiveram alto conteúdo de amônio nessa parte. As pequenas variações na concentração e no acúmulo de amônio na parte aérea das plantas ocorre em razão dessa forma ser altamente tóxica para as células nos tecidos vegetais, sendo rapidamente convertida a aminoácidos (MARSCHNER, 1995; WANG; MACKO, 2011).

A diminuição na concentração e o incremento no conteúdo de nitrogênio na parte aérea, como no caso do cultivar Mombaça, podem ser atribuídos ao efeito de diluição e contínuo aumento na quantidade de nitrogênio absorvida por esse capim (YUAN et al., 2007), o que reflete o aumento na proporção de órgãos estruturais e de armazenamento com baixo conteúdo de nitrogênio, resultando em aumento da produção de massa seca da planta (GREENWOOD et al., 1990; PRIMAVERSI et al., 2004; CORRÊA et al., 2007). Os cultivares que concentram mais nitrogênio (como Marandu e Piatã) devem possuir a capacidade de formar compostos mais ricos em nitrogênio e, também, apresentarem alta capacidade de armazenamento desse nutriente em suas formas inorgânicas (Tabela 3), pois possuem altos conteúdos de nitrogênio na parte aérea e não estão utilizando para rápida conversão em massa seca.

No sistema radicular, a alta dose de nitrogênio resultou em aumento nas concentrações e conteúdos de nitrogênio total, nitrato e amônio dos capins (Tabela 4). Os cultivares de *Brachiaria*, principalmente Piatã, Marandu e Xaraés, foram os que mais concentraram nitrogênio total, nitrato e amônio nas raízes, quando submetidos à alta dose de nitrogênio. Na mesma dose de nitrogênio, os cultivares de *Panicum*, Mombaça, Tanzânia e Massai, tiveram elevado conteúdo de nitrogênio total, mas baixo conteúdo de nitrato no sistema radicular. Isso pode estar relacionado ao rápido transporte para a parte aérea desses cultivares, via xilema, do nitrato absorvido (MARSCHNER, 1995; SANTOS; THORNTON; CORSI, 2002; SANTOS; THORNTON; CORSI, 2012). Os capins Marandu, Xaraés e Piatã parecem ter capacidade de concentrar maior quantidade de nitrogênio na forma de amônio nas raízes do que os demais capins e isto pode estar relacionado à facilidade de assimilação do amônio (Tabela 4). Os cultivares de *Panicum* tem maior crescimento inicial do sistema radicular, favorecendo a captura do nutriente presente no solo nos primeiros estágios de vida, rápida assimilação do nitrato na parte aérea e raízes, grande número de transportadores de nitrato e redução nas atividades do canal de efluxo de nitrato (BURTON, 1947; MACKOWN et al., 2009; ACUÑA et al., 2010).

Todos os cultivares estudados aumentaram o conteúdo de nitrogênio nas raízes quando submetidos à baixa disponibilidade de nitrogênio. Esses aumentos foram mais marcantes para os cultivares Xaraés, Piatã, Basilisk e Aruana (Figuras 1A e B). Santos, Thornton e Corsi (2002) e Santos, Thornton e Corsi (2012) observaram que a absorção radicular foi a principal fonte de nitrogênio para produção de novas folhas e perfilhos laterais em *Panicum maximum* cv. Tanzânia e que o baixo suprimento de nitrogênio resulta na mobilização do conteúdo de nitrogênio para o sistema radicular.

A alteração da dose alta para a baixa de nitrogênio modificou a proporção do conteúdo de nitrato de três formas distintas, nos cultivares: 1) Xaraés, Marandu e Piatã mantiveram a proporção de nitrato no sistema radicular, diminuíram o conteúdo de nitrato nos colmos+bainhas e aumentaram o conteúdo nas folhas; 2) Basilisk priorizou o aumento da proporção de nitrato nas raízes, aumentou nas folhas e teve menor proporção nos colmos+bainhas; 3) os cultivares de *Panicum* aumentaram muito a proporção de nitrato no sistema radicular, mas exibiram menor proporção nas folhas e, principalmente, nos colmos+bainhas (Figuras 1C e D). Isto pode indicar que: 1) os capins Xaraés, Marandu e Piatã priorizam o acúmulo de nitrato no sistema radicular e quando existe excesso de nitrato o acumulam nos colmos+bainhas e folhas, priorizando as folhas quando em baixo suprimento de nitrogênio; 2) o cultivar Basilisk prioriza, principalmente, o sistema radicular e as folhas quando está em baixa disponibilidade de nitrogênio, enquanto que em presença de alto nitrogênio acumula muito nitrato nos colmos+bainhas; 3) os cultivares Mombaça, Tanzânia, Aruana e Massai priorizaram o acúmulo de nitrato no sistema radicular quando em baixa dose de nitrogênio, enquanto na alta dose o cultivar Mombaça foi o que teve mais baixa proporção de nitrato no sistema radicular, priorizando folhas e colmos+bainhas e tendo o cultivar Aruana a mais alta proporção de nitrato no sistema radicular, como demonstrado por Santos, Thornton e Corsi (2002) e Santos, Thornton e Corsi (2012).

Segundo Scheurwater et al. (2002), a redução de nitrato a amônio nas raízes pode ter impacto substancial nas exigências de carbono para assimilação de nitrato por determinada planta quando comparada à assimilação na parte aérea. As espécies que, preferencialmente, reduzem nitrato na parte aérea podem ter a vantagem de utilizar o excesso de poder redutor (NADH ou NADPH e ferredoxina reduzida) produzido na fotossíntese (RAVEN; WOLLENWEBER; HANDLEY, 1992; KRONZUCKER; SIDDIQI; GLASS, 1997; SCHEURWATER et al., 2002), como parece acontecer com os cultivares Mombaça, Tanzânia, Aruana e Massai. De outra forma, espécies que reduzem alta quantidade de nitrato nas raízes, como parecem realizar os cultivares Xaraés, Marandu e Piatã, perdem a vantagem competitiva, pois obtém o poder redutor pela via das pentoses fosfatos e glicólise, o que libera gás carbônico e aumenta o coeficiente respiratório. Portanto, onde é realizada a redução do nitrato há impacto no balanço de carbono da planta (OAKS; HIREL, 1986; BOWSHER; HUCKLESBY; EMES, 1989; MARSCHNER, 1995) e conseqüentemente na produção de massa seca dos capins.

A maior parte do amônio permaneceu no sistema radicular dos cultivares, tanto em alta quanto em baixa dose de nitrogênio, evidenciando que a quase a totalidade da assimilação

do amônio acontece no sistema radicular ao invés da parte aérea (MARSCHNER, 1995; WANG; MACKO, 2011). Entretanto, comparando a alta com a baixa dose de nitrogênio, os capins Marandu, Xaraés e Basilisk mantiveram a mesma proporção de amônio nas folhas, enquanto os cultivares de *Panicum* reduziram muito essa proporção (Figuras 1E e F). Esses cultivares podem ter a elevada capacidade de assimilação de amônio na parte aérea e possuir transportadores de membrana com mais afinidade pelo amônio e/ou devido ao mais alto armazenamento do nitrogênio na forma de amônio na parte aérea desses capins. Alguns estudos tem demonstrado que existe preferência de algumas espécies por uma das formas inorgânicas de nitrogênio (VON WIRÉN; GAZZARRINI; FROMMER, 1997; WALLANDER *et al.*, 1997; GARNETT; SMETHURST, 1999), e ainda, ao longo do dia e se o ambiente está úmido ou seco as espécies possuem assimilações distintas de nitrato e amônio (WANG; MACKO, 2011). Os cultivares Marandu, Xaraés e Basilisk podem ter essa diferenciação em relação aos demais cultivares avaliados neste estudo, tendo mais alta assimilação de amônio que os outros capins. Isto pode estar ligado ao ambiente de onde foram retirados, no solo poderia existir mais alto teor de amônio e, para garantir a sobrevivência estes cultivares precisaram desenvolver alta capacidade de absorção do nitrogênio nessa forma.

As diferenças de acúmulo e concentração de nitrogênio podem refletir em mudanças na eficiência de uso do nitrogênio pelos cultivares. Lemaire e Salette (1984) sugeriram que os cultivares com elevadas produção de massa seca e eficiência de uso de nitrogênio teriam baixa concentração de nitrogênio no tecido vegetal, o que pode ser um problema quanto ao atendimento da necessidade nutricional dos ruminantes (BRÉGARDA; BÉLANGER; MICHAUDA, 2000), pois a baixa concentração de nitrogênio contribui para o baixo valor nutritivo da forragem (ANDRADE *et al.*, 2000; VITOR *et al.*, 2009; SANTOS *et al.*, 2010). Os cultivares que menos concentraram nitrogênio no tecido (como Mombaça e Tanzânia) tiveram alta eficiência de uso do nitrogênio, nas duas doses de nitrogênio (Figura 2C). Na eficiência de absorção de nitrogênio os cultivares tiveram resposta muito semelhantes e as diferenças somente ocorreram na baixa dose de nitrogênio entre o cultivar Marandu, que teve maior eficiência de absorção de nitrogênio do que os cultivares Aruana e Massai e na alta dose de nitrogênio, o Aruana com maior eficiência de absorção de nitrogênio que o Marandu e o Piatã (Figura 2A). Isso pode ser um indício de que, em baixa disponibilidade de nitrogênio no solo, o cultivar Marandu possa ser mais eficiente em absorver esse nutriente. Esta maior eficiência de absorção do nitrogênio pode estar relacionada ao melhor aproveitamento do amônio, o que pode corresponder a uma vantagem competitiva ao longo do tempo quando

cultivado em ambiente restritivo. De outra forma, quando em ambiente com alta disponibilidade de nitrogênio, o cultivar Aruana parece aproveitar melhor o nitrato presente na solução do solo. O componente que mais explicou a diferença de eficiência de uso de nitrogênio pelos capins foi o da eficiência de utilização de nitrogênio (Figura 2B). Isso demonstra que os cultivares possuem prioridades para o uso do nitrogênio absorvido, pois os cultivares Mombaça e Tanzânia priorizam o nitrogênio para as folhas, nas duas doses de nitrogênio, enquanto que os demais não o fazem (Figura 1).

#### 4.5 Conclusões

As gramíneas forrageiras estudadas modificaram a partição de nitrogênio total, nitrato e amônio na parte aérea e raízes, quando em alto e baixo suprimento de nitrogênio. Os cultivares Marandu e Piatã concentraram mais nitrogênio, nitrato e amônio nos tecidos, enquanto os cultivares Mombaça e Tanzânia possuíram baixa concentração e alto conteúdo de nitrogênio, nitrato e amônio na parte aérea e raízes. Todos os cultivares tiveram mais alta proporção de nitrogênio nas raízes quando colocados condição de baixa disponibilidade de nitrogênio. A proporção de nitrato nas partes das plantas foi diferenciada entre os cultivares. Xaraés, Marandu e Piatã priorizaram o nitrato no sistema radicular, nas duas doses de nitrogênio, enquanto os cultivares de *Panicum* aumentaram muito a proporção de nitrato no sistema radicular, somente em condição de restrição do nutriente. A maior proporção de amônio permaneceu no sistema radicular dos cultivares, tanto em alta dose quanto em baixa dose de nitrogênio, porém os cultivares Marandu, Xaraés e Basilisk sempre mantiveram maior proporção de amônio na parte aérea do que os demais capins. Essas diferenças refletiram na mais alta eficiência de uso do nitrogênio pelos cultivares Mombaça e Tanzânia.

