

**DINÂMICA DE CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DO CAPIM-MARANDU  
SUBMETIDO A DOSES DE NITROGÊNIO**

**JOÃO DE DEUS GOMES DOS SANTOS JUNIOR**

Dissertação apresentada à Escola Superior de  
Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de  
São Paulo, para obtenção do título de Mestre em  
Agronomia, Área de Concentração: Solos e  
Nutrição de Plantas.

PIRACICABA  
Estado de São Paulo - Brasil  
Novembro - 2001

**DINÂMICA DE CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DO CAPIM-MARANDU  
SUBMETIDO A DOSES DE NITROGÊNIO**

**JOÃO DE DEUS GOMES DOS SANTOS JUNIOR**

Engenheiro Agrônomo

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

Dissertação apresentada à Escola Superior de  
Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de  
São Paulo, para obtenção do título de Mestre em  
Agronomia, Área de Concentração: Solos e  
Nutrição de Plantas.

PIRACICABA

Estado de São Paulo - Brasil

Novembro - 2001

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

Santos Junior, João de Deus Gomes dos  
Dinâmica de crescimento e nutrição do capim-marandu submetido a doses de nitrogênio / João de Deus Gomes dos Santos Junior. - - Piracicaba, 2001.  
79 p.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2001.  
Bibliografia.

1. Capim marandu 2. Crescimento vegetal 3. Fertilizantes nitrogenados 4. Nutrição vegetal I. Título

CDD 633.2

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

Aos meus pais

JOÃO e VALENTINA

A minha irmã e cunhado

TATIANA e MARCOS

Aos meus sobrinhos

MARCOS VINICIUS, OKSANA e ALEXANDRA

pelo amor, apoio e incentivo

OFEREÇO e DEDICO

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Francisco Antonio Monteiro, pela orientação, amizade e confiança.

Aos Professores Quirino Augusto de Camargo Carmello e Antonio Roque Dechen, pela ajuda e constante incentivo.

Aos colegas de curso José Lavres Junior e Roberto Wagner Cavalcanti Raposo, pela amizade e ajuda na condução do experimento.

Às funcionárias do Laboratório de Nutrição de Plantas Lurdes Aparecida Dário de Gonzáles, Nivanda Maria de Moura Ruiz, Lúcia Helena Spessotto Pavan Forti, Edinéia Cristina Scervino Mondoni e Sueli Maria Amaral Campos Bovi, pela amizade e apoio na realização das análises químicas.

Aos estagiários de Nutrição Mineral de Plantas Priscila, Cristiane, Dilney, Jussiara, Miriam, Simeire, Rafael, Mateus, Humberto e Tiago, pela amizade e auxílio na condução do experimento.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

## **DINÂMICA DE CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DO CAPIM-MARANDU SUBMETIDO A DOSES DE NITROGÊNIO**

Autor: JOÃO DE DEUS GOMES DOS SANTOS JUNIOR  
Orientador: Prof. Dr. FRANCISCO ANTONIO MONTEIRO

### **RESUMO**

O objetivo do trabalho foi avaliar os atributos nutricionais e de crescimento do capim-Marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) submetido a doses de nitrogênio e idades de crescimento. Entre os nutrientes, o nitrogênio destaca-se pelo incremento que é capaz de proporcionar na produção de forragem. O estudo da dinâmica do crescimento e nutrição do capim-Marandu constitui ferramenta importante para o aumento da produção e qualidade dessa planta forrageira. O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação, em solução nutritiva, utilizando sílica como substrato. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos ao acaso, com os tratamentos combinados em fatorial 5x6, com quatro repetições. O capim-Marandu foi submetido a doses de nitrogênio de 28, 112, 210, 294 e 378 mg L<sup>-1</sup> e avaliado nas idades de crescimento de 21, 28, 35, 42, 49 e 56 dias após a emergência. As soluções apresentaram proporção constante NO<sub>3</sub><sup>-</sup>:NH<sub>4</sub><sup>+</sup> de 70%:30% e foram trocadas semanalmente a partir da primeira idade de crescimento. As doses de nitrogênio e as idades de crescimento interagiram significativamente (P<0,05) em todos os atributos nutricionais e de crescimento do capim-Marandu, com exceção do comprimento radicular específico e da taxa de assimilação líquida.

As doses de nitrogênio em cada idade de crescimento apresentaram efeito significativo ( $P < 0,05$ ) na produção de massa seca total, massa seca radicular, número de perfilhos, área foliar, comprimento radicular, superfície radicular, concentração de nitrogênio, valor SPAD, razão de área foliar e taxa de crescimento relativo do capim-Marandu. As doses de nitrogênio necessárias para a obtenção da máxima produção de massa seca variaram entre 257 e 304  $\text{mg L}^{-1}$  em função das idades de crescimento. A concentração crítica de nitrogênio determinada nas lâminas de folhas recém-expandidas foi influenciada significativamente ( $P < 0,01$ ) pelas idades de crescimento e variou entre os valores de 33,8 e 12,8  $\text{g kg}^{-1}$ . Os valores SPAD correspondentes às concentrações críticas de nitrogênio foram de 45,0; 45,7; 49,5; 50,2; 45,7 e 35,3 aos 21, 28, 35, 42, 49 e 56 dias, respectivamente.

## **GROWTH DYNAMIC AND NUTRITION OF MARANDU GRASS GROWN IN NITROGEN RATES**

Author: JOÃO DE DEUS GOMES DOS SANTOS JUNIOR

Adviser: Prof. Dr. FRANCISCO ANTONIO MONTEIRO

### **SUMMARY**

The objective of this research was to examine nutritional and growth attributes of Marandu grass (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) under nitrogen rates and growth ages. Among the nutrients, nitrogen stand out by its effects in promoting forage yield. The study of growth dynamic and nutrition of Marandu grass is a important tool to promote the production and quality of this forage plant. The experiment was carried out in glasshouse conditions, with nutrient solution using ground quartz as substrate. The experimental design used was a complete randomized block design, with treatments arranged in a 5x6 factorial, with four replications. The Marandu-grass was grown in nitrogen rates of 28, 112, 210, 294 and 378 mg L<sup>-1</sup> and it was evaluated at the ages of 21, 28, 35, 42, 49 and 56 days after seedling emergence. The nutrient solution was prepared with a constant NO<sub>3</sub><sup>-</sup>:NH<sub>4</sub><sup>+</sup> proportion of 70%:30% and was replaced once a week after the first growth age. Nitrogen rates and growth ages interaction was significant (P<0.05) for all nutritional and growth attributes of Marandu-grass, with exception for the mean net assimilation rate and specific root length. The nitrogen rates in each growth age showed significant effects (P<0.05) on the



total dry matter yield, roots dry mass, number of tillers, leaf area, root length, root surface area, nitrogen concentration, SPAD value, leaf area ratio and relative growth rate of Marandu grass. Maximum dry matter production was estimated to occur at nitrogen rates between 257 and 304 mg L<sup>-1</sup>, depending on plant age. The critical nitrogen concentration determined in the most recently expanded leaf lamina was significantly ( $P < 0.01$ ) influenced by plant ages and ranged from 33.8 to 12.8 g kg<sup>-1</sup>. SPAD values at the critical nitrogen concentration rates were 45.0; 45.7; 49.5; 50.2; 45.7 and 35.3 for growth periods of 21, 28, 35, 42, 49 and 56 days, respectively.

## 1 INTRODUÇÃO

O capim-Marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) possui ampla disseminação e uso no Brasil, apresentando bom desempenho produtivo na maioria dos solos, embora expresse seu melhor potencial em solos de fertilidade média a alta.

O padrão de acúmulo de massa seca das plantas forrageiras pode ser descrito por uma curva do tipo sigmóide, onde o acúmulo de forragem ocorre inicialmente com baixas taxas, mas crescentes, que atingem o seu valor máximo, para em seguida sofrerem uma inflexão, estabilizando a produção de forragem. O que se busca é atingir mais rapidamente a fase em que as plantas apresentam maior taxa de crescimento. Para as gramíneas tropicais o manejo do fósforo e do nitrogênio é importante, por serem esses os nutrientes mais limitantes ao estabelecimento, perfilhamento e manutenção dos patamares de produtividade das plantas.

A análise de atributos nutricionais, morfológicos e fisiológicos do crescimento de plantas forrageiras em função do tempo e de condições do meio permite uma visão mais consciente de sua curva de produção e de acúmulo de biomassa. Também contribui para o entendimento dos mecanismos de adaptação das espécies a estresses nutricionais.

A análise de crescimento é um método que descreve as condições nutricionais e morfofisiológicas das plantas a intervalos de tempo entre duas amostragens sucessivas, e que se propõe a acompanhar a dinâmica da produção fotossintética, avaliada através da acumulação de massa seca. É metodologia importante no estudo do desenvolvimento de plantas e permite

interpretar as diferenças de crescimento entre plantas devidas ao genótipo e às condições de ambiente.

Entender como as espécies forrageiras se comportam ou adaptam a condições de deficiência nutricional e qual o seu requerimento ao longo de períodos de crescimento é importante porque os nutrientes quase nunca estão presentes em quantidades adequadas à produção da planta forrageira.

A hipótese desse trabalho é a de que doses de nitrogênio, idades de crescimento e a interação entre ambos afetam os atributos nutricionais e de crescimento da espécie estudada.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos nutricionais e de crescimento do capim-Marandu em função de cinco doses nitrogênio e seis idades de crescimento, em solução nutritiva.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Aspectos gerais da planta forrageira

As pastagens cultivadas tiveram grande incremento no Brasil a partir dos anos 70 com a introdução de espécies cultivadas, permitindo um aumento substancial na taxa de lotação de 0,2 unidade animal ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> nas pastagens nativas para 1,0 unidade animal ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> nas pastagens cultivadas, podendo atingir capacidade de suporte superior a 3,0 unidades animal ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> nos primeiros anos de implantação da pastagem e com tendência de queda após alguns anos de exploração. Estima-se que no Brasil Central Pecuário, acrescido do oeste da Bahia e norte do Mato Grosso, existam cerca de 50 milhões de hectares de pastagens cultivadas (Macedo, 1995).