#### Referências

- ACUÑA, C.A.; SINCLAIR, T.R.; MACKOWIAK, C.L.; BLOUNT, A.R.; QUESENBERRY, K.H.; HANNA, W.W. Potential root depth development and nitrogen uptake by tetraploid bahiagrass hybrids. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.334, p.491-499, 2010.
- ANDRADE, A.C.; FONSECA, D.M.; GOMIDE, J.A.; ALVAREZ, V.H.; MARTINS, C.E.; SOUZA, D.P.H. Produtividade e valor nutritivo do capim-elefante cv. Napier sob doses crescentes de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.29, p.1589-1595, 2000.
- BATISTA, K.; MONTEIRO, F.A. Nitrogen and sulphur in Marandu grass: relationship between supply and concentration in leaf tissues. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.64, p.44-51, 2007.

- BATISTA, K.; MONTEIRO, F.A. Nitrogênio e enxofre nas características morfológicas do capim-marandu em substituição ao capim-braquiária em degradação em solo com baixo teor de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.37, p.1151-1160, 2008.
- BONFIM-SILVA, E.M.; MONTEIRO, F.A.; SILVA, T.J.A. Nitrogênio e enxofre na produção e no uso de água pelo capim-braquiária em degradação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.309-317, 2007.
- BOWSER, C.G.; HUCKLESBY, D.P.; EMES, M.J. Nitrite reduction and carbohydrate metabolism in plastids purified from roots of *Pisum sativum* L. **Planta**, New York, v.177, p.359-366, 1989.
- BRÉGARDA, A; BÉLANGER, G.; MICHAUDA, R. Nitrogen use efficiency and morphological characteristics of timothy populations selected for low and high forage nitrogen concentrations. **Crop Science**, Madison, v.40, p.422-429, 2000.
- BURTON, G.W. A comparison of the first year's root production of seven southern grasses established from seed. **Journal of American Society of Agronomy**, Wisconsin, v.35, p.192-196, 1943.
- CÁRDENAS-NAVARRO, R.; ADAMOWICZ, S.; ROBIN, P. Nitrate accumulation in plants: a role for water. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.50, p.613-624, 1999.
- CHEN, B.M.; WANG, Z.H.; LI, S.X.; WANG, G.X.; SONG, H.X.; NA, X. Effects of nitrate supply on plant growth, nitrate accumulation, metabolic nitrate concentration and nitrate reductase activity in three leafy vegetables. **Plant Science**, Amsterdam, v.167, p.635-643, 2004.
- CORRÊA, L.A.; CANTARELLA, H.; PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; FREITAS, A.R.; SILVA, A.G. Efeito de fontes e doses de nitrogênio na produção e qualidade da forragem de capim-coastcross. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.36, p.763-772, 2007.
- DE BONA, F.D.; MONTEIRO, F.A. Marandu palisadegrass growth under nitrogen and sulphur for replacing Signal grass in degraded tropical pasture. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.67, p.570-578, 2010.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- GARNETT, T.; SMETHURST, P. Ammonium and nitrate uptake by *Eucalyptus nitens*: effects of pH and temperature. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.214, p.133-140, 1999.
- GREENWOOD, D.J.; LEMAIRE, G.; GOSSE, G.; CRUZ, P.; DRAYCOTT, A.; NEETESON, J.J. Decline in percentage N of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> crops with increasing plant mass. **Annals of Botany**, London, v.66, p.425-436, 1990.
- HAWKESFORD, M.J.; HOWARTH, J.R. Transcriptional profiling approaches for studying nitrogen use efficiency. **Annual Plant Reviews**, London, v.42, p.41-62, 2011.

HUMPHREYS, M.W.; YADAV, R.S.; CAIRNS, A.J.; TURNER, L.B.; HUMPHREYS, J.; SKOT, L. A changing climate for grassland research. **New Phytologist**, Lancaster, v.169, p.9-26, 2006.

IBGE – Indicadores de desenvolvimento sustentável. [2012]. In: IBGE. Brasil: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 09 jul.2013.

KRONZUCKER, H.J.; SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Conifer root discrimination against soil nitrate and the ecology of forest succession. **Nature**, London, v.385, p.59-61, 1997.

LEMAIRE, G.; SALETTE, J. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de gramine-es fourragères. II. Étude de la variabilité-entre ge-notypes. **Agronomie**, Les Ulis, v.4, p.431-436, 1984.

LAVRES JUNIOR, J. ; SANTOS JUNIOR, J.D.G.; MONTEIRO, F.A. Nitrate reductase activity and SPAD readings in leaf tissues of guinea grass submitted to nitrogen and potassium rates. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.801-809, 2010.

MACKOWN, C.T.; JONES, T.A.; JOHNSON, D.A.; MONACO, T.A.; REDINBAUGH, M.G. Nitrogen uptake by perennial and invasive annual grass seedlings: nitrogen form effects. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.73, p.1864-1870, 2009.

MAHMOOD, T.; KAISER, W.M. Growth and solute composition of the salt-tolerant kallar grass [*Leptochloa fusca* (L.) Kunth] as affected by nitrogen source. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.252, p.359-366, 2003.

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

MOLL, R.H.; KAMPRATH, E.J.; JACKSON, W.A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, Madison, v.74, p.562-564, 1982.

MUIR, J.P.; LEE, A.E. ; LAMBERT, B.D. ; REILLEY, J.L. ; NAUMANN, H.J. ; BOW, J. R. Dry matter, carbon, and nitrogen accumulation of four great plains grasses. **Crop Science**, Madison, v.53, p.1799-1808, 2013.

OAKS, A.; HIREL, B. Nitrogen metabolism in roots. **Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology**, Palo Alto, v.36, p.345-365, 1986.

ORTIZ-MONASTERIO, J.I.; SAYRE, K.D.; RAJARAM, S.; McMAHON, M. Genetic progress in wheat yield and nitrogen use efficiency under four nitrogen rates. **Crop Science**, Madison, v.37, p.898-904, 1997.

PARSONS, A.J.; EDWARDS, G.R.; NEWTON, P.C.D.; CHAPMAN, D.F.; CARADUS, J.R.; RASMUSSEN, S.; ROWARTH, J.S. Past lessons and future prospects: plant breeding for yield and persistence in cool-temperate pastures. **Grass and Forage Science**, Malden, v.66, p.153-172, 2011.



- PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A.; CANTARELLA, H.; SILVA, A.G.; FREITAS, A.R.; VIVALDI, L.J. Adubação nitrogenada em capim-coastcross: efeitos na extração de nutrientes e recuperação aparente do nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.33, p.68-78, 2004.
- RASMUSSEN, S.; PARSONS, A.J.; JONES, C.S. Metabolomics of forage plants: a review. **Annals of Botany**, London, v.110, p.1281-1290, 2012.
- RAVEN, J.A.; WOLLENWEBER, B.; HANDLEY, L.L. A comparison of ammonium and nitrate as nitrogen sources for photolithotrophs. **New Phytologist**, Lancaster, v.121, p.19-32, 1992.
- SANTOS, M.E.R.; FONSECA, D.M.; BALBINO, E.M.; SILVA, S.P.; MONNERAT, J.P.I.S. Valor nutritivo de perfilhos e componentes morfológicos em pastos de capim-braquiária diferidos e adubados com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.39, p.1919-1927, 2010.
- SANTOS, P.M.; THORNTON, B.; CORSI, M. Nitrogen dynamics in the intact grasses *Poa trivialis* and *Panicum maximum* receiving contrasting supplies of nitrogen. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.53, p.2167-2176, 2002.
- SANTOS, P.M.; THORNTON, B.; CORSI, M. Adaptation of the C4 grass *Panicum maximum* to defoliation is related to plasticity of N uptake, mobilisation and allocation patterns. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.69, p.293-299, 2012.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56p.
- SAS INSTITUTE. **SAS® 9.1.2 windows**. Cary, 2004. 2 CD-ROM.
- SCHEURWATER, I.; KOREN, M.; LAMBERS, H.; ATKIN, O.K. The contribution of roots and shoots to whole plant nitrate reduction in fast- and slow-growing grass species. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.53, p.1635-1642, 2002.
- SILVEIRA, C.P.; MONTEIRO, F.A. Macronutrientes em folhas diagnósticas do capim-Tanzânia submetido a doses de nitrogênio e cálcio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.39, p.736-745, 2010.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 95p. (Boletim Técnico, 5).
- RAIJ, B. van; DE ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade dos solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285p.
- VITOR, V.M.T.; FONSECA, D.M.; CÔSER, A.C.; MARTINS, C.E.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; RIBEIRO JÚNIOR, J.I. Produção de matéria seca e valor nutritivo de pastagem de capim-elefante sob irrigação e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, p.435-442, 2009.

VON WIRÉN, N.; GAZZARRINI, S.; FROMMER, W.B. Regulation of mineral nitrogen uptake in plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.196, p.191-199, 1997.

WALLANDER, H.; ARNEBRANT, K.; OSTRAND, F.; KAREN, O. Uptake of <sup>15</sup>N-labelled alanine, ammonium and nitrate in *Pinus sylvestris* L. ectomycorrhiza growing in forest soil treated with nitrogen, sulphur or lime. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.195, p.329-338, 1997.

WANG, L.; MACKO, S.A. Constrained preferences in nitrogen uptake across plant species and environments. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.34, p.525-534, 2011

YASEEN, M.; MALHI, S. Differential growth response of wheat genotypes to ammonium phosphate and rock phosphate phosphorus sources. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.32, p.410-432, 2009.

YUAN, Z.; LIU, W.; NIU, S.; WAN, S. Plant nitrogen dynamics and nitrogen-use strategies under altered nitrogen seasonality and competition. **Annals of Botany**, London, v.100, p.821-830, 2007.



## 5 MODIFICAÇÕES NO METABOLISMO DO NITROGÊNIO DE CULTIVARES DE *PANICUM* E *BRACHIARIA* EM ALTA E BAIXA DOSES DE NITROGÊNIO

### Resumo

O entendimento do transporte e assimilação do nitrogênio para as raízes e/ou parte aérea dos cultivares poderá melhorar a compreensão de como alguns cultivares de gramíneas forrageiras tem mais eficiência no uso do nitrogênio. Objetivou-se determinar se as gramíneas forrageiras *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés, *B. brizantha* cv. Piatã, *Panicum maximum* cv. Mombaça e *P. maximum* cv. Aruana apresentam modificações no metabolismo do nitrogênio, avaliando a produção de massa seca da parte aérea e raízes, concentrações e conteúdos de nitrogênio total, nitrato e amônio, atividades das enzimas nitrato redutase e glutamina sintetase e concentração de aminoácidos livres totais na parte aérea e nas raízes dessas gramíneas, quando cultivadas em ambiente com baixa e alta disponibilidades de nitrogênio. O experimento foi realizado em condições controladas de casa de vegetação e câmara de crescimento e foi constituído de fatorial 4 x 2 (quatro gramíneas forrageiras x duas doses de nitrogênio) em blocos ao acaso, com cinco repetições. A assimilação do nitrato ocorreu, principalmente, na parte aérea desses capins. Os cultivares Mombaça e Aruana apresentaram elevadas atividades da enzima nitrato redutase nas folhas diagnósticas (LR). A atividade da enzima glutamina sintetase nas LR foi maior nos cultivares *Panicum* do que nos de *Brachiaria*. A concentração de amônio nas raízes foi mais alta nos cultivares Piatã e Xaraés, na baixa dose de nitrogênio, e no Aruana e Mombaça, na dose alta de nitrogênio. A concentração de aminoácidos totais nas LR foi mais elevada nos cultivares *Panicum*, quando submetidos à alta dose de nitrogênio, enquanto, nas raízes foi maior nos cultivares *Brachiaria*, nas duas doses de nitrogênio.

Palavras-chave: Aminoácidos; Amônio; Glutamina sintetase; Nitrato; Nitrato redutase

### Abstract

The understanding of nitrogen transport and assimilation to cultivars roots and/or shoots can improve understanding of how some forage grasses cultivars are more efficient in nitrogen use. This study aimed to determine whether forage grasses *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés, *B. brizantha* cv. Piatã, *Panicum maximum* cv. Mombaça e *P. maximum* cv. Aruana exhibit changes in nitrogen metabolism, evaluating the dry mass of shoots and roots, total nitrogen, nitrate and ammonium concentrations and contents, nitrate reductase and glutamine synthetase activities and free amino acids concentration in shoots and roots of these grasses, when growing in environments with low and high nitrogen availabilities. The experiment was carried out in greenhouse and growth chamber and was set in a 4 x 2 factorial (four forage grasses x two nitrogen rates) in a randomized complete block design, with five replications. The nitrate assimilation occurred mainly in the shoots of these grasses. The nitrate assimilation occurred mainly in the shoots of these grasses. Mombaça and Aruana cultivars showed high nitrate reductase activity in diagnostic leaves. The glutamine synthetase activity in diagnostic leaves was higher in *Panicum* than *Brachiaria* cultivars. Ammonium concentration in the roots was higher in Piatã and Xaraés, at low nitrogen rate, and Aruana and Mombaça grasses, at high nitrogen rate. The total amino acids concentration in diagnostic leaves was higher in *Panicum* cultivars, when grown in high nitrogen rate, whereas it was greater in the roots *Brachiaria* cultivars, at the two nitrogen rates.

Keywords: Partition of dry matter; Leaf area; Production of roots; Root length; Root surface

## 5.1 Introdução

O Brasil possui vasta área utilizada na produção agropecuária e, aproximadamente, 20% do seu território total de 850 milhões de hectares é ocupado por pastagens (IBGE, 2012). As gramíneas forrageiras tem papel importante nesse sistema produtivo, pois a maior parte dessas pastagens é formada por capins dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum*. O nitrogênio é o nutriente que resulta no mais elevado incremento na produção dos capins (RYSER; LAMBERS, 1995; MARTUSCELLO et al., 2009; DE BONA; MONTEIRO, 2010; DE BONA et al., 2011; GARCEZ et al., 2011; MØLLER et al., 2011; MOKHELE et al., 2012; VILELA et al., 2012). Assim, o melhor entendimento do metabolismo do nitrogênio nos capins desses gêneros pode resultar em melhoria no manejo do pasto, pelo aumento do aproveitamento desse nutriente tão escasso e de rápida permanência na solução do solo.

As plantas absorvem, preferencialmente, o nitrogênio inorgânico nas formas de nitrato e amônio (MARSCHNER, 1995). Essas formas podem ser armazenadas no vacúolo e/ou rapidamente convertidas em substâncias orgânicas, como os aminoácidos. O processo assimilatório acontece pela redução do nitrato a amônio pelas enzimas nitrato redutase e nitrito redutase, e o amônio presente no tecido é assimilado via sistema glutamina sintetase/glutamato sintase (MARSCHNER, 1995; LEA et al., 2007; MARTÍNEZ-ANDÚJAR et al., 2013). A assimilação dessas formas de nitrogênio em esqueletos carbônicos representa processo fisiológico de extrema importância para o crescimento e desenvolvimento das plantas (MOKHELE et al., 2012).

Uma série de estudos tem demonstrado que existe preferência de algumas espécies por uma dessas formas inorgânicas de nitrogênio (VON WIRÉN; GAZZARRINI; FROMMER, 1997; WALLANDER et al., 1997; GARNETT; SMETHURST, 1999). Segundo Scheurwater et al. (2002), a redução de nitrato a amônio nas raízes pode ter impacto nas exigências de carbono para assimilação de nitrato por determinada planta quando comparada à assimilação na parte aérea. As espécies que reduzem nitrato preferencialmente na parte aérea podem ter a vantagem de utilizar o excesso de poder redutor (NADH ou NADPH e ferredoxina reduzida) produzido na fotossíntese (RAVEN; WOLLENWEBER; HANDLEY, 1992; KRONZUCKER; SIDDIQI; GLASS, 1997; SCHEURWATER et al., 2002), enquanto espécies que reduzem quantidade mais alta de nitrato nas raízes, obtém o poder redutor na via pentose fosfato e na glicólise. Portanto, em qual parte da planta é feita essa redução tem efeito no balanço de carbono da planta (OAKS; HIREL, 1986; BOWSHER; HUCKLESBY; EMES, 1989; MARSCHNER, 1995) e conseqüentemente na produção de massa seca dos capins.

Na quase totalidade, o amônio é assimilado no sistema radicular ao invés da parte aérea (MARSCHNER, 1995; WANG; MACKO, 2011). O amônio é originado da redução do nitrato, da direta absorção, da fotorespiração, da fixação gasosa e da desaminação de compostos nitrogenados, como asparagina (WICKERT et al. 2007; MOKHELE et al., 2012). Segundo Ruiz, Rivero e Romero (2007), toda forma de nitrogênio inorgânico sofre primeiro redução a amônio, pois é a única forma reduzida disponível para as plantas usarem na assimilação de aminoácidos de transporte. O amônio assimilado à glutamina e glutamato, pode ser usado como compostos de transporte e doadores de nitrogênio, na biossíntese de praticamente todos os aminoácidos e ácidos nucleicos, e na produção de outros compostos nitrogenados, tais como clorofila (LEA et al., 2007; MOKHELE et al., 2012). O aminoácido asparagina é o principal componente transportado via xilema e floema em plantas superiores (PATE, 1980; LEA et al., 2007; MARTÍNEZ-ANDÚJAR et al., 2013).

O entendimento do armazenamento, transporte e assimilação do nitrogênio para as raízes e/ou parte aérea dos cultivares poderá melhorar a compreensão de como alguns cultivares de gramíneas forrageiras apresentam maior eficiência no uso do nitrogênio. Com isso, objetivou-se determinar se as gramíneas forrageiras *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés, *B. brizantha* cv. Piatã, *Panicum maximum* cv. Mombaça e *P. maximum* cv. Aruana apresentam modificações no metabolismo do nitrogênio, alterando a produção de massa seca da parte aérea e raízes, concentrações e conteúdos de nitrogênio total, nitrato e amônio, atividades das enzimas nitrato redutase e glutamina sintetase e concentração de aminoácidos livres totais na parte aérea e nas raízes dessas gramíneas, quando cultivadas em ambiente com baixa e alta disponibilidade de nitrogênio.

## **5.2 Material e métodos**

### **5.2.1 Material vegetal e condução do experimento em casa de vegetação**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada em Piracicaba, Estado de São Paulo, no período de 10 de janeiro a 03 de fevereiro de 2012, em vasos plásticos com capacidade para 3,6 L contendo quartzo moído como substrato, o qual foi lavado com água corrente e depois com água desionizada. Foram selecionadas as gramíneas *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés, *B. brizantha* cv. Piatã, *Panicum maximum* cv. Mombaça e *P. maximum* cv. Aruana, com base nos aspectos produtivos e no acúmulo de nitrogênio na parte aérea e nas raízes verificadas em experimento anterior.

As sementes dos capins foram colocadas para germinar em bandejas plásticas contendo areia lavada e com umidade adequada para proporcionar ambiente favorável à germinação. O transplante das plântulas ocorreu 10 dias após a semeadura, quando apresentavam duas a três folhas (altura > 5 cm). Foram transplantadas 15 mudas por vaso, realizando-se desbastes sucessivos até permanecerem dez plantas por vaso para, ao final do período crescimento, ter material suficiente para realização das determinações analíticas previstas.

No experimento empregou-se a solução nutritiva de Hoagland & Arnon (1950), modificada para atender a baixa ( $3 \text{ mmol L}^{-1}$ ) e a alta ( $30 \text{ mmol L}^{-1}$ ) doses de nitrogênio e a concentração de potássio foi de  $8 \text{ mmol L}^{-1}$ , em razão dos relatos de Mattos et al. (2002) e Consolmagno Neto, Monteiro e Dechen (2007) (Tabela 1). Nos primeiros cinco dias após o transplante, as mudas foram mantidas em solução nutritiva diluída a 20% da solução completa, respeitando-se os tratamentos aplicados. As soluções foram circuladas três vezes durante o dia, foram drenadas para recipientes de um litro no início da noite e tiveram os volumes completados com água desionizada pela manhã. Durante o período experimental ocorreram duas renovações da solução nutritiva, sendo a primeira aos 14 dias após o transplante e a segunda após 10 dias da primeira renovação. A segunda troca foi realizada em intervalo mais curto em razão das plantas com alto suprimento de nitrogênio estarem com crescimento elevado e da realização das coletas para determinações enzimáticas e de aminoácidos livres. Foram utilizadas cinco repetições para garantir a produção de material suficiente para a realização de todas as determinações e o delineamento experimental foi o de blocos completos ao acaso.

O corte foi realizado aos 30 dias de crescimento das plantas após o transplante. A temperatura e a umidade média do ar no interior da casa de vegetação, durante o período experimental foram de  $28^{\circ}\text{C}$  ( $T_{\text{máx}} = 45,2^{\circ}\text{C}$  /  $T_{\text{min}} = 18,2^{\circ}\text{C}$ ) e 63,7%, respectivamente. Um dia antes do corte os vasos foram colocados em câmara climatizada e aclimatados à temperatura de  $30^{\circ}\text{C}$ , umidade de 60% e intensidade de luz de  $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  PAR. As folhas diagnósticas (LR) do perfilho principal (marcado durante o período de crescimento) e as raízes foram retirados para determinação das enzimas glutamina sintetase e aminoácidos livres, sendo congeladas inicialmente em nitrogênio líquido e depois colocadas em *freezer* a  $-80^{\circ}\text{C}$ . A atividade da enzima nitrato redutase foi determinada imediatamente após a coleta do tecido vegetal.

Tabela 1 – Volumes das soluções estoque empregados no preparo das soluções nutritivas para as doses de nitrogênio no experimento com os quatro cultivares de gramíneas forrageiras

Doses de nitrogênio		Baixa	Alta
		3 mmol L <sup>-1</sup>	30 mmol L <sup>-1</sup>
Solução estoque		Volume (mL L <sup>-1</sup> )	
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1 mol L <sup>-1</sup>	1	1
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1 mol L <sup>-1</sup>	1,5	15
MgSO <sub>4</sub>	1 mol L <sup>-1</sup>	2	2
KCl	1 mol L <sup>-1</sup>	7	7
CaCl <sub>2</sub>	1 mol L <sup>-1</sup>	5	5
Micronutrientes*	1 mol L <sup>-1</sup>	1	1
Fe-EDTA**	1 mol L <sup>-1</sup>	1	1

(\*) Composição da solução estoque de micronutrientes (g L<sup>-1</sup>): H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> = 2,86; MnCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O = 1,81; ZnCl<sub>2</sub> = 0,10; CuCl<sub>2</sub> = 0,10 e H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>.4H<sub>2</sub>O = 0,02. (\*\*) Dissolveram-se 26,1 g de EDTA dissódico em 286 mL de NaOH 1 mol L<sup>-1</sup>, foram adicionados 24,0 g de FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, sendo arejado por uma noite e tendo o seu volume completado a 1 L com água desionizada.