Se por um lado as pastagens cultivadas permitiram um aumento na produtividade de carne, por outro, o sistema solo-planta-animal também passou a ser mais exigido. A dimensão da área de pastagens cultivadas e seu potencial produtivo carregam um problema de magnitude proporcional e estima-se que a área de pastagens degradadas ou em processo de degradação atinja mais de 50% das pastagens cultivadas (Barcellos, 1996; Zimmer et al., 1994).

A evolução da pecuária no Brasil, nas mais recentes décadas, está estritamente ligada a pastagens do gênero *Brachiaria*. Esse gênero é o grande componente das pastagens brasileiras (Leite & Euclides, 1994). As espécies desse gênero foram e continuarão sendo um marco ainda não superado e que têm muito ainda a oferecer à produção animal brasileira (Barcellos, 1996). Não há dados estatísticos precisos sobre a importância relativa de cada uma das

espécies de pastagens cultivadas. Porém, segundo Macedo (1995), a espécie *Brachiaria brizantha* ocupa uma área de 9,6 milhões de hectares, que corresponde a cerca de 20% da área ocupada por pastagens cultivadas.

O capim-Marandu é um cultivar de *Brachiaria brizantha*. Em 1977 esta gramínea foi fornecida para a EMBRAPA/CNPGC, Campo Grande, MS, tendo sido incluída no processo de avaliação de plantas forrageiras. A EMBRAPA/CPAC, Planaltina, DF, recebeu esse cultivar em 1979. Após anos de estudo e avaliações foi lançado em 1984 como mais um cultivar alternativo para a diversificação das áreas de pastagens (Nunes et al., 1985).

O capim-Marandu é originário da África tropical, podendo atingir até 1,5 a 2,5 m de altura quando em crescimento livre. Produz perfilhos predominantemente eretos e as lâminas foliares são linear-lanceoladas, largas e longas, com pubescência apenas na face inferior e esparsamente pilosas na face ventral e glabras na face dorsal (Nunes et al., 1985). Apresenta ampla adaptação climática até 3000 m de altitude. A temperatura ideal para crescimento é de 30 a 35° C, a temperatura mínima é de 15°C e apresenta boa tolerância ao frio (Skerman & Riveros, 1990). Tem sido recomendada para solos de média a boa fertilidade, tolerando condições de acidez moderada.

## **2.2 Nitrogênio na planta**

O aumento da produção de forragem tem como promotor a adequada disponibilidade de nutrientes, dentre os quais se destaca o nitrogênio, principalmente em pastagens cultivadas (Monteiro & Werner, 1977; Werner, 1986).

O nitrogênio é o nutriente mais exigido pelas culturas. Por ser um elemento afetado por uma dinâmica complexa e que não deixa efeitos residuais diretos das adubações, o manejo adequado da adubação nitrogenada é dos mais difíceis (Raij, 1991). A atmosfera possui aproximadamente 78% de

nitrogênio, principalmente na forma de  $N_2$ , e é a fonte natural do elemento para a biosfera. O  $N_2$  é uma fonte natural gasosa e não diretamente aproveitada pelas plantas. Para tal, há necessidade de uma transformação prévia para as formas combinadas,  $NH_4^+$  (amônio) e  $NO_3^-$  (nitrato). Os principais processos responsáveis pela fixação do  $N_2$  atmosférico para as formas combinadas são a fixação biológica, a industrial e a atmosférica.

Os tecidos vegetais apresentam concentrações de nitrogênio que variam de 10 a 50  $g\ kg^{-1}$ . Nitrato e amônio são as principais fontes inorgânicas de nitrogênio absorvidas pelas plantas superiores, e a maior absorção de uma forma em relação à outra é acompanhada por variações de pH do meio. O meio ácido inibe a absorção do  $NH_4^+$  e favorece a de  $NO_3^-$  enquanto que em pH neutro/alcalino, o contrário é observado, possivelmente devido a efeitos competitivos do  $H^+$  e  $OH^-$  bombeados para fora da célula através do mecanismo associado à atividade de ATPases de membranas no processo de absorção ativa de cátions e ânions (Marschner, 1995). Assim, a absorção de  $NO_3^-$  estimula a absorção de cátions, enquanto que a absorção de  $NH_4^+$  pode restringi-la.

O nitrogênio é facilmente redistribuído na planta via floema e, conseqüentemente, as plantas deficientes em nitrogênio apresentam os sintomas primeiramente nas folhas velhas. A proteólise nessas condições e a redistribuição dos aminoácidos resulta no colapso dos cloroplastos e assim ocorre um decréscimo no conteúdo de clorofila. A longevidade das folhas pode ser bastante modificada pela falta de nitrogênio, já que esse elemento, sendo móvel, desloca-se para partes novas da planta, provocando senescência precoce das partes mais velhas (Corsi, 1994).

Cerca de 90% do nitrogênio total da planta encontra-se na forma orgânica e é assim que desempenha as funções como componente de compostos de baixo peso molecular e de macromoléculas. Os aminoácidos livres dão origem a outros aminoácidos e às proteínas e, por conseqüência, às enzimas e coenzimas; são precursores de hormônios vegetais – triptofano do

AIA e metionina do etileno; compõem núcleos porfirínicos – clorofila e citocromos e atuam como reserva de nitrogênio nas sementes – asparagina e arginina (Faquin, 1994).

Nos compostos orgânicos o nitrogênio aparece na forma reduzida ( $\text{NH}_3$ ). Como é absorvido preferencialmente como  $\text{NO}_3^-$  (oxidado), deve haver uma redução antes da incorporação a compostos orgânicos. Duas enzimas são envolvidas nesse processo, a redutase do nitrato ( $\text{RNO}_3^-$ , contém Fe e Mo) e a redutase do nitrito ( $\text{RNO}_2^-$ , contém Fe). A  $\text{RNO}_3^-$  catalisa a primeira reação ( $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^-$ ), a qual ocorre no citoplasma. A segunda reação ( $\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NH}_3$ ), que ocorre nos cloroplastos, é catalisada pela  $\text{RNO}_2^-$ . Uma vez reduzido, o nitrogênio sob a forma de  $\text{NH}_3$  entra no metabolismo, gerando principalmente aminoácidos.

### 2.3 Nitrogênio no crescimento das plantas forrageiras

Qualquer nutriente poderá limitar a produtividade das pastagens, porém os macronutrientes, como consequência da demanda e exportação pelas plantas, e pelas concentrações originalmente baixas no solo, têm merecido maior atenção. Entre os nutrientes, o nitrogênio destaca-se pelos incrementos que é capaz de proporcionar na produção de forragem e animal, graças a peculiaridades dos ruminantes em relação ao aproveitamento da fração nitrogenada não ligada às proteínas e à demanda para a digestão da fração fibrosa da forragem (Corsi, 1972). Quando expresso em termos de proteína bruta, sua concentração é um dos indicadores de valor nutritivo da forragem, o qual é menor com a idade ou a maturidade da planta forrageira podendo, também, ser incrementado pelas adubações nitrogenadas (Boin, 1986).

Monteiro et al. (1995) cultivaram o capim-Marandu em solução nutritiva tendo como tratamentos a solução nutritiva completa e as omissões individuais de N, P, K, Ca, Mg e S. As omissões de N e P foram as mais restritivas à

produção de massa seca e ao número de perfilhos, e corresponderam às omissões onde primeiro foram detectados sintomas visuais de deficiência.

A concentração de minerais na planta forrageira é influenciada pelo genótipo, idade, estágio fenológico, ritmo de crescimento, disponibilidade de nutrientes e fração da planta considerada (Corsi & Silva, 1985). As gramíneas tropicais podem responder a doses de nitrogênio de até 1800 kg ha<sup>-1</sup> (Vicente-Chandler, 1973). O estudo do metabolismo do nitrogênio e de outros elementos que influenciam seu metabolismo constitui ferramenta importante para o aumento da produção e qualidade das plantas forrageiras.

O efeito do nitrogênio no perfilhamento depende da luminosidade, da disponibilidade hídrica e do estágio de desenvolvimento da planta quando da aplicação do fertilizante. Este nutriente deverá estar disponível no período em que a planta estimula todos os sítios de crescimento para reconstituição da parte aérea (Corsi, 1986). O perfilhamento responde positivamente à disponibilidade de nutrientes, sendo o nitrogênio o nutriente que mais afeta a densidade populacional de perfilhos (Langer, 1963; Laude, 1972; Pinto, 1982; Pinto et al., 1994; Ryle, 1970). O maior perfilhamento tem importância na recuperação de pastos degradados, já que pode influir na produção de massa seca por unidade de área ou significar melhor ocupação do terreno.

A produção de forragem após a desfolha é definida tanto pelo número, como pela massa de cada perfilho. A dinâmica na densidade populacional de perfilhos decorre do balanço entre aparecimento e morte dos mesmos. Na estação de crescimento as condições favoráveis inicialmente permitem o intenso desenvolvimento das gemas, definindo elevada densidade populacional de perfilhos, porém, com a elevação do índice de área foliar, instala-se a competição por luz, reduzindo a densidade populacional de perfilhos (Andrade, 1987). Abreu (1994) relatou aumentos no número de perfilhos, na produção de massa seca da parte aérea e na concentração de nitrogênio total da parte aérea e nas raízes dos capins Marandu e Tanzânia como consequência do fornecimento de doses de nitrogênio.