### 5.2.2 Avaliações realizadas no período experimental

Ao final do período de crescimento a parte aérea foi cortada e separada em folhas diagnósticas (LR), demais folhas, colmos+bainhas e raízes. As partes foram moídas, separadamente, em moinho tipo Wiley e acondicionadas em sacos plásticos. Para a determinação da concentração de nitrogênio nas LR e nas raízes, foi inicialmente realizada a digestão sulfúrica sendo completada com destilação e titulação (SARRUGE; HAAG, 1974). As concentrações de amônio e nitrato nessas duas partes foram determinadas de acordo com o método descrito por Tedesco et al. (1985).

A atividade da nitrato redutase foi determinada pelo método de Mulder, Boxma e van Venn (1959). Foram coletadas amostras do terço médio da lâmina das folhas diagnósticas (LR) e as raízes. Amostras de 200 mg de material verde foram incubadas por duas horas, em banho maria à temperatura de 35°C, em meio com 0,25 mol L<sup>-1</sup> KNO<sub>3</sub> em tampão fosfato, sofrendo agitação de 5 em 5 min. Ao final da incubação, pipetou-se 1 mL da solução para balão volumétrico de 50 mL, evitando-se pedacinhos de folhas. Colocou-se água até aproximadamente 25 mL e adicionou-se 1 mL de ácido sulfanílico, deixando em repouso por 5 min. Adicionaram-se 1 mL de alfa-naftilamina com HCl a 20% e 1 mL de tampão de acetato de sódio 2 mol L<sup>-1</sup>. Completou-se o volume e realizou-se leitura em espectrofotômetro a 560 nm. Utilizou-se padrão de nitrito para cálculo da concentração de NO<sub>2</sub> no tecido.

A atividade da glutamina sintetase foi determinada pelo método de Elliott (1953), com modificações. Foi coletado 0,5 g de material verde, que foi macerado em nitrogênio líquido e



logo após colocado 1,5 mL do tampão de extração (50 mmol L<sup>-1</sup> de tris-HCl a pH 7,5; 2 mmol L<sup>-1</sup> de mercaptoetanol e 1 mmol L<sup>-1</sup> de EDTA) e levado à centrífuga de 10.000 rpm por 10 min a 4°C. Foi retirado 0,3 mL do sobrenadante da amostra, sendo adicionado 0,5 mL de tris-HCl (200 mmol L<sup>-1</sup> a pH 7,5), 0,2 mL de ATP (50 mmol L<sup>-1</sup> a pH 7), 0,5 mL de ácido glutâmico (500 mmol L<sup>-1</sup> a pH 7,5), 0,1 mL de sulfato de magnésio (1 mol L<sup>-1</sup>), 0,3 mL de hidroxilamina (100 mmol L<sup>-1</sup>) e 0,1 mL de cisteína (100 mmol L<sup>-1</sup>), totalizando 2 mL. Para cada amostra foi utilizado um branco contendo a amostra em análise e todos os reagentes menos o ATP e o ácido glutâmico, sendo o volume completado com água desionizada. O branco e a amostra foram colocados em banho maria a 30°C por 30 min. A reação foi interrompida pela adição de 2 mL do reagente contendo FeCl<sub>3</sub> (0,6 mol L<sup>-1</sup>), TCA (1,5 mol L<sup>-1</sup>) e HCl (1 mol L<sup>-1</sup>) na proporção de 1:1:1. Em seguida a mistura foi centrifugada a 5000 rpm e no sobrenadante foi realizada a leitura a 540 nm em espectrofotômetro para detectar a formação de  $\gamma$ -glutamilhdroxamato, empregando-se a curva padrão previamente preparada.

A determinação de aminoácidos no tecido vegetal foi realizada no material coletado e armazenado em *freezer* a -80°C. Foi realizada a maceração desse material vegetal com auxílio de almofariz e pistilo em nitrogênio líquido com adição de solução de CH<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10 mmol L<sup>-1</sup>. Os aminoácidos foram determinados empregando derivatização pré-coluna com ortoftaldeído (OPA) e quantificação por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC). O cromatógrafo a líquido da marca Shimadzu® foi equipado por módulo de comunicação CBM 10-A, módulo de controle de temperatura CTO 10-A, injetor automático SIL 10-A, bomba de HPLC 10-AS, forno CRB-6A, coluna de fase reversa C-18 150 x 4-6 mm (Spheriforb ODS 2) e detector de fluorescência RF 10-A. Para a detecção pela fluorescência adotaram-se os comprimentos de onda de excitação de 340 nm e de emissão de 445 nm. Os solventes usados foram: acetato de sódio (pH 5-7) 0,05 mol L<sup>-1</sup> + 3 % v/v de tetrahidrofurano (THF) e metanol + 5 % THF. O tempo para separação dos 19 aminoácidos analisados foi de 30 min por amostra. As concentrações de aminoácidos livres totais foram determinadas por meio do programa Spectra Physics SP 4270 que integra as áreas de pico.

### 5.2.3 Análise estatística

A análise estatística dos resultados foi realizada empregando-se o aplicativo computacional “Statistical Analysis System” (SAS, 2004). As variáveis foram submetidas à análise de variância pelo procedimento ANOVA e, em função do nível de significância do

teste F, foi aplicado o teste Tukey para comparação de médias ao nível de significância de 5%.

### 5.3 Resultados

#### 5.3.1 Produção de massa seca da parte aérea e das raízes

A interação doses de nitrogênio x cultivares foi significativa para a produção de massa seca da parte aérea e das raízes e para relação raízes/parte aérea dos capins (Figura 1). Em baixa dose de nitrogênio, a mais alta produção de massa seca da parte aérea foi do cultivar Mombaça, enquanto o cultivar Xaraés teve produção de massa seca da parte aérea igual ao Aruana e o cultivar Piatã a mais baixa produção. Na alta dose de nitrogênio, o cultivar Aruana foi o que mais produziu massa seca da parte aérea, seguido por Mombaça e Xaraés com similares produções e Piatã com o mais baixo valor (Figura 1A).

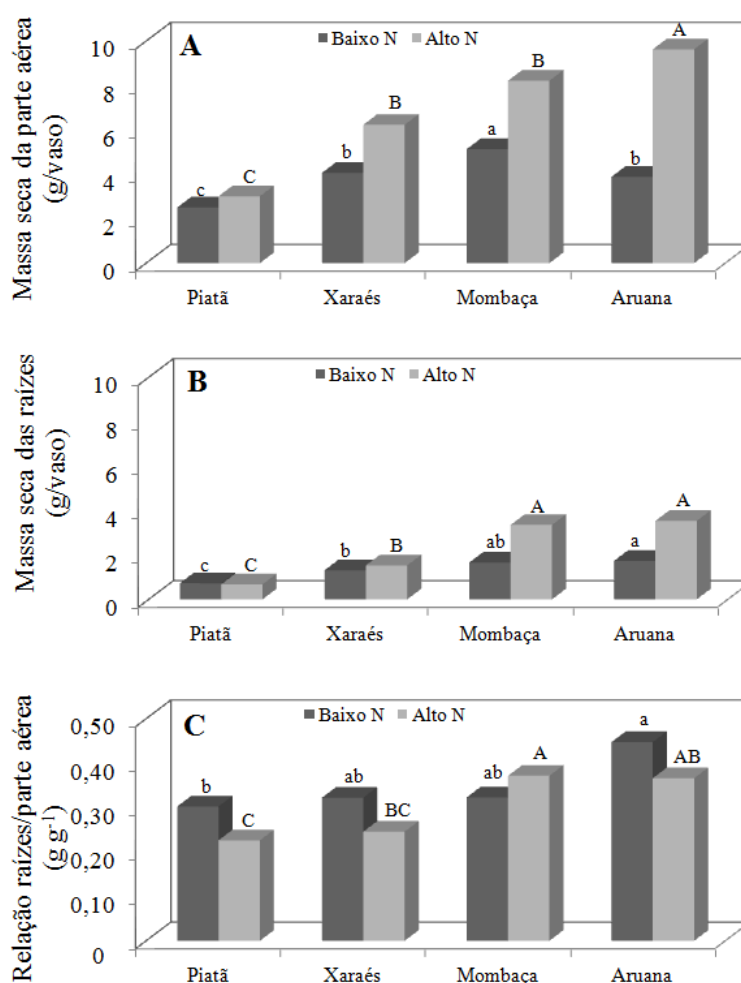


Figura 1 – Produção de massa seca da parte aérea (A), produção de massa seca das raízes (B) e relação raízes/parte aérea (C) dos cultivares de *Brachiaria* e *Panicum* em alta e baixa doses de nitrogênio (médias seguidas de mesma letra, minúscula em baixa dose de nitrogênio e maiúscula em alta dose de nitrogênio, não são significativas a 5% de probabilidade)

A produção de massa seca das raízes foi maior para os cultivares Mombaça e Aruana do que para o Xaraés e o Piatã, quando submetidos à alta dose de nitrogênio, e tendo o Piatã o mais baixo valor observado. Na dose baixa de nitrogênio, os cultivares Mombaça e Aruana tiveram os mais elevados valores de massa seca de raízes, porém a produção de massa seca de raízes do cultivar Xaraés foi igual a do Mombaça, enquanto o Piatã teve o menor valor (Figura 1B). A relação raízes/parte aérea, na baixa dose de nitrogênio, foi maior no cultivar Aruana que no Piatã. Na dose alta de nitrogênio, os cultivares Mombaça e Aruana tiveram mais alta relação raízes/parte aérea (Figura 1C).

### 5.3.2 Nitrogênio total, nitrato e amônio nas folhas diagnósticas (LR) e raízes

A interação doses de nitrogênio x cultivares foi significativa para a concentração e o conteúdo de nitrogênio total nas folhas diagnósticas (LR) e nas raízes dos capins (Figura 2). A concentração de nitrogênio nas LR foi maior no cultivar Piatã do que no Mombaça, enquanto os cultivares Xaraés e Aruana não diferiram dos demais, quando submetidos à baixa dose de nitrogênio. Na alta dose de nitrogênio, o cultivar Xaraés teve baixa concentração de nitrogênio nas LR diferindo dos cultivares Mombaça e Piatã, mas sendo similar ao Aruana (Figura 2A). O conteúdo de nitrogênio nessas folhas foi igual em todos os cultivares, quando em baixa dose de nitrogênio. Em alta dose de nitrogênio, os cultivares Mombaça e Aruana tiveram valores maiores que o Piatã, enquanto o Xaraés não diferiu dos demais (Figura 2B).