Sob alta densidade populacional, a massa de perfilhos é o fator mais importante no aumento da produção. A relação inversa entre massa de perfilhos e a sua densidade é mostrada em diversos trabalhos (Pinto et al., 1994; Skinner & Nelson, 1994). À medida que ocorre o desenvolvimento da planta forrageira, o aumento na massa dos perfilhos já existentes assume papel de destaque na produção. Esse padrão de variação da contribuição relativa dos componentes da produção forrageira pode ser esperado em qualquer gramínea (Gomide, C., 1997). Corsi (1984), trabalhando com a espécie *Panicum maximum*, constatou que a massa média de perfilhos foi o fator de mais alta correlação com a produção.

A adubação nitrogenada mantém maior concentração de nutrientes digestíveis na matéria seca e maior proporção folha:colmo. Isso ocorre porque a carência de nitrogênio promove o secamento e morte prematura das folhas, o que é de extrema importância em condições tropicais, onde o crescimento promove rápida queda no valor nutritivo (Corsi, 1975).

Haag et al. (1967) observaram que a concentração de nitrogênio em *Panicum maximum* decresceu com a idade, apresentando valores de 21, 17, e 11 g kg<sup>-1</sup> na planta inteira, aos 28, 56 e 84 dias de crescimento, respectivamente. Em experimento conduzido em Manaus com *Brachiaria humidicola* analisada aos 14, 21, 28, 35, 42, 49 e 56 dias de idade, Italiano & Silva (1982) observaram que a concentração de proteína bruta decresceu de 81 g kg<sup>-1</sup> aos 14 dias para 63 g kg<sup>-1</sup> aos 56 dias, enquanto que a produção de massa seca aumentou de 17 kg ha<sup>-1</sup> para 2754 kg ha<sup>-1</sup>. Rosa et al. (1982) estudaram o capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) aos 60, 90 e 120 dias de crescimento e descreveram decréscimo na concentração de proteína bruta com aumento da idade, sendo este mais acentuado de 60 a 90 dias.

Santos (1997), trabalhando com doses de nitrogênio no capim-braquiária, obteve como concentração crítica de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas os valores de 22,0 e 14,5 g kg<sup>-1</sup> para o primeiro e o segundo cortes, respectivamente. As concentrações críticas obtidas por

Colozza (1998) em *Panicum maximum* nas lâminas de folhas recém-expandidas foram de 18,8 e 21,6 g kg<sup>-1</sup> para o cultivar Aruana e de 20,8 e 22,9 g kg<sup>-1</sup> para o cultivar Mombaça no primeiro e segundo cortes, respectivamente. Já Abreu (1999), cultivando capim-Marandu submetido a doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, obteve a concentração crítica de 38,6; 23,2 e 13,2 g kg<sup>-1</sup> aos 14, 28 e 42 dias de crescimento na rebrota do capim nas lâminas de folhas recém-expandidas. No crescimento inicial obteve-se correlação significativa entre concentração de nitrogênio nas folhas recém-expandidas e produção de massa seca da parte aérea somente aos 42 dias de crescimento. Nesse estágio a concentração crítica foi de 8,5 g kg<sup>-1</sup>, valor menor que aqueles obtidos por Hoffmann (1992) (21 g kg<sup>-1</sup>) e Santos (1997) (22 g kg<sup>-1</sup>) para o capim-braquiária. Schiavuzzo et al. (2000), cultivando o capim-Marandu em solução nutritiva, obtiveram concentração crítica de 19,0 g kg<sup>-1</sup> nas lâminas de folhas recém-expandidas aos 41 dias de crescimento, sendo esse valor próximo ao obtido por Santos (1997) no capim-braquiária.

Alvim et al. (1990) compararam a produção de forragem de cinco acessos do gênero *Brachiaria* submetidos a três doses de nitrogênio (0, 75 e 150 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). Na ausência de nitrogênio o capim-Marandu apresentou a menor produção anual de forragem, enquanto que dois acessos de *Brachiaria* mostraram as maiores produções. Entretanto, o capim-Marandu foi o mais responsivo à adubação nitrogenada, tendo maior eficiência na adubação, definida como unidades de massa seca produzidas por unidade de nutriente aplicado.

Santos (1997) estudou a diagnose nutricional e a resposta do capim-braquiária a doses de nitrogênio, e relatou que a concentração de nitrogênio de 210 mg L<sup>-1</sup> na solução nutritiva, dose correspondente a solução completa de Sarruge (1975), não foi suficiente para a expressão do máximo potencial produtivo da planta forrageira quando a solução foi trocada a cada 14 dias. As lâminas de folhas recém-expandidas mostraram-se as mais indicadas para a avaliação do estado nutricional em nitrogênio.

Devido à relação existente entre concentração de nitrogênio total e concentração de clorofila nas folhas (Girardin et al., 1985), esse atributo tem sido utilizado para avaliar o estado nutricional das plantas com relação ao nitrogênio, assim como para a determinação da necessidade de adubações nitrogenadas adicionais. A determinação indireta da concentração de clorofila em algumas culturas vem sendo feita através do aparelho "Chlorophyll Meter" SPAD-502. Esse clorofilômetro expressa os resultados em valores de unidade SPAD. Algumas vantagens do uso do medidor de clorofila são: a) a leitura que indica a concentração de nitrogênio adequada (concentração crítica) não é afetada pelo consumo de luxo desse nutriente, pois a planta não produz clorofila além do que necessita, mesmo quando em presença de excesso de nitrogênio; b) não necessidade de envio de amostras para análise em laboratório, economizando tempo e dinheiro; c) o procedimento é não destrutivo (Malavolta et al., 1997).

Colozza (1998), trabalhando com duas espécies de *Panicum maximum*, destacou que os valores SPAD nas folhas em expansão e nas lâminas de folhas recém-expandidas variaram com as doses de nitrogênio segundo um modelo quadrático, e atingiram valores máximos com a aplicação de nitrogênio de 235 e 255 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Abreu (1999), correlacionando leituras do valor SPAD com concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Marandu, obteve coeficientes de correlação de 0,73; 0,80 e 0,92 para amostragens realizadas aos 14, 28 e 42 dias do crescimento na rebrota do capim, respectivamente. Para o capim-Tanzânia, os coeficientes de correlação foram de 0,79; 0,89 e 0,90, respectivamente, para os mesmos períodos de crescimento. Os valores SPAD correspondentes à concentração crítica de nitrogênio no capim-Marandu nas lâminas de folhas recém-expandidas foram de 21,8; 38,6 e 34,5, respectivamente para as avaliações realizadas aos 14, 28 e 42 dias de rebrota. No capim-Tanzânia esses valores foram de 41,8; 40,4 e 27,0, respectivamente.

O nitrogênio é um fator nutricional limitante para o crescimento das plantas e essas apresentam vários mecanismos para incrementar a eficiência no uso desse nutriente. Mecanismos de absorção, assimilação e mobilização evitam a perda de nitrogênio e gasto de energia. Esses mecanismos são resultado da adaptação progressiva das plantas às condições de baixa disponibilidade de nitrogênio (Fernandes & Rossiello, 1995).

A pastagem, após a sua formação, não sofre tratamento físico ou mecânico, razão pela qual, dependendo do manejo empregado, pode ocorrer redução na aeração do solo e na atividade dos microorganismos provocando, assim, redução na mineralização da matéria orgânica. Dessa forma, a planta pode ser privada de sua maior fonte de nitrogênio e ter sua capacidade de desenvolvimento e produção de biomassa reduzidos. Esse fato pode ser um dos responsáveis pelo atual estado de degradação das pastagens de braquiária no Brasil Central (Soares Filho, 1991).

As espécies do gênero *Brachiaria* estão adaptadas a uma grande variedade de solos, desde os de baixa até os de alta fertilidade. Comparativamente a outras espécies, desempenham melhor em solos ácidos (Rao et al., 1993; Salinas & Saif, 1990). Diversos atributos radiculares e de crescimento podem contribuir para a adaptação aos solos ácidos e de baixa fertilidade das espécies *Brachiaria dictyoneura* cv. Llanero, *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, *Brachiaria humidicola* e *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (Rao et al., 1992). Rao et al. (1996a), comparando o crescimento dessas quatro espécies submetidas a duas doses de NPK, descreveram que a queda na produção de biomassa da parte aérea na dose mais baixa esteve associada ao declínio na área foliar e na relação folha:colmo. A área foliar específica, que é a medida da área foliar por unidade de massa seca da folha, foi menor para a Humidicola e a Llanero relativamente à Marandu e à Basilisk. O crescimento radicular foi menos afetado na dose baixa de fertilizante relativamente à parte aérea, indicando que um possível atributo de adaptação seriam mudanças na partição de carbono de acordo com as condições do meio.

A relação raízes:parte aérea da Llanero e da Humidicola foi significativamente maior do que da Marandu e da Basilisk.

Condições de baixa disponibilidade de nitrogênio favorecem o aumento da relação raízes:parte aérea, consequência de um crescimento relativo maior do sistema radicular em relação à parte aérea. Entretanto, o sistema radicular de uma planta bem suprida em nitrogênio é maior que numa planta deficiente nesse nutriente. Os mecanismos envolvidos no crescimento do sistema radicular estão relacionados com o acúmulo de carboidratos na ausência de nitrogênio, tanto na parte aérea como nas raízes, já que esses carboidratos não podem ser usados na formação de novos tecidos. O nitrogênio absorvido tenderia a reagir com os carboidratos do sistema radicular, beneficiando este em detrimento da parte aérea (Brouwer, 1962). Torey (1950) e Bosemark (1954) explicaram o efeito do nitrogênio no crescimento radicular através do aumento na concentração de auxinas nas raízes de plantas que receberam nitrogênio. Os aminoácidos livres são precursores de hormônios vegetais – triptofano do ácido indolacético e metionina do etileno. A auxina causaria a inibição do crescimento no ápice das raízes e estimularia o crescimento lateral.

Robinson & Rorison (1985), cultivando as gramíneas *Holcus lanatus* e *Deschampsia flexuosa* submetidas a doses de nitrogênio de 4 e 58 mg kg<sup>-1</sup>, em casa-de-vegetação, verificaram que o crescimento de *Deschampsia flexuosa* não foi limitado pela dose baixa de nitrogênio. Os autores atribuíram esse comportamento a um baixo potencial de taxa de crescimento relativo, a uma baixa demanda de nitrogênio quando comparada com *Holcus lanatus* e a interações do sistema radicular com a parte aérea, compensando o estresse nutricional. Diferenças significativas no comprimento radicular total entre as duas doses de nitrogênio para a espécie *Holcus lanatus* somente foram encontradas na primeira idade de avaliação. *Deschampsia flexuosa* não apresentou diferenças significativas no comprimento radicular entre as doses de nitrogênio ao longo do seu período de crescimento.

Boot & Mensink (1990), discutindo diferenças interespecíficas e resposta fenotípica em atributos radiculares de *Deschampsia flexuosa*, *Festuca ovina*, *Festuca rubra*, *Holcus lanatus* e *Molinia caerulea* submetidos a doses de nitrogênio, encontraram diferenças entre espécies. Espécies provenientes de solos férteis apresentaram relação raízes:parte aérea mais alta nas doses altas de nitrogênio comparativamente àquelas provenientes de solos menos férteis. Todas as espécies apresentaram um aumento na relação raízes:parte aérea quando submetidas a condições de deficiência de nitrogênio. O comprimento radicular específico (comprimento de raízes por unidade de massa radicular seca), a área radicular específica (área de raízes por unidade de massa radicular seca), o diâmetro radicular médio e a frequência de aparecimento de raízes finas não foram afetados significativamente pelas doses de nitrogênio.

#### **2.4 Análise quantitativa do crescimento**

O fundamento da análise de crescimento é a medida seqüencial da acumulação de matéria orgânica e a sua determinação é feita considerando a massa seca da planta. Por ser um procedimento destrutivo, as plantas tomadas como amostra, a cada tempo, devem representar a população em estudo a fim de que técnicas estatísticas apropriadas possam ser utilizadas (Benincasa, 1988).

A determinação da área foliar é importante porque as folhas são as principais responsáveis pela captação da energia solar e pela produção de matéria orgânica através da fotossíntese. Se a superfície foliar é conhecida e a alteração da massa seca da planta, durante certo período de tempo, é calculada, torna-se possível avaliar a eficiência das folhas e sua contribuição para o crescimento da planta (Magalhães, 1985).

O sistema radicular é outro componente importante no estudo do crescimento de plantas. Os estudos sobre crescimento radicular devem ser

feitos através da avaliação das características das raízes como massa, comprimento e área, no tempo e no espaço, em conjunto com os fatores de ambiente que influenciam a sua distribuição (Bhom, 1979).

A análise de crescimento destina-se à avaliação da produção líquida das plantas derivada do processo fotossintético, e é o resultado do desempenho do sistema assimilatório em determinadas condições de ambiente, durante um certo período de tempo. Os atributos avaliados são: a) razão de área foliar (RAF): área foliar por unidade de massa de toda a planta ( $\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$ ); b) área foliar específica (AFE): área foliar por unidade de massa de folhas ( $\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$ ); c) razão de massa foliar (RMF): massa das folhas por unidade de massa da planta inteira ( $\text{g g}^{-1}$ ); d) taxa de crescimento relativo (TCR): incremento de massa por unidade de massa da planta inteira por unidade de tempo ( $\text{g g}^{-1}/\text{dia}$ ); e) taxa de assimilação líquida (TAL): incremento de massa da planta por unidade de área foliar por unidade de tempo ( $\text{g dm}^{-2}/\text{dia}$ ); f) taxa de crescimento absoluto (TCA): incremento de massa da planta por unidade de tempo ( $\text{g}/\text{dia}$ ) (Beadle, 1993; Benincasa, 1988; Hunt, 1990; Radford, 1967).

Variações de fatores ambientais, principalmente luz e temperatura, são as maiores responsáveis por mudanças nos valores dos atributos de crescimento. O nitrogênio parece ser o nutriente que mais influencia as características de crescimento. Ryle (1970) relatou que o aumento de peso da matéria seca de *Dactylis glomerata* em resposta a dose de nitrogênio foi devido ao aumento na taxa de assimilação líquida da planta.

Gomide & Gomide (1999), trabalhando com os capins Mombaça, Tanzânia e Vencedor em seis idades de crescimento, encontraram diferenças entre os cultivares quanto aos valores de RAF aos 17 dias de crescimento. As variações na AFE foram as principais causas das mudanças na RAF. Os cultivares não diferiram quanto a TAL, mas diferiram quanto a TCR na fase inicial de estabelecimento. Posteriormente, os cultivares equivaleram-se quanto aos valores desses atributos de crescimento. O padrão de variação revelou elevados valores nas primeiras semanas, exibiu acentuada queda entre a

terceira e quinta semana e, em seguida, tendeu à estabilidade. Os autores encontraram valores de TCR extremamente elevados na primeira idade de crescimento (17 dias), não condizentes com resultado algum na literatura, possivelmente por terem determinado valores instantâneos (análise funcional) daqueles atributos, como sugeriu Radford (1967). Esse procedimento alternativo envolve a derivação de funções matemáticas ajustadas para representar as variações de área foliar e massa seca das plantas em função do tempo. Nesse caso, a validade das curvas derivadas (TCR e TAL) depende da escolha das funções que representam massa seca e área foliar em função do tempo, e da precisão do ajuste dessas curvas aos dados experimentais. Calbo et al. (1989), comparando modelos e estratégias para a análise de crescimento, sugeriram cautela na análise funcional devido à dificuldade em estabelecer as funções matemáticas que representem adequadamente o crescimento da planta.



### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Local e época**

O experimento foi realizado em condições de casa-de-vegetação, no Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP, Piracicaba, São Paulo.

A espécie *Brachiaria brizantha* cv. Marandu foi submetida a cinco doses de nitrogênio e avaliada em seu crescimento nas idades de 21, 28, 35, 42, 49 e 56 dias após a emergência, no período entre 04 de novembro e 30 de dezembro de 2000. As médias e respectivos desvios das temperaturas máxima, mínima e média foram de  $39,9 \pm 0,56$ ;  $21,6 \pm 0,28$  e  $30,8 \pm 0,35^{\circ}\text{C}$ , respectivamente.

#### **3.2 Instalação e condução do experimento**

As sementes foram colocadas para germinar em recipientes plásticos contendo areia lavada em água corrente e posteriormente em água destilada. Vasos plásticos com capacidade de 3,6 L foram preenchidos com sílica apresentando granulometria em torno de 3 mm de diâmetro e livre de impurezas.

Quinze plântulas foram transplantadas em cada vaso seis dias após a emergência, adicionando-se 1 L da solução nutritiva correspondente a cada dose em estudo. Foram realizados desbastes periódicos até permanecerem cinco plantas por vaso em 19 de novembro de 2000. As soluções foram

circuladas três vezes ao dia e trocadas semanalmente a partir da primeira idade de crescimento. Durante o período do experimento, a cada três dias, os vasos eram remanejados dentro de cada bloco.

### 3.3 Delineamento experimental, tratamentos e soluções nutritivas

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos ao acaso, com os tratamentos combinados em arranjo fatorial do tipo 5x6 (cinco doses de nitrogênio e seis idades de crescimento), com quatro repetições (Gomes, 2000).

Foram utilizadas doses de nitrogênio correspondentes a 28, 112, 210, 294 e 378 mg L<sup>-1</sup> na solução nutritiva. As soluções foram preparadas a partir da proposta por Sarruge (1975), devidamente modificadas para as cinco doses de nitrogênio utilizadas (Tabela 1) e com relação NO<sub>3</sub><sup>-</sup>:NH<sub>4</sub><sup>+</sup> constante em torno de 2,33 (70% nitrato e 30% amônio).

Tabela 1. Volume das soluções-estoque empregadas no preparo de um litro das soluções nutritivas para as doses de nitrogênio estudadas.

Solução estoque	Doses de N (mg L <sup>-1</sup> )				
	28	112	210	294	378
	-----mL-----				
KNO <sub>3</sub> 1 mol L <sup>-1</sup>	0,8	3,2	5	5	5
Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 1 mol L <sup>-1</sup>	---	---	0,5	1,7	2,9
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> 1 mol L <sup>-1</sup>	0,6	2,4	4,5	6,3	8,1
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> 1 mol L <sup>-1</sup>	1	1	1	1	1
KCl 1 mol L <sup>-1</sup>	4,2	1,8	---	---	---
CaCl <sub>2</sub> 1 mol L <sup>-1</sup>	5	5	4,5	3,3	2,1
MgSO <sub>4</sub> 1 mol L <sup>-1</sup>	2	2	2	2	2
Micro - Fe*	1	1	1	1	1
Fe-EDTA**	1	1	1	1	1

\* Solução 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>=0,04 e H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O=0,02.

\*\* 26,1 g de EDTA dissódico em 286 mL de NaOH 1 mol L<sup>-1</sup>, misturando-se com 24,0g de FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, completando 1 L com água deionizada.