A concentração de nitrogênio nas raízes foi similar em todos os cultivares, na alta dose de nitrogênio. Na baixa dose de nitrogênio, o cultivar Piatã teve maior concentração de nitrogênio do que os demais (Figura 2C). O conteúdo de nitrogênio nas raízes foi mais alto para os cultivares de *Panicum* do que o Piatã, porém o Mombaça não se diferenciou do Xaraés, quando em baixa dose de nitrogênio. A alta dose de nitrogênio proporcionou maior conteúdo de nitrogênio nas raízes dos cultivares Mombaça e Aruana do que nos de *Brachiaria* (Figura 2D).

A interação doses de nitrogênio x cultivares foi significativa para as concentrações e os conteúdos de nitrato e amônio nas folhas diagnósticas (LR) e raízes dos capins (Figura 3). A concentração de nitrato nas LR não foi diferente entre os cultivares, na baixa dose de nitrogênio, enquanto na alta dose de nitrogênio, a única diferença ocorreu entre o cultivar Aruana (que teve maior concentração de nitrato nas LR) e o Xaraés (Figura 3A). O conteúdo de nitrato nessa parte foi maior no cultivar Mombaça do que no Xaraés e Piatã, quando submetidos à baixa dose de nitrogênio. Na alta dose de nitrogênio, o cultivar Aruana teve o maior conteúdo de nitrato nas LR do que os cultivares de *Brachiaria* (Figura 3B).

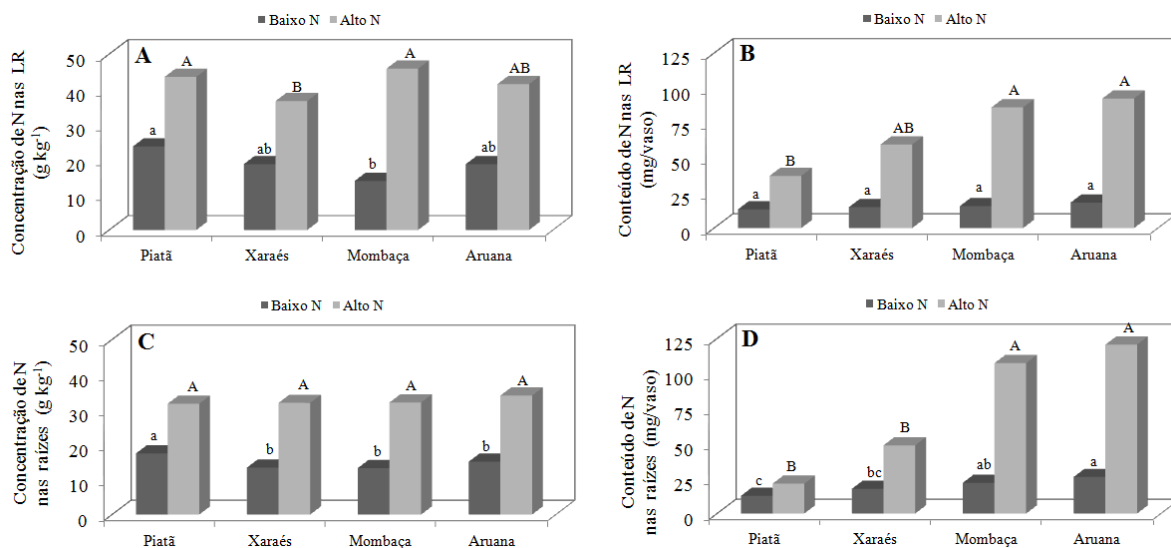


Figura 2 – Concentração (A e C) e conteúdo (B e D) de nitrogênio (N) nas folhas diagnósticas (LR) e nas raízes dos cultivares de *Brachiaria* e *Panicum* em alta e baixa doses de nitrogênio (médias seguidas de mesma letra, minúscula em baixa dose de nitrogênio e maiúscula em alta dose de nitrogênio, não são significativas a 5% de probabilidade)

Na baixa dose de nitrogênio o cultivar Piatã teve a maior concentração de nitrato nas raízes do que os demais capins, com os cultivares de *Panicum* revelando os mais baixos valores. Em alta dose de nitrogênio, o cultivar Piatã mostrou maior concentração de nitrato nas raízes do que Mombaça e Aruana, enquanto o Xaraés foi similar aos outros três capins (Figura 3C). O conteúdo de nitrato nas raízes foi maior no cultivar Xaraés do que nos cultivares de *Panicum*, quando submetidos à baixa dose de nitrogênio. A alta dose de nitrogênio resultou em maior conteúdo de nitrato nas raízes dos cultivares de *Panicum* do que nos de *Brachiaria* (Figura 3D).

A concentração de amônio nas LR do cultivar Xaraés foi maior do que no Mombaça, porém o Aruana e Piatã se igualaram aos demais, quando em baixa dose de nitrogênio. Na alta dose de nitrogênio, o cultivar Mombaça teve a mais alta concentração de amônio nessa parte da planta, e os demais capins tiveram concentrações estatisticamente iguais (Figura 3E). O conteúdo de amônio nas LR foi estatisticamente igual entre os cultivares recebendo dose baixa de nitrogênio. Entretanto, na alta dose de nitrogênio, o cultivar Mombaça apresentou maior conteúdo de amônio nas LR, sendo seguido pelo Aruana, que também foi maior do que Xaraés e Piatã (Figura 3F).

A concentração de amônio nas raízes foi maior no cultivar Piatã do que nos cultivares de *Panicum*, quando em dose baixa de nitrogênio, porém o cultivar Xaraés teve concentração de amônio nas raízes similar aos demais capins. Na alta dose de nitrogênio, o cultivar Aruana teve o mais alto valor de concentração de amônio nas raízes, sendo seguido pela Mombaça,

que também mostrou valor maior do que os dois cultivares de *Brachiaria* (Figura 3G). O conteúdo de amônio nas raízes foi igual entre os capins estudados quando em dose baixa de nitrogênio, enquanto o Aruana apresentou mais alto valor que os demais, na alta dose de nitrogênio (Figura 3H).

### 5.3.3 Atividades das enzimas nitrato redutase e glutamina sintetase nas folhas diagnósticas e nas raízes

A interação doses de nitrogênio x cultivares foi significativa para as atividades das enzimas nitrato redutase e glutamina sintetase nas folhas diagnósticas (LR) e raízes dos capins (Figura 4). A atividade da nitrato redutase nas LR foi maior nos cultivares de *Panicum* do que nos cultivares de *Brachiaria*, quando em baixa dose de nitrogênio. Na dose mais elevada de nitrogênio, o cultivar Mombaça teve maior atividade dessa enzima nas folhas diagnósticas do

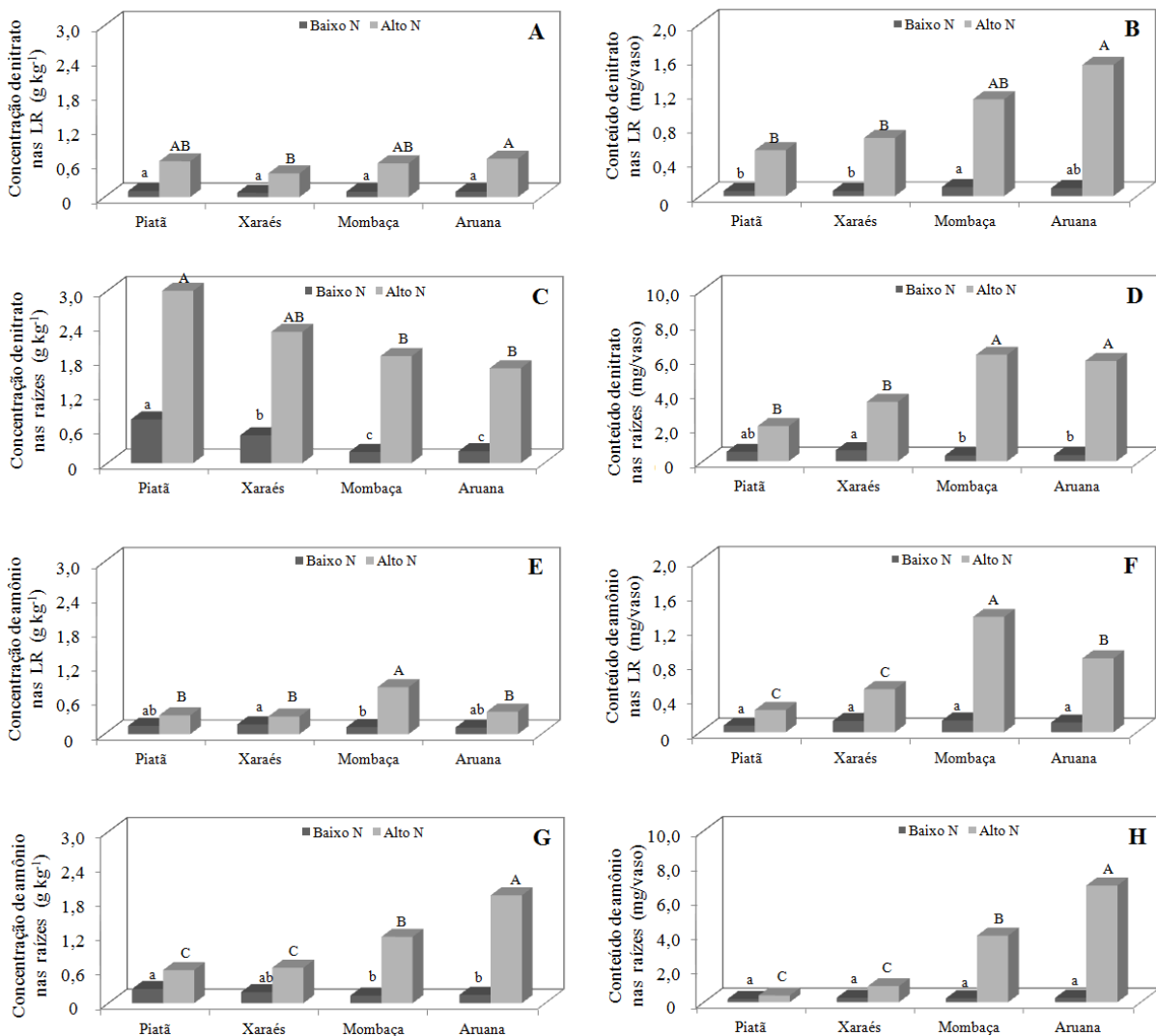


Figura 3 – Concentração (A, C, E e G) e conteúdo (B, D, F e H) de nitrato e amônio nas folhas diagnósticas (LR) e raízes dos cultivares de *Brachiaria* e *Panicum* em alta e baixa doses de nitrogênio (médias seguidas de mesma letra, minúscula em baixa dose de nitrogênio e maiúscula em alta dose de nitrogênio, não são significativas a 5% de probabilidade)

que os demais capins (Figura 4A). Nas raízes, a atividade da nitrato redutase foi similar em todos os cultivares, nas duas doses de nitrogênio (Figura 4B).

A atividade da enzima glutamina sintetase nas LR foi maior nos cultivares de Mombaça e Aruana do que nos cultivares Xaraés e Piatã, quando em dose baixa de nitrogênio. Na alta dose de nitrogênio, o cultivar Mombaça teve a mais elevada atividade dessa enzima, enquanto o Aruana apresentou maior valor do que os cultivares de *Brachiaria* (Figura 4C). Nas raízes, a atividade da glutamina sintetase foi maior no cultivar Piatã, que diferiu do Xaraés e dos cultivares de *Panicum*, quando em baixa disponibilidade de nitrogênio no solo. Na alta dose de nitrogênio, os cultivares de *Brachiaria* mostraram maior atividade da enzima glutamina sintetase nas raízes do que os de *Panicum* (Figura 4D).