### **3.4 Coleta do material vegetal**

Por ocasião da colheita, em cada idade de crescimento, foi realizada a contagem do número de perfilhos. As plantas foram cortadas rente à superfície do substrato, sendo feita a separação da parte aérea em:

- a) folhas emergentes (FE): folhas não completamente expandidas, ou seja, sem lígula visível;
- b) lâminas de folhas recém-expandidas (LR): lâminas das duas folhas recém-expandidas, com lígula visível;
- c) lâminas de folhas maduras (LM): lâminas das demais folhas, com lígula visível;
- d) colmos + bainhas (CB): colmos + bainhas das folhas.

Devido ao pouco crescimento, as plantas com idade de 21 dias após a emergência foram separadas em lâminas de folhas recém-expandidas e colmos + bainhas, enquanto aquelas com idade de 28 dias tiveram a separação em lâminas de folhas recém-expandidas, lâminas de folhas maduras e colmos + bainhas.

O sistema radicular foi recuperado mediante lavagem de toda a sílica do vaso com água corrente sobre um conjunto de peneiras com malhas de 1,00 e 0,25 mm de diâmetro. As frações da parte aérea e o sistema radicular das plantas foram acondicionadas em sacos de papel e secados em estufa a 60° C até massa constante.

### **3.5 Determinações no material vegetal**

#### **3.5.1 Massa seca**

A produção de massa seca de cada componente da parte aérea e das raízes foi avaliada através de pesagem direta do material colhido, após secagem em estufa. A relação parte aérea:raízes foi calculada através da razão

entre a massa seca da parte aérea a massa seca das raízes de cada unidade experimental.

### **3.5.2 Sistema radicular e área foliar**

O comprimento e a superfície das raízes, assim como a área das lâminas foliares foram determinados através do uso de imagens digitalizadas das raízes e das folhas de cada combinação de dose de nitrogênio e idade da planta, utilizando-se o aplicativo SIARCS (Crestana et al., 1994). O comprimento radicular específico foi calculado pela razão entre o comprimento e a massa seca das raízes de cada unidade experimental.

A partir da idade de 35 dias, em função da grande quantidade de material, apenas uma fração das lâminas foliares e das raízes foi medida. Os valores totais foram obtidos através de regra de três direta entre os valores da sub-amostra e sua massa seca com a massa seca total de lâminas foliares ou de raízes de cada vaso.

### **3.5.3 Concentração de nitrogênio**

A determinação da concentração de nitrogênio total em cada componente da parte aérea e nas raízes seguiu a metodologia de Sarruge & Haag (1974), com a digestão sulfúrica do material vegetal. Estimou-se a concentração ou dose de nitrogênio associada à obtenção de 90% da produção de massa seca (concentração crítica), conforme Ulrich & Hills (1973).

### **3.5.4 Estimativa da concentração de clorofila**

A determinação da concentração de clorofila foi efetuada de forma indireta, utilizando-se o aparelho Chlorophyll meter SPAD 502 (Soil Plant Analysis Development Section, Minolta Camera Co., Osaka, Japan) para

tomada de leituras de valor SPAD nas amostras de LR. As leituras foram realizadas no dia da colheita, em cada idade, na porção média da segunda LR do perfilho principal de cada planta. Foram realizadas cinco leituras para se obter as médias dos valores referentes a cada unidade experimental.

### 3.6 Análise de crescimento

Os atributos de crescimento TCA, TCR, TAL, RAF, AFE e RMF, foram calculados com base nos valores de massa seca total da planta, área foliar total e massa seca das folhas (Benincasa, 1988). Dessa forma obteve-se:

$$TCA = \frac{M_2 - M_1}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

$$TCR = \frac{\ln M_2 - \ln M_1}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

$$TAL = \frac{M_2 - M_1}{t_2 - t_1} \times \frac{\ln A_2 - \ln A_1}{A_2 - A_1} \quad (3)$$

$$RAF = \frac{A}{M} \quad (4)$$

$$AFE = \frac{A}{Mf} \quad (5)$$

$$RMF = \frac{Mf}{M} \quad (6)$$

onde:

$M_2 - M_1$  = diferença entre a massa seca total das plantas de cada unidade experimental colhidas em duas amostragens sucessivas;

$t_2 - t_1$  = número de dias decorridos entre as duas amostragens;

$A_2 - A_1$  = diferença entre a área foliar total das plantas de cada unidade experimental em duas amostragens sucessivas;

$A$  = área foliar total de cada unidade experimental;

$M$  = massa seca total de cada unidade experimental;

$M_f$  = massa seca das folhas de cada unidade experimental;

$\ln$  = logaritmo natural ( $\ln = \text{logaritmo decimal} \times 2,302585$ )

### 3.7 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância através do procedimento GLM, utilizando-se o aplicativo SAS (SAS Institute, 1989), para verificar a significância do efeito das doses e das idades de crescimento nos atributos avaliados.

Equações de regressão foram ajustadas aos valores da massa seca das raízes e total, número de perfilhos, valor SPAD, área foliar, comprimento radicular, comprimento radicular específico, superfície radicular, relação parte aérea:raízes, taxa de crescimento absoluto, taxa de crescimento relativo, taxa de assimilação líquida, razão de área foliar, área foliar específica, razão de massa foliar e concentração de nitrogênio no tecido vegetal, a fim de descrever suas variações em função das idades da planta, das doses de nitrogênio ou de suas interações (Gomes, 2000).

Aos valores das concentrações críticas e das doses de nitrogênio que proporcionaram a produção máxima das variáveis-resposta foram ajustadas equações de regressão em função das idades de crescimento utilizando como resíduo o quadrado médio dos desvios da regressão, sendo o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) calculado pela razão entre a soma de quadrados da regressão e a soma de quadrados total (Gomes, 2000).

A escolha do modelo de regressão foi feita com base no coeficiente de determinação ( $R^2$ ), na significância da regressão e de seus coeficientes, testados pelo teste F a 5% de probabilidade, e pela lógica biológica da variável em estudo.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Crescimento do capim-Marandu em função de doses de nitrogênio e idades de crescimento**

A interação entre doses de nitrogênio e idades de crescimento foi significativa ( $P < 0,01$ ) para as variáveis-resposta massa seca total, massa seca radicular, área foliar, número de perfilhos, comprimento radicular, superfície radicular e relação parte aérea:raízes.

#### **4.1.1 Massa seca total e área foliar**

As idades de crescimento, em cada dose de nitrogênio, afetaram significativamente ( $P < 0,01$ ) a produção de massa seca do capim-Marandu. Essa variável seguiu um modelo quadrático de regressão (Figura 1).

O incremento em massa seca foi acompanhado de aumento da área foliar ( $P < 0,01$ ), que variou segundo modelo quadrático nas doses de nitrogênio de 28 e 112 mg L<sup>-1</sup> e linear nas doses de 210, 294 e 378 mg L<sup>-1</sup> (Figura 2).

Gomide, C. (1997), estudando três cultivares de *Panicum maximum*, encontrou incrementos na produção de massa seca e área foliar em função do número de dias de crescimento que seguiram modelo quadrático de regressão, com altos coeficientes de correlação, como os encontrados no presente estudo.

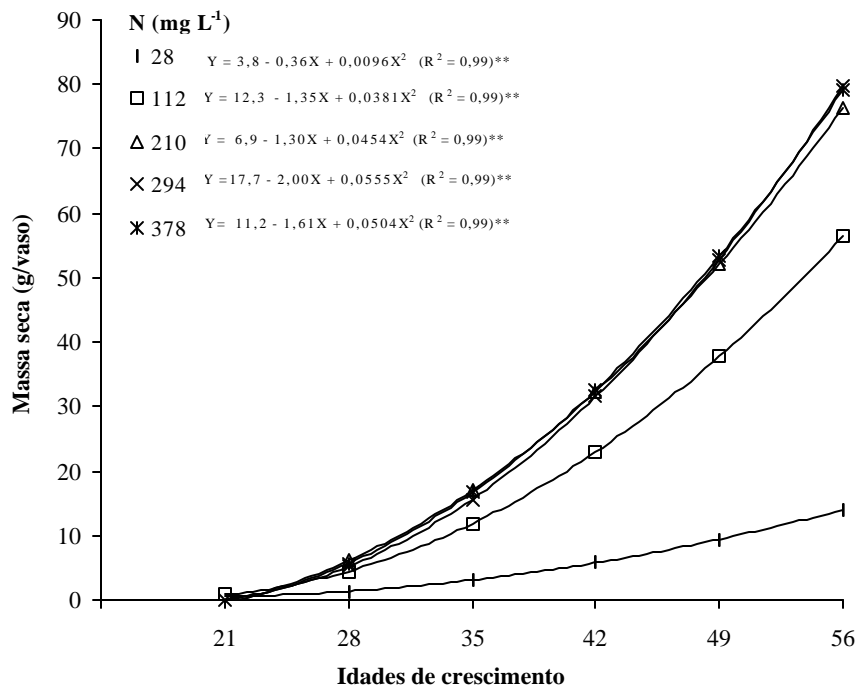


Figura 1 - Produção de massa seca total do capim-Marandu submetido a cinco doses de nitrogênio, em função de idades de crescimento.

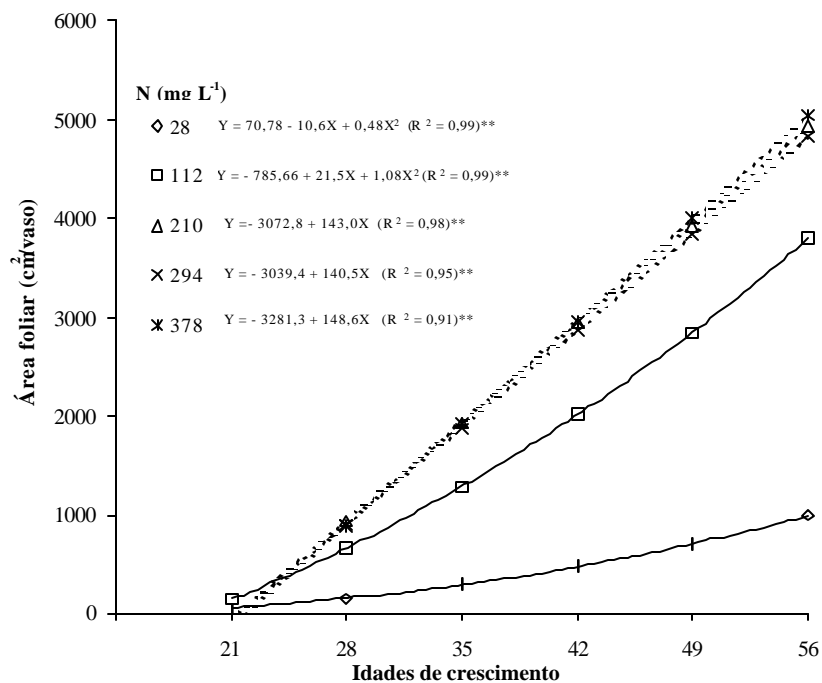


Figura 2 - Área foliar do capim-Marandu submetido a cinco doses de nitrogênio, em função de idades de crescimento.



Tanto a produção de massa seca como de área foliar foram alteradas pelas doses de nitrogênio ( $P < 0,01$ ). Essas duas variáveis seguiram modelo quadrático nas seis idades de crescimento estudadas (Figuras 3 e 4). Abreu (1999), trabalhando com doses de nitrogênio em capim-Marandu cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, também obteve comportamento quadrático da produção de massa seca em função das doses de nitrogênio, aos 14, 28 e 42 dias de crescimento. Schiavuzzo et al. (2000), cultivando o capim-Marandu e utilizando doses de nitrogênio de até  $462 \text{ mg L}^{-1}$  em solução nutritiva trocada a cada 14 dias, observaram comportamento linear no incremento de massa seca, aos 41 dias de crescimento.

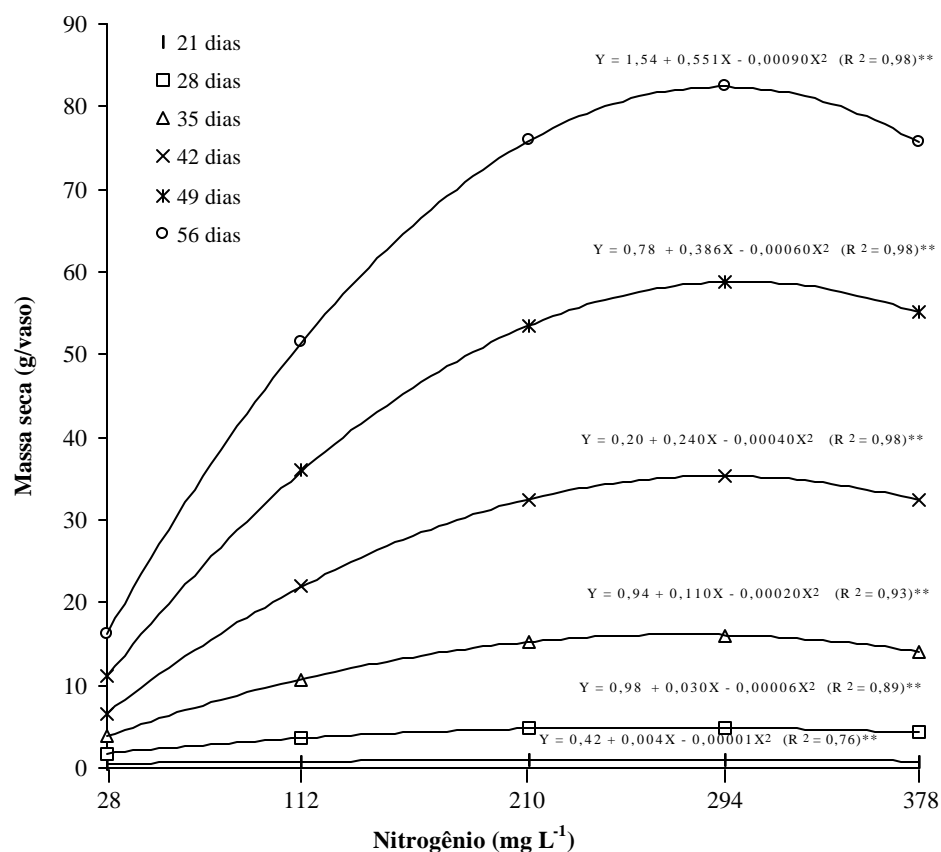


Figura 3 - Produção de massa seca do capim-Marandu, em seis idades de crescimento, em função de doses de nitrogênio.

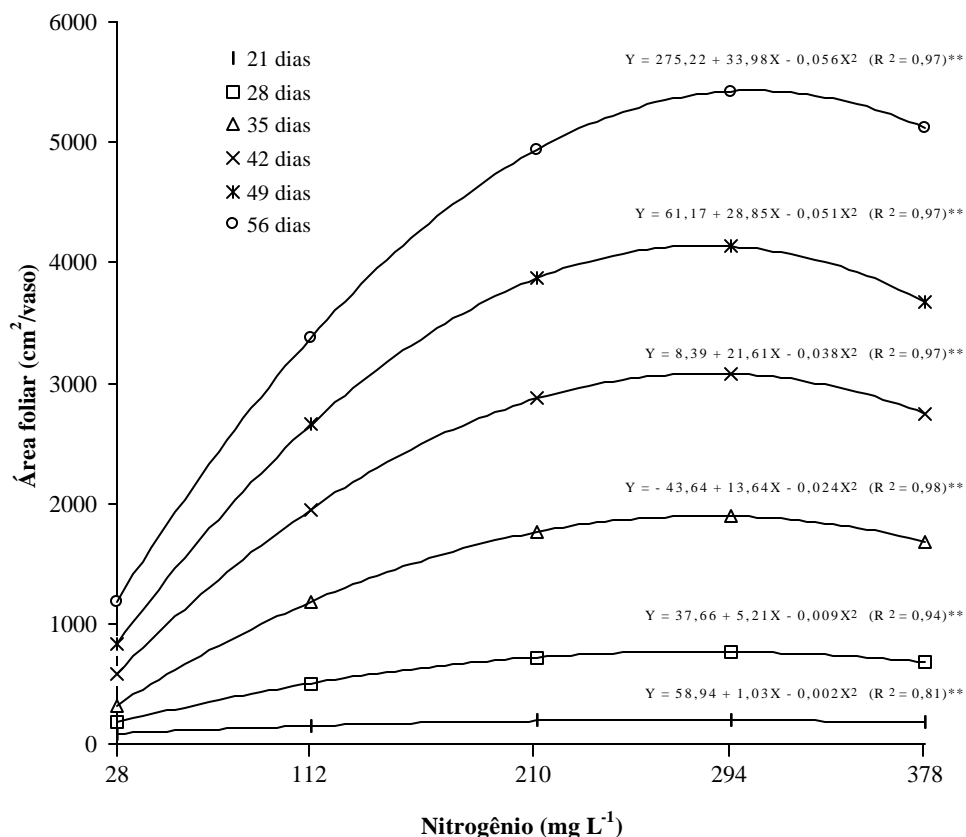


Figura 4 - Área foliar do capim-Marandu, em seis idades de crescimento, em função de doses de nitrogênio.

Ferragine (1998) relatou aumento linear na produção de massa seca da parte aérea do capim-braquiária até a dose de  $434 \text{ mg L}^{-1}$  de nitrogênio, quando a troca das soluções nutritivas utilizadas ocorreu a cada 14 dias.

As doses de nitrogênio necessárias para a obtenção da máxima produção de massa seca aumentaram linearmente entre  $257$  e  $304 \text{ mg L}^{-1}$ , em função das idades de crescimento. As doses necessárias para a maximização da área foliar aumentaram linearmente com o acréscimo nas idades de crescimento do capim e estiveram entre  $277$  e  $296 \text{ mg L}^{-1}$  de nitrogênio (Figura 5).

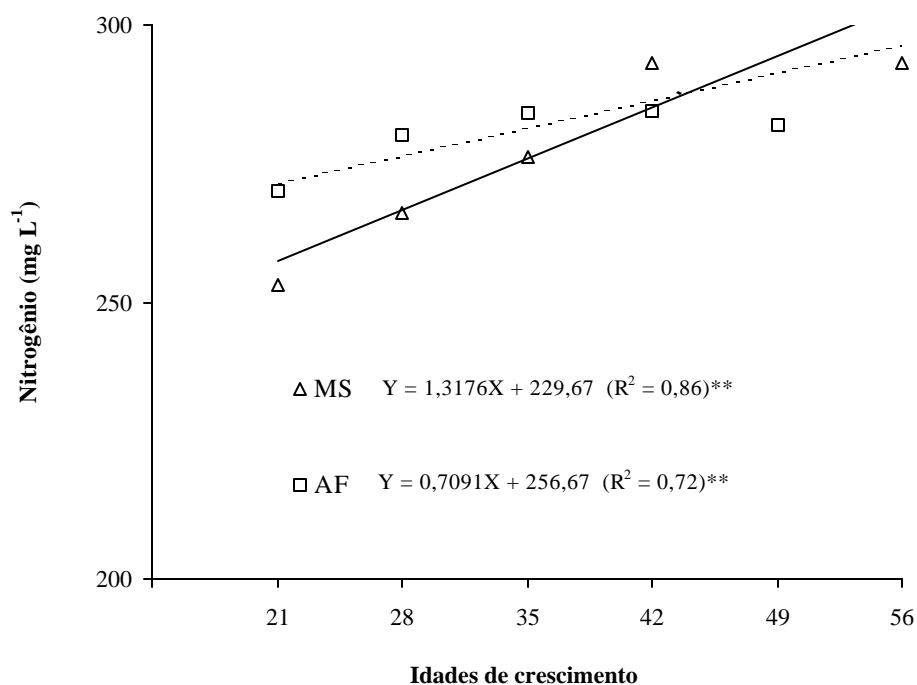


Figura 5 - Dose de nitrogênio necessária para a obtenção da máxima produção de massa seca (MS) e área foliar (AF) do capim-Marandu, em função de idades de crescimento.