### 5.3.4 Concentrações de aminoácidos livres totais nas folhas diagnósticas e raízes

A adição de nitrogênio promoveu aumento na concentração total de aminoácidos livres nas folhas diagnósticas (LR) e nas raízes dos capins (Tabela 2). A aplicação da alta dose de nitrogênio resultou em aumento do total de aminoácidos livres nas LR e nas raízes em dos capins. Em dose alta de nitrogênio, os cultivares Xaraés e Piatã concentraram nas LR, principalmente, os aminoácidos asparagina e serina, quando comparado à dose baixa de nitrogênio. Por sua vez, os cultivares de Mombaça e Aruana aumentaram as concentrações de aminoácidos nas LR seguindo a ordem decrescente: asparagina, glutamina, serina e arginina. Na alta dose de nitrogênio, o cultivar Mombaça concentrou mais aminoácidos livres totais nas

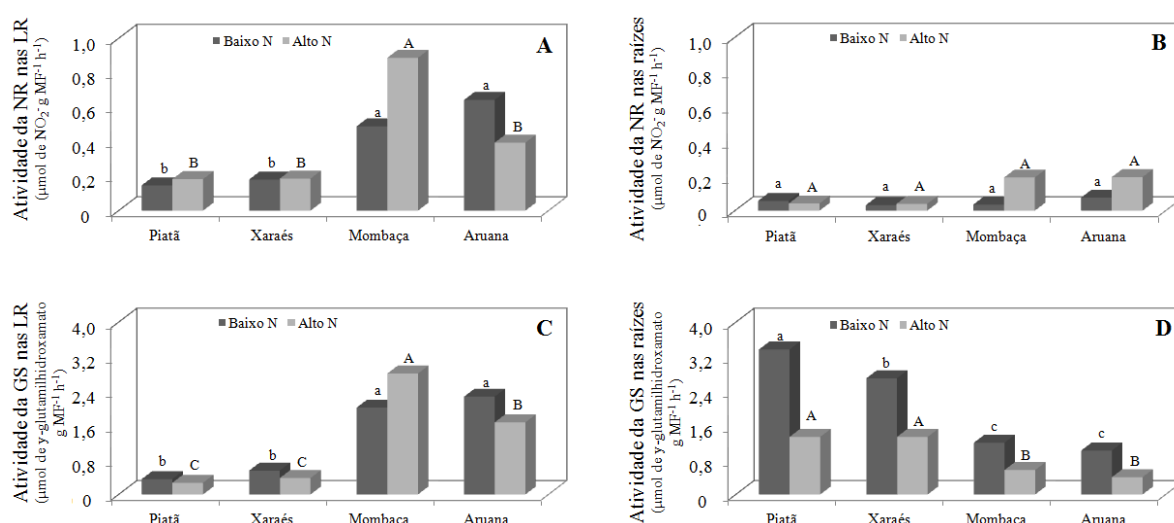


Figura 4 – Atividades das enzimas nitrato redutase (NR) e glutamina sintetase (GS) nas folhas diagnósticas - LR (A e C) e raízes (B e D) dos cultivares de *Brachiaria* e *Panicum* em alta e baixa doses de nitrogênio (médias seguidas de mesma letra, minúscula em baixa dose de nitrogênio e maiúscula em alta dose de nitrogênio, não são significativas a 5% de probabilidade)

LR do que os de *Brachiaria*, tendo o Aruana valor similar aos outros três capins. Na dose baixa de nitrogênio, o cultivar Piatã foi o que concentrou mais aminoácidos livres nas LR, sendo seguido por Xaraés, Mombaça e Aruana. Nessa mesma dose, os cultivares tiveram elevada concentração de arginina nas LR, enquanto o cultivar Piatã teve alta concentração de prolina nessas folhas.

A elevação da dose de nitrogênio resultou em incremento na concentração de diversos aminoácidos nas raízes, tendo asparagina, arginina, glutamina e serina revelado os aumentos mais expressivos (Tabela 2). Tanto em alta quanto em baixa dose de nitrogênio, a

Tabela 2 – Concentração de aminoácidos livres nas folhas diagnósticas e raízes dos cultivares de *Brachiaria* e *Panicum* em baixa e alta dose de nitrogênio

Dose N	Piatã		Xaraés		Mombaça		Aruana	
	Baixa	Alta	Baixa	Alta	Baixa	Alta	Baixa	Alta
<b>Folhas diagnósticas</b>								
	mg kg <sup>-1</sup>							
Ácido Aspartico	264 ± 51	188 ± 30	305 ± 11	229 ± 66	247 ± 55	350 ± 48	230 ± 45	417 ± 40
Ácido Glutâmico	83 ± 11	29 ± 6	109 ± 5	73 ± 13	72 ± 5	108 ± 39	143 ± 20	156 ± 25
Serina	246 ± 60	404 ± 82	198 ± 17	1070 ± 58	89 ± 17	915 ± 332	70 ± 6	946 ± 217
Glicina	36 ± 2	90 ± 19	61 ± 9	211 ± 91	16 ± 2	52 ± 19	10 ± 1	468 ± 118
Histidina	27 ± 5	19 ± 3	18 ± 3	27 ± 10	9 ± 0	185 ± 49	5 ± 1	84 ± 26
Arginina	764 ± 82	871 ± 26	433 ± 31	496 ± 156	413 ± 38	743 ± 24	317 ± 20	614 ± 100
Treonina	72 ± 5	88 ± 13	52 ± 7	118 ± 45	38 ± 5	282 ± 80	37 ± 6	276 ± 75
Alanina	105 ± 9	279 ± 87	136 ± 6	303 ± 114	101 ± 12	245 ± 25	75 ± 10	320 ± 56
Prolina	508 ± 173	747 ± 351	162 ± 21	293 ± 132	40 ± 15	368 ± 48	21 ± 3	256 ± 33
Tirosina	308 ± 34	571 ± 211	121 ± 31	370 ± 145	95 ± 11	239 ± 33	58 ± 5	343 ± 32
Valina	33 ± 2	63 ± 0	23 ± 2	46 ± 13	35 ± 4	137 ± 25	26 ± 1	113 ± 16
Metionina	17 ± 1	16 ± 2	6 ± 1	10 ± 3	6 ± 0	16 ± 3	10 ± 0	19 ± 6
Cistina	29 ± 5	44 ± 7	23 ± 3	39 ± 11	51 ± 8	134 ± 19	41 ± 7	66 ± 10
Isoleucina	13 ± 0	25 ± 0	9 ± 1	17 ± 4	12 ± 4	42 ± 5	14 ± 2	53 ± 5
Leucina	18 ± 1	39 ± 6	10 ± 1	20 ± 4	20 ± 2	56 ± 5	15 ± 1	73 ± 9
Fenilalanina	11 ± 0	19 ± 2	9 ± 0	17 ± 3	21 ± 4	66 ± 9	15 ± 2	68 ± 9
Lisina	26 ± 2	60 ± 9	18 ± 1	60 ± 19	32 ± 4	248 ± 81	28 ± 1	171 ± 41
Asparagina	195 ± 83	4479 ± 866	121 ± 25	5803 ± 2802	159 ± 102	10039 ± 2939	23 ± 4	6061 ± 2983
Glutamina	161 ± 50	288 ± 102	252 ± 11	231 ± 83	207 ± 80	3424 ± 741	81 ± 12	1372 ± 385
Total	2916 ± 500	8320 ± 1260	2066 ± 52	9092 ± 3952	1661 ± 360	17648 ± 4365	1219 ± 79	11877 ± 4029
<b>Raízes</b>								
	mg kg <sup>-1</sup>							
Ácido Aspartico	77 ± 9	166 ± 64	59 ± 14	105 ± 9	41 ± 5	121 ± 20	19 ± 1	75 ± 9
Ácido Glutâmico	46 ± 18	54 ± 9	32 ± 6	75 ± 16	43 ± 3	116 ± 11	28 ± 3	128 ± 20
Serina	130 ± 5	518 ± 213	161 ± 25	567 ± 70	76 ± 13	237 ± 22	51 ± 6	228 ± 22
Glicina	33 ± 5	91 ± 30	34 ± 5	98 ± 15	13 ± 2	30 ± 3	12 ± 2	39 ± 4
Histidina	14 ± 3	25 ± 3	10 ± 2	38 ± 5	6 ± 1	20 ± 3	7 ± 1	32 ± 3
Arginina	628 ± 57	916 ± 72	472 ± 86	1258 ± 140	447 ± 60	820 ± 71	372 ± 45	690 ± 94
Treonina	36 ± 3	102 ± 28	41 ± 8	114 ± 13	18 ± 3	62 ± 8	13 ± 1	80 ± 3
Alanina	424 ± 57	508 ± 161	388 ± 69	1320 ± 125	215 ± 35	341 ± 33	172 ± 6	319 ± 56
Prolina	72 ± 19	797 ± 578	35 ± 1	102 ± 18	28 ± 6	48 ± 9	16 ± 5	38 ± 1
Tirosina	111 ± 11	328 ± 192	79 ± 5	114 ± 8	76 ± 5	107 ± 9	56 ± 5	102 ± 8
Valina	70 ± 12	84 ± 7	53 ± 3	89 ± 10	48 ± 5	98 ± 16	33 ± 5	106 ± 10
Metionina	38 ± 10	25 ± 5	18 ± 2	22 ± 4	15 ± 4	19 ± 5	11 ± 3	20 ± 4
Cistina	78 ± 40	54 ± 24	24 ± 7	121 ± 11	29 ± 14	29 ± 6	13 ± 4	65 ± 14
Isoleucina	25 ± 4	28 ± 2	18 ± 3	30 ± 4	16 ± 2	28 ± 4	14 ± 3	37 ± 3
Leucina	42 ± 5	43 ± 1	26 ± 2	47 ± 8	18 ± 1	33 ± 5	13 ± 3	36 ± 5
Fenilalanina	22 ± 2	20 ± 2	14 ± 1	19 ± 2	10 ± 1	23 ± 4	7 ± 2	22 ± 2
Lisina	38 ± 1	69 ± 23	31 ± 2	46 ± 7	20 ± 2	47 ± 6	15 ± 3	57 ± 7
Asparagina	540 ± 48	6437 ± 3355	293 ± 73	2785 ± 326	72 ± 14	1265 ± 198	74 ± 6	1728 ± 182
Glutamina	249 ± 37	658 ± 137	251 ± 48	1193 ± 197	143 ± 32	844 ± 71	115 ± 5	1444 ± 71
Total	2673 ± 6	10923 ± 4489	2037 ± 326	8143 ± 882	1335 ± 180	4287 ± 419	1040 ± 94	5244 ± 429

Médias seguidas pelo erro padrão da média.

concentração de aminoácidos livres totais nas raízes foi maior nos cultivares de *Brachiaria* do que nos de *Panicum*. Na dose baixa de nitrogênio, foi obtida mais alta concentração dos aminoácidos arginina, asparagina, alanina e glutamina nas raízes dos cultivares de *Brachiaria*, enquanto as concentrações de arginina e alanina foram mais elevadas nos cultivares de *Panicum*.