Abreu (1999), em cortes realizados aos 14, 28 e 42 dias de crescimento no capim-Marandu, obteve a maximização da produção com aplicações de nitrogênio de 140, 152 e 190  $\text{mg kg}^{-1}$ , respectivamente. O autor explicou que o aumento da dose estimada de nitrogênio para a obtenção do ponto de máxima produção nas idades de crescimento decorreu do fato que o nitrogênio estimulou o aumento da produção e, com isso, houve a necessidade de maior absorção do elemento, sendo uma resposta necessária para manter o equilíbrio entre carbono e nitrogênio, que tem relação na faixa de 10 a 20:1 (Marschner, 1995; Mengel & Kirkby, 1987). Os resultados do presente trabalho concordam com o discutido por esses autores.

Santos (1997) encontrou, para a máxima produção de massa seca do capim-braquiária, valores de nitrogênio de 435 e 433  $\text{mg L}^{-1}$  na solução

nutritiva em cortes realizados aos 39 e 31 dias de crescimento na rebrota após o primeiro corte, sendo que as soluções foram trocadas a cada 14 dias. Hoffmann (1992) obteve máxima produção com  $437 \text{ mg kg}^{-1}$  de nitrogênio em solo.

Santos (1997) destacou que a resposta do capim-braquiária ao nitrogênio indicou que a concentração de nitrogênio de  $210 \text{ mg L}^{-1}$  na solução nutritiva completa de Sarruge (1975) não seria suficiente para atender as exigências para a expressão do máximo potencial produtivo do capim. Os resultados da Figura 5 mostram concordância quanto a esse aspecto, mas deve-se destacar que a dose que maximiza a produção é em função das idades de crescimento e da adição total do nutriente até a avaliação. Werner (1986) relatou que as respostas à adubação nitrogenada diferem em função da espécie, do clima, das doses do nutriente e do manejo das plantas.

Claramente, os resultados apresentados evidenciam, mais uma vez, a importância do nitrogênio no aumento e na manutenção da produtividade da gramínea forrageira.

#### **4.1.2 Número de perfilhos**

O número de perfilhos dentro de cada dose de nitrogênio variou significativamente ( $P < 0,01$ ) em função das idades de crescimento. Na dose de  $28 \text{ mg L}^{-1}$  de nitrogênio essa variação foi quadrática, nas demais doses ocorreu incremento linear com as idades de crescimento (Figura 6).

Gomide, C. (1997), estudando o perfilhamento dos capins Mombaça, Vencedor e Tanzânia, verificou aumento acentuado do número de perfilhos até aproximadamente os 22 dias de crescimento para os três cultivares, estabilizando-se nas idades seguintes. Quando o potencial máximo em número de perfilhos é atingido, a contribuição desses perfilhos para a produção de massa seca passa a ser em termos da massa de cada perfilho. Devido ao aumento linear do número de perfilhos nas doses mais elevadas de

nitrogênio, essa variável resposta apresentou alta correlação com a produção de massa seca total. Os coeficientes de correlação foram significativos ( $P < 0,01$ ) e tiveram valores de 0,81; 0,89; 0,94; 0,92 e 0,93 nas doses de nitrogênio de 28, 112, 210, 294 e 378  $\text{mg L}^{-1}$  na solução, respectivamente.

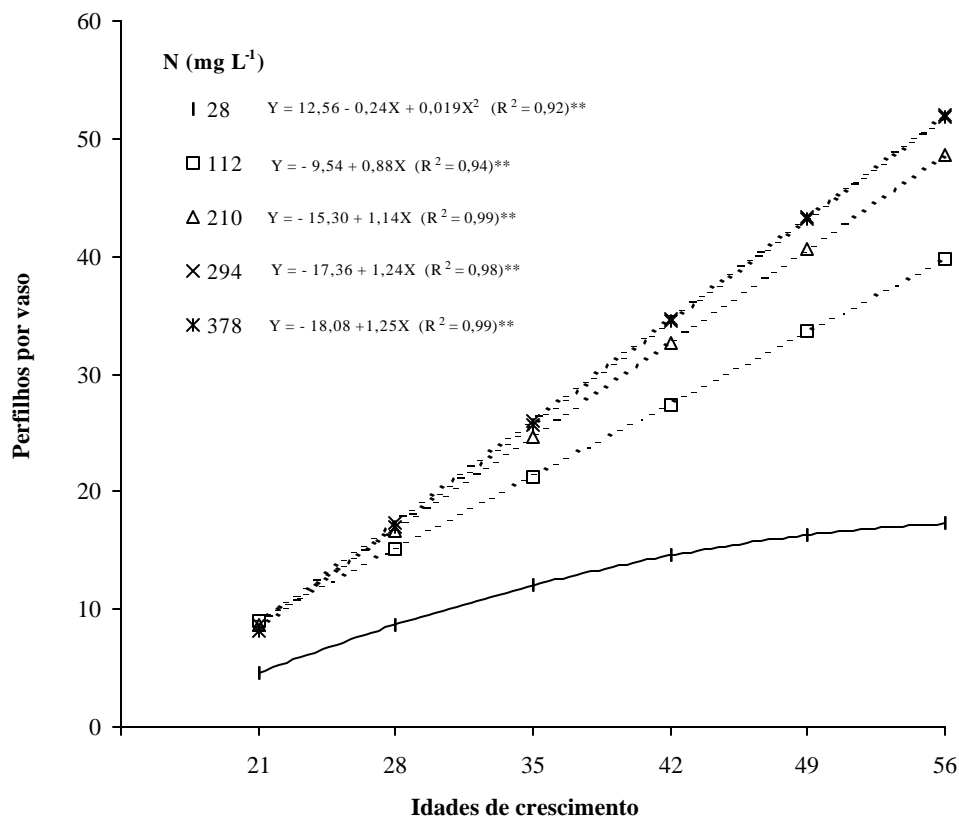


Figura 16 - Número de perfilhos do capim-Marandu submetido a cinco doses de nitrogênio, em função de idades de crescimento.

O número de perfilhos dentro de cada idade de crescimento foi alterado significativamente ( $P < 0,01$ ) pelas doses de nitrogênio. Aos 21 dias de crescimento essa variável aumentou linearmente em função das doses de nitrogênio. Nas demais idades de crescimento o número de perfilhos seguiu modelo quadrático (Figura 7).

Santos (1997) constatou que o número de perfilhos do capim-braquiária aumentou significativamente até a dose de nitrogênio de 378 mg L<sup>-1</sup> em solução nutritiva. Não se verificou diferença entre essa dose e a máxima de 462 mg L<sup>-1</sup>. Esse autor observou menor perfilhamento das plantas quando submetidas a baixas concentrações do nutriente.

Corrêa (1996) observou, nos cultivares Colômbio, Tanzânia e Vencedor de *Panicum maximum*, que o número de perfilhos, no primeiro e no segundo crescimentos, aumentou da dose de nitrogênio de 42 mg L<sup>-1</sup> para 210 mg L<sup>-1</sup>, não diferindo entre as doses 210 e 378 mg L<sup>-1</sup>.

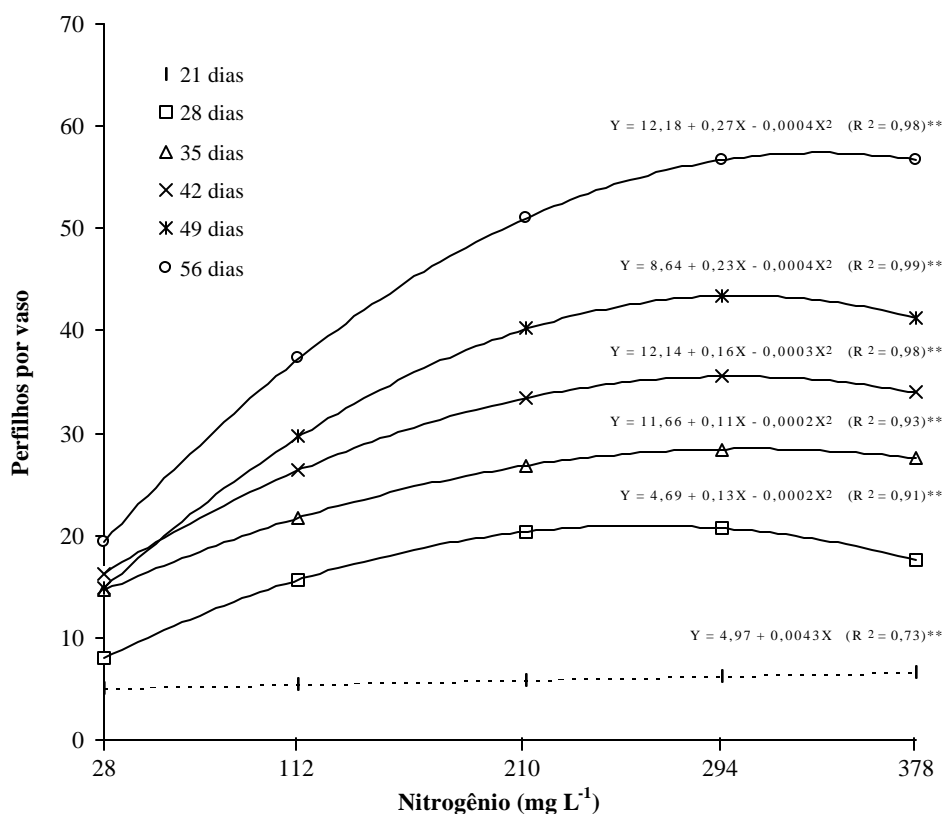


Figura 7 - Número de perfilhos do capim-Marandu, em seis idades de crescimento, em função de doses de nitrogênio.