#### 5.4 Discussão

Estudos anteriormente publicados mostraram que o incremento na dose de nitrogênio resulta em aumento na produção de massa seca da parte aérea dos capinscultivados em solo e em solução nutritiva (RAO; AYARZA; GARCIA, 1995; AKMAL; JANSSENS, 2003; MARTUSCELLO et al., 2009; DE BONA; MONTEIRO, 2010; DE BONA et al., 2011; VILELA et al., 2012). A mais alta produção de massa seca da parte aérea foi do cultivar Mombaça, na baixa dose de nitrogênio e do cultivar Aruana, na dose alta de nitrogênio, enquanto o cultivar Piatã apresentou a mais baixa produção de massa seca da parte aérea nas duas doses de nitrogênio (Figura 1A).

Também a produção de massa seca das raízes tem sido elevada mediante incremento na dose de nitrogênio (RYSER; LAMBERS, 1995; GARCEZ et al., 2011; MØLLER et al., 2011). A produção de massa seca das raízes foi elevada nos cultivares Mombaça e Aruana, enquanto o Piatã teve o mais baixo valor observado, nas duas doses de nitrogênio (Figura 1B). Tem sido reportado que o rápido crescimento inicial e/ou elevada partição do carbono para as raízes seria o principal fator para o melhor aproveitamento dos nutrientes supridos via solo (RAO; AYARZA; GARCIA, 1995; LIAO; FILLEY; PALTA, 2004; NOULAS et al., 2009).

A relação raízes/parte aérea foi mais elevada para os cultivares Mombaça e Aruana na alta dose de nitrogênio, enquanto na baixa dose de nitrogênio, o cultivar Xaraés incrementou a relação raízes/parte aérea tendo similar valor aos cultivares de *Panicum* (Figura 1C). Isto indica que, com a elevada disponibilidade de nitrogênio na solução nutritiva, os cultivares de *Panicum*, principalmente o Mombaça, possuem crescimento inicial vigoroso do sistema radicular, enquanto os cultivares de Xaraés e Piatã, priorizaram o crescimento da parte aérea. Contudo, ao estudar mais baixa dose desse nutriente na solução, os cultivares de *Brachiaria*, principalmente o Xaraés, exibiram similar relação raízes/parte aérea com os cultivares Mombaça e Aruana, demonstrando maior plasticidade e direcionamento do nitrogênio para produção de massa seca de raízes, como observado por Rao, Ayarza, Garcia (1995), Santos, Thornton e Corsi (2002), Martuscello et al. (2009) e Santos, Thornton e Corsi (2012).



A maior diferença que ocorreu para a concentração de nitrogênio nas LR foi entre as doses de nitrogênio (Figura 2A). O incremento da dose fez aumentar a concentração de nitrogênio na parte aérea dos capins, conforme relatado nos trabalhos de Batista e Monteiro (2007), Silveira e Monteiro (2010), Lavres Junior, Santos Junior e Monteiro (2010) e Muir et al. (2013). O conteúdo de nitrogênio nas LR foi similar em todos os cultivares, quando em baixa dose de nitrogênio, tendo o aumento na dose de nitrogênio favorecido maior conteúdo de nitrogênio nas LR para os cultivares Mombaça e Aruana (Figura 2B). O cultivar Piatã teve a mais alta concentração de nitrogênio nas raízes (Figura 2C) e apresentou baixo conteúdo de nitrogênio nas raízes, enquanto ocorreu o inverso para os cultivares de *Panicum*, nas duas doses de nitrogênio (Figura 2D). O efeito da diluição do nitrogênio no tecido dos cultivares de *Panicum* pode ter ocorrido devido ao contínuo aumento na quantidade de nitrogênio absorvida e à elevação na proporção de órgãos estruturais e de armazenamento com baixo conteúdo de nitrogênio o que favoreceu o incremento no conteúdo de nitrogênio na parte aérea e raízes (GREENWOOD et al., 1990; PRIMAVESI et al., 2004; CORRÊA et al., 2007; YUAN et al., 2007).

A assimilação do nitrato ocorreu preferencialmente na parte aérea dos cultivares estudados (Figuras 4A e 4B). Segundo Scheurwater et al. (2002), existem espécies que priorizam a redução de nitrato a amônio nas raízes enquanto outras o fazem na parte aérea e isto pode ter impacto nas exigências de carbono para assimilação de nitrato. As espécies que preferencialmente reduzem nitrato na parte aérea podem ter a vantagem de utilizar o excesso de poder redutor (NADH ou NADPH e ferredoxina reduzida) produzido na fotossíntese, enquanto nas raízes o poder redutor é via pentose fosfato, o que libera gás carbônico e aumenta o coeficiente respiratório, com consequente maior gasto de energia e menor produção da planta (OAKS; HIREL, 1986; BOWSER; HUCKLESBY; EMES, 1989; RAVEN; WOLLENWEBER; HANDLEY, 1992; KRONZUCKER; SIDDIQI; GLASS, 1997; SCHEURWATER et al., 2002). Os cultivares Mombaça e Aruana tiveram os mais elevados valores de conteúdo de nitrato e da atividade da enzima nitrato redutase nas LR, tanto em alta quanto em baixa dose de nitrogênio (Figuras 3A e 4A). Isto pode mostrar que estes capins possuem maior afinidade pela forma de nitrato do que amônio, favorecendo a maior captura dessa forma quando presente na solução, devido ao elevado crescimento inicial do sistema radicular (Figura 1B), acúmulo de nitrato nessa parte (Figura 3D) e rápido transporte e assimilação do nitrato na parte aérea (Figura 4A). Além disso, esses capins podem ter grande número de transportadores e redução nas atividades do canal de efluxo do nitrato (BURTON, 1943; MACKOWN et al., 2009; ACUÑA et al., 2010).

A assimilação do amônio nas LR pela enzima glutamina sintetase foi maior nos cultivares Mombaça e Aruana do que no Piatã e no Xaraés (Figura 4C). A maior atividade dessa enzima nas LR dos cultivares de *Panicum* pode estar relacionada ao rápido transporte nessa forma, à redução do nitrato absorvido em amônio pela enzima nitrato redutase (Figura 4A) e/ou ao consumo de compostos nitrogenados liberando amônio nessa parte dos capins (Tabela 2). Em plantas como *Arabidopsis*, o amônio é originado da redução do nitrato, da direta absorção, da fotorespiração, da fixação gasosa e da desaminação de compostos nitrogenados, como asparagina (WICKERT et al. 2007; MOKHELE et al., 2012). Segundo Ruiz, Rivero e Romero (2007) toda forma de nitrogênio inorgânico sofre primeiro redução a amônio, pois é a única forma reduzida disponível para as plantas usarem na assimilação de aminoácidos de transporte.

A concentração de amônio nas raízes foi maior nos cultivares Piatã e Xaraés, na baixa dose de nitrogênio, e nos capins Aruana e Mombaça, na dose alta de nitrogênio (Figura 3G). Contudo, o conteúdo de amônio nessa parte foi mais alto nos cultivares de *Panicum*, quando em alta dose de nitrogênio, enquanto na baixa dose o conteúdo foi estatisticamente igual entre os cultivares (Figura 3H). Segundo Marschner (1995) e Wang e Macko (2011), quase a totalidade da assimilação do amônio acontece no sistema radicular ao invés da parte aérea. Pode-se observar que a assimilação do amônio, por meio da atividade da enzima glutamina sintetase, foi mais alta no sistema radicular dos cultivares Piatã e Xaraés, nas duas doses de nitrogênio (Figura 4D). Isto pode indicar certa preferência e/ou afinidade desses capins pela absorção direta da forma amoniacal (VON WIRÉN; GAZZARRINI; FROMMER, 1997; WALLANDER et al., 1997; GARNETT; SMETHURST, 1999) e não somente da rápida assimilação do amônio proveniente da redução do nitrato e/ou consumo de outros compostos nitrogenados, como parece ser mais provável no cultivar Mombaça.

A concentração de aminoácidos totais nas LR foi mais elevada nos cultivares Mombaça e Aruana, quando submetidos à alta dose de nitrogênio (Tabela 2), tendo os aminoácidos asparagina e glutamina representado 56,8% e 19,4%, respectivamente, do total de aminoácidos presentes nas folhas diagnósticas do cultivar Mombaça. Nas raízes, a concentração da asparagina foi maior nos cultivares Piatã e Xaraés, na dose alta de nitrogênio. O amônio, tanto o absorvido quanto o produzido na redução do nitrato e/ou de outro composto nitrogenado, é assimilado à glutamina e glutamato, os quais podem ser usados como compostos de transporte e doadores de nitrogênio, na biossíntese de praticamente todos os aminoácidos e ácidos nucleicos e na produção de outros compostos nitrogenados, tais como clorofila (LEA et al., 2007; MOKHELE et al., 2012). Entretanto, o aminoácido

asparagina é o principal componente transportado via xilema e floema em plantas superiores (PATE, 1980; LEA et al., 2007; MARTÍNEZ-ANDÚJAR et al., 2013). Os cultivares Piatã e Xaraés preferencialmente assimilam mais amônio no sistema radicular, mantendo a formação de aminoácidos nas raízes para uso conforme a necessidade, na deficiência e suficiência de nitrogênio. Por sua vez, os cultivares Mombaça e Aruana priorizam a produção e rápido transporte desses aminoácidos para a parte aérea, o que pode afetar a persistência destes cultivares no sistema produtivo, devido à colheita mecânica ou pelo animal, quando em situação com baixa adubação nitrogenada.

## 5.5 Conclusões

As gramíneas forrageiras estudadas possuíram diferenciação no metabolismo do nitrogênio, porém a diferença mais evidente ocorreu entre os gêneros. Os cultivares de *Panicum* possuem crescimento inicial vigoroso do sistema radicular, nas duas doses de nitrogênio, alto conteúdo e baixa concentração de nitrogênio, nitrato e amônio nas folhas diagnósticas e alto conteúdo de nitrogênio, nitrato e amônio nas raízes, principalmente quando submetidos à alta dose de nitrogênio. A assimilação do nitrato ocorreu preferencialmente na parte aérea dos quatro cultivares, tendo Mombaça e Aruana elevada atividade da enzima nitrato redutase e glutamina sintetase nessa parte da planta. A concentração de aminoácidos totais nas folhas diagnósticas foi mais elevada nos cultivares Mombaça e Aruana, quando submetidos à alta dose de nitrogênio.

Na deficiência de nitrogênio, há maior plasticidade e direcionamento do nitrogênio para produção de massa seca de raízes nos cultivares de *Brachiaria*. Nesses cultivares, a concentração de amônio nas raízes foi mais elevada, na baixa dose de nitrogênio, enquanto a atividade da enzima glutamina sintetase e a concentração de aminoácidos totais livres foram mais elevadas nas raízes, nas duas doses de nitrogênio.

## Referências

ACUÑA, C.A.; SINCLAIR, T.R.; MACKOWIAK, C.L.; BLOUNT, A.R.; QUESENBERRY, K.H.; HANNA, W.W. Potential root depth development and nitrogen uptake by tetraploid bahiagrass hybrids. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.334, p.491-499, 2010.

AKMAL, M.; JANSSENS, M.J.J. Productivity and light use efficiency of perennial ryegrass with contrasting water and nitrogen supplies. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.88, p.143-155, 2004.

BATISTA, K.; MONTEIRO, F.A. Nitrogen and sulphur in Marandu grass: relationship between supply and concentration in leaf tissues. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.64, p.44-51, 2007.

BOWSER, C.G.; HUCKLESBY, D.P.; EMES, M.J. Nitrite reduction and carbohydrate metabolism in plastids purified from roots of *Pisum sativum* L. **Planta**, New York, v.177, p.359-366, 1989.

BURTON, G.W. A comparison of the first year's root production of seven southern grasses established from seed. **Journal of American Society of Agronomy**, Wisconsin, v.35, p.192-196, 1943.

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

CORRÊA, L.A.; CANTARELLA, H.; PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; FREITAS, A.R.; SILVA, A.G. Efeito de fontes e doses de nitrogênio na produção e qualidade da forragem de capim-coastcross. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.36, p. 763-772, 2007.

DE BONA, F.D.; FEDOSEYENKO, D.; VON WIRÉN, N.; MONTEIRO, F.A. Nitrogen utilization by sulfur-deficient barley plants depends on the nitrogen form. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v.74, p.237-244, 2011.

DE BONA, F.D.; MONTEIRO, F.A. Marandu palisadegrass growth under nitrogen and sulphur for replacing Signal grass in degraded tropical pasture. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.67, p.570-578, 2010.

GARCEZ, T.B.; MEGDA, M.M.; ARTUR, A.G.; MONTEIRO, F.A. Root system characteristics of marandu palisadegrass supplied with nitrogen and magnesium rates. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.40, p.1428-1435, 2011.

GARNETT, T.; SMETHURST, P. Ammonium and nitrate uptake by *Eucalyptus nitens*: effects of pH and temperature. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.214, p.133-140, 1999.

GREENWOOD, D.J.; LEMAIRE, G.; GOSSE, G.; CRUZ, P.; DRAYCOTT, A.; NEETESON, J.J. Decline in percentage N of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> crops with increasing plant mass. **Annals of Botany**, London, v.66, p.425-436, 1990.

IBGE – Indicadores de desenvolvimento sustentável. [2012]. In: IBGE. Brasil: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 09 jul.2013.

KRONZUCKER, H.J.; SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Conifer root discrimination against soil nitrate and the ecology of forest succession. **Nature**, London, v.385, p.59-61, 1997.

LAVRES JUNIOR, J. ; SANTOS JUNIOR, J.D.G.; MONTEIRO, F.A. Nitrate reductase activity and SPAD readings in leaf tissues of guinea grass submitted to nitrogen and potassium rates. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.801-809, 2010.

- LEA, P.J.; SODEK, L.; PARRY, M.A.J.; SHEWRY, P.R.; HALFORD, N.G. Asparagine in plants. **Annals of Applied Biology**, Malden, v.150, p.1-26, 2007.
- LIAO, M.; FILLEY, I.R.P.; PALTA, J.A. Early vigorous growth is a major factor influencing nitrogen uptake in wheat. **Functional Plant Biology**, Melbourne, v.31, p.121-129, 2004.
- MACKOWN, C.T.; JONES, T.A.; JOHNSON, D.A.; MONACO, T.A.; REDINBAUGH, M.G. Nitrogen uptake by perennial and invasive annual grass seedlings: nitrogen form effects. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.73, p.1864-1870, 2009.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2<sup>nd</sup> ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MARTÍNEZ-ANDÚJAR, C.; GHANEM, M.E.; ALBACETE, A.; PÉREZ-ALFOCEA, F. Response to nitrate/ammonium nutrition of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants overexpressing a prokaryotic NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-dependent asparagine synthetase. **Journal of Plant Physiology**, Leipzig, v.170, p.676-687, 2013.
- MARTUSCELLO, J.A.; FARIA, D.J.G.; CUNHA, D.N.F.V.; FONSECA, D.M. Adubação nitrogenada e partição massa seca em plantas de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés e *Panicum maximum* x *Panicum infestum* cv. Massai. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, p.663-667, 2009.
- 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.
- MOKHELE, B.; ZHAN, X.; YANG, G.; ZHANG, X. Nitrogen assimilation in crop plants and its affecting factors. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.92, p.399-405, 2012.
- MØLLER, A.L.; PEDAS, P.; ANDERSEN, B.; SVENSSON, B.; SCHJOERRING, J.K.; FINNIE C. Responses of barley root and shoot proteomes to long-term nitrogen deficiency, short-term nitrogen starvation and ammonium. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.34, p.2024-2037, 2011.
- MUIR, J.P.; LEE, A.E. ; LAMBERT, B.D. ; REILLEY, J.L. ; NAUMANN, H.J. ; BOW, J.R. Dry matter, carbon, and nitrogen accumulation of four great plains grasses. **Crop Science**, Madison, v.53, p.1799-1808, 2013.
- MULDER, E.G.; BOXMA, R.; VAN VENN, W.L. The effect of molybdenum and nitrogen deficiencies on nitrate reduction in plant tissue. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.10, p.335-355, 1959.
- NOULAS, C.; LIEDGENS, M.; STAMP, P.; ALEXIOU, I.; HERRERA, J.M. Subsoil root growth of field grown spring wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) differing in nitrogen use efficiency parameters. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.33, p.1887-1903, 2010.
- OAKS, A.; HIREL, B. Nitrogen metabolism in roots. **Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology**, Palo Alto, v.36, p.345-365, 1986.

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

PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A.; CANTARELLA, H.; SILVA, A.G.; FREITAS, A.R.; VIVALDI, L.J. Adubação nitrogenada em capim-coastcross: efeitos na extração de nutrientes e recuperação aparente do nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.33, p.68-78, 2004.

RAO, I.M.; AYARZA, M.A.; GARCIA, R. Adaptive attributes of tropical forage species to acid soils I. Differences in plant growth, nutrient acquisition and nutrient utilization among C<sub>4</sub> grasses and C<sub>3</sub> legumes. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.18, p.2135-2155, 1995.

RAVEN, J.A.; WOLLENWEBER, B.; HANDLEY, L.L. A comparison of ammonium and nitrate as nitrogen sources for photolithotrophs. **New Phytologist**, Lancaster, v.121, p.19-32, 1992.

RYSER, P.; LAMBERS, H. Root and leaf attributes accounting for the performance of fast- and slow-growing grasses at different nutrient supply. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.170, p.251-265, 1995.

RUIZ, J.M.; RIVERO, R.; ROMERO, M.L. Comparative effect of Al, Se, and Mo toxicity on NO<sub>3</sub><sup>-</sup> assimilation in sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. **Journal of Environmental Management**, Berkeley, v.83, p.207-212, 2007.

SANTOS, P.M.; THORNTON, B.; CORSI, M. Nitrogen dynamics in the intact grasses *Poa trivialis* and *Panicum maximum* receiving contrasting supplies of nitrogen. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.53, p.2167-2176, 2002.

SANTOS, P.M.; THORNTON, B.; CORSI, M. Adaptation of the C<sub>4</sub> grass *Panicum maximum* to defoliation is related to plasticity of N uptake, mobilisation and allocation patterns. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.69, p.293-299, 2012.

SCHEURWATER, I.; KOREN, M.; LAMBERS, H.; ATKIN, O.K. The contribution of roots and shoots to whole plant nitrate reduction in fast- and slow-growing grass species. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.53, p.1635-1642, 2002.

SILVEIRA, C.P.; MONTEIRO, F.A. Macronutrientes em folhas diagnósticas do capim-Tanzânia submetido a doses de nitrogênio e cálcio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.39, p.736-745, 2010.

VILELA, H.H.; SOUSA, B.M.L.; SANTOS, M.E.R.; SANTOS, A.L.; ASSIS, C.Z.; ROCHA, G.O.; FARIA, B.D.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Forage mass and structure of piatã grass deferred at different heights and variable periods. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.41, p.1625-1631, 2012.

VON WIRÉN, N.; GAZZARRINI, S.; FROMMER, W.B. Regulation of mineral nitrogen uptake in plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.196, p.191-199, 1997.

WALLANDER, H.; ARNEBRANT, K.; OSTRAND, F.; KAREN, O. Uptake of <sup>15</sup>N-labelled alanine, ammonium and nitrate in *Pinus sylvestris* L. ectomycorrhiza growing in forest soil treated with nitrogen, sulphur or lime. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.195, p.329-338, 1997.

WANG, L.; MACKO, S.A. Constrained preferences in nitrogen uptake across plant species and environments. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.34, p.525-534, 2011.

WICKERT, S.; MARCONDES, J.; LEMOS, M.V.; LEMOS, E.G.M. Nitrogen assimilation in citrus based on CitEST data mining. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v.30, p.810-818, 2007.

YUAN, Z.; LIU, W.; NIU, S.; WAN, S. Plant nitrogen dynamics and nitrogen-use strategies under altered nitrogen seasonality and competition. **Annals of Botany**, London, v.100, p.821-830, 2007.

## 6 CONCLUSÕES GERAIS

As gramíneas forrageiras estudadas mostraram diferenciação dos aspectos metabólicos, nutricionais e produtivos, quando submetidas à alta e baixa doses de nitrogênio. No baixo suprimento de nitrogênio, os cultivares Marandu, Xaraés, Piatã, Basilisk e Mombaça mantiveram o número de perfilhos constante e diminuíram o número de folhas e a área foliar. O cultivar Tanzânia manteve o número de perfilhos e área foliar constantes e reduziu o número de folhas, na baixa dose de nitrogênio. Os cultivares Aruana e Massai aumentaram o número de perfilhos e de folhas e reduziram a área foliar, nessa mesma dose de nitrogênio. Na baixa dose de nitrogênio, os capins Marandu, Xaraés, Piatã, Basilisk, Aruana e Massai priorizaram o crescimento do sistema radicular, enquanto Mombaça e Tanzânia mantiveram similar proporção da massa seca a alta dose de nitrogênio.

Os cultivares Marandu e Piatã concentraram mais nitrogênio, nitrato e amônio nos tecidos, enquanto os cultivares Mombaça e Tanzânia possuíram baixa concentração e alto conteúdo de nitrogênio, nitrato e amônio na parte aérea e raízes. Todos os cultivares tiveram mais alta proporção de nitrogênio nas raízes quando colocados na condição de baixa disponibilidade de nitrogênio. Xaraés, Marandu e Piatã priorizaram o nitrato no sistema radicular, nas duas doses de nitrogênio, enquanto os cultivares de *Panicum* aumentaram muito a proporção de nitrato no sistema radicular somente em condição de restrição do nutriente. A maior proporção de amônio permaneceu no sistema radicular dos cultivares, tanto em alta dose quanto em baixa dose de nitrogênio, porém os cultivares Marandu, Xaraés e Basilisk sempre mantiveram maior proporção de amônio na parte aérea do que os demais capins. Essas diferenças refletiram na mais alta eficiência de uso do nitrogênio pelos cultivares Mombaça e Tanzânia.

A assimilação do nitrato ocorreu preferencialmente na parte aérea dos quatro cultivares, tendo Mombaça e Aruana elevada atividade da enzima nitrato redutase e glutamina sintetase nessa parte da planta. A concentração de aminoácidos totais nas folhas diagnósticas foi mais elevada nos cultivares Mombaça e Aruana, quando submetidos à alta dose de nitrogênio. Nos cultivares de *Brachiaria*, a concentração de amônio nas raízes foi mais elevada na baixa dose de nitrogênio, enquanto a atividade da enzima glutamina sintetase e a concentração de aminoácidos totais livres foram mais elevadas nas raízes, nas duas doses de nitrogênio.