As doses de nitrogênio necessárias para o máximo número de perfilhos foram de 260, 305, 300, 302 e 336 mg L<sup>-1</sup> nas idades de 28, 35, 42, 49 e 56 dias, respectivamente. Colozza (1998) estudou os capins Aruana e Mombaça e verificou o máximo perfilhamento nas doses de nitrogênio de 150 e 233 mg kg<sup>-1</sup> para o capim-Aruana, e de 149 e 268 mg kg<sup>-1</sup> para o capim-Mombaça, utilizando terra como substrato. Por sua vez, Abreu (1994) relatou para o capim-Tanzânia uma tendência de aumento da quantidade de perfilhos além da dose de nitrogênio de 210 mg L<sup>-1</sup> de solução nutritiva.

#### **4.1.3 Massa seca radicular**

A produção de massa seca radicular, dentro das doses de nitrogênio estudadas, variou significativamente ( $P < 0,01$ ) com as idades de crescimento. O aumento dessa massa foi linear com o incremento nos dias de crescimento nas doses de nitrogênio de 294 e 378 mg L<sup>-1</sup> e seguiu modelo quadrático nas doses de 28, 112 e 210 mg L<sup>-1</sup> (Figura 8).

As doses de nitrogênio, dentro das idades de crescimento, não tiveram significância ( $P > 0,05$ ) na produção de massa seca das raízes do capim-Marandu na idade de crescimento de 21 dias. Nas demais idades avaliadas os resultados mostraram ajustes a equações de regressão quadráticas (Figura 9).

A doses de nitrogênio necessárias para máxima produção foram 235,0; 256,2; 327,2; 358,6 e 303,1 mg L<sup>-1</sup> aos 28, 35, 42, 49 e 56 dias de crescimento, respectivamente. Esses resultados diferem dos obtidos por Abreu (1999), onde aos 42 dias de crescimento foi observado efeito linear negativo das doses de nitrogênio na massa seca das raízes do capim-Marandu. Aos 42 dias de crescimento após a rebrota do capim o autor verificou comportamento quadrático, e a máxima produção calculada foi obtida na dose de nitrogênio de 189 mg kg<sup>-1</sup>.

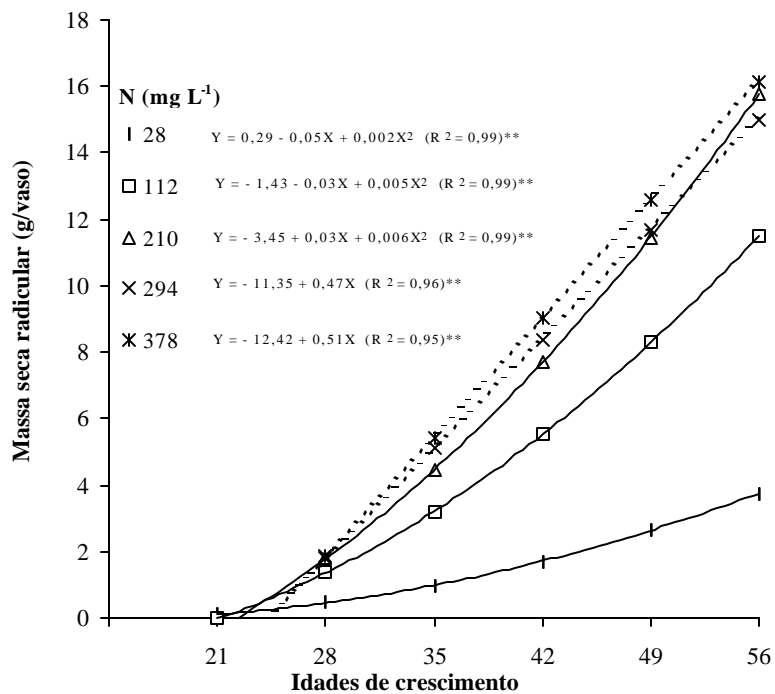


Figura 8 - Massa seca radicular do capim-Marandu submetido a cinco doses de nitrogênio, em função de idades de crescimento.

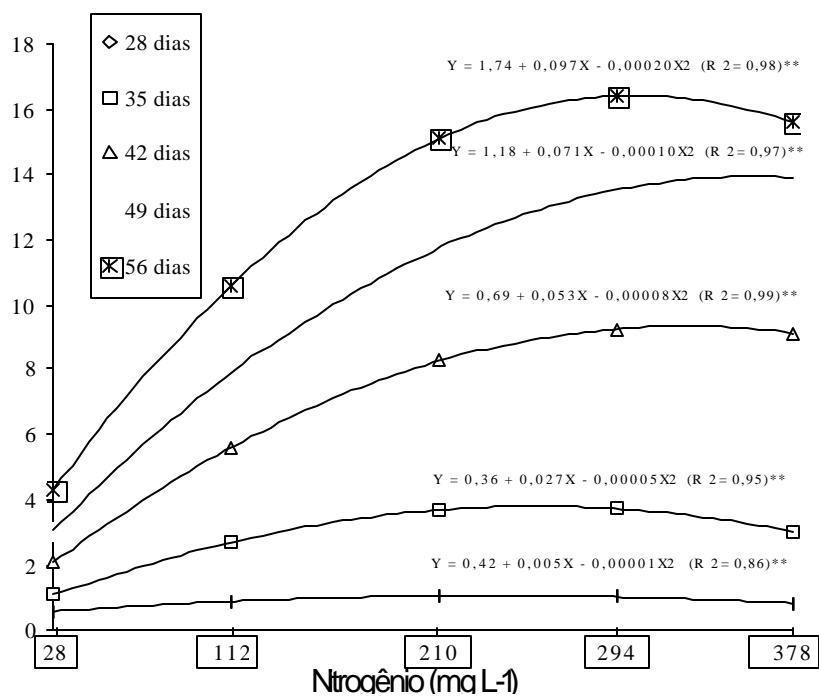


Figura 9 - Massa seca radicular, em cinco idades de crescimento, em função de doses de nitrogênio.



Ferragine (1998) relatou que a máxima produção radicular do capim-braquiária seria obtida com nitrogênio na solução em dose superior à máxima utilizada no experimento e atingiria  $605 \text{ mg L}^{-1}$ . Corrêa & Monteiro (1997) observaram nos capins Colonião, Tanzânia e Vencedor, significância das doses de nitrogênio na produção de massa seca radicular. Santos (1997) verificou a máxima produção de massa seca radicular do capim-braquiária na dose de nitrogênio de  $453 \text{ mg L}^{-1}$ , aos 31 dias de crescimento na rebrota das plantas.

O aumento da produção de massa seca radicular em gramíneas com o aumento da disponibilidade de nitrogênio foi verificado por outros autores (Maizlish et al., 1980; Santos Junior et al., 2001). Contudo, a maior disponibilidade desse nutriente favorece maior crescimento da parte aérea em relação ao sistema radicular (Gleason & Tilman, 1992; Mooney & Winner, 1991; Nabinger, 1997).

#### **4.1.4 Relação parte aérea:raízes**

A relação parte aérea:raízes, dentro de cada dose de nitrogênio e em função de idades de crescimento, não foi alterada significativamente ( $P > 0,05$ ) na dose de nitrogênio de  $378 \text{ mg L}^{-1}$ . Nas demais, o efeito foi significativo ( $P < 0,05$ ), mas somente na dose de nitrogênio de  $210 \text{ mg L}^{-1}$  observou-se um ajuste a uma equação de regressão do segundo grau (Figura 10). Segundo esse modelo a menor relação parte aérea:raízes foi obtida aos 37 dias de crescimento na dose de nitrogênio de  $210 \text{ mg L}^{-1}$ . Boot & Mensink (1990) também verificaram efeito significativo ( $P < 0,01$ ) na relação parte aérea:raízes em função do número de dias de crescimento nas espécies *Deschampsia flexuosa*, *Festuca ovina*, *Festuca rubra*, *Holcus lanatus* e *Molinia caerulea*, submetidas a duas doses de nitrogênio.

Maizlish et al. (1980) estudaram a resposta de milho (*Zea mays*) a doses de nitrogênio e idades de crescimento e verificaram as relações parte

aérea:raízes de 0,9; 1,2; 1,4; 1,5 e 1,7 nas doses de nitrogênio de 0, 21, 42, 105 e 210 mg L<sup>-1</sup>. Aos três dias após a emergência das plântulas a relação era 2,3 mas declinou para 1,0 aos 10 dias e aumentou para 1,3 aos 17 dias. O incremento nas doses de nitrogênio resultou em aumento na área foliar e massa seca da parte aérea e das raízes. Sob o estresse desse nutriente o acúmulo relativo de massa seca no sistema radicular foi maior.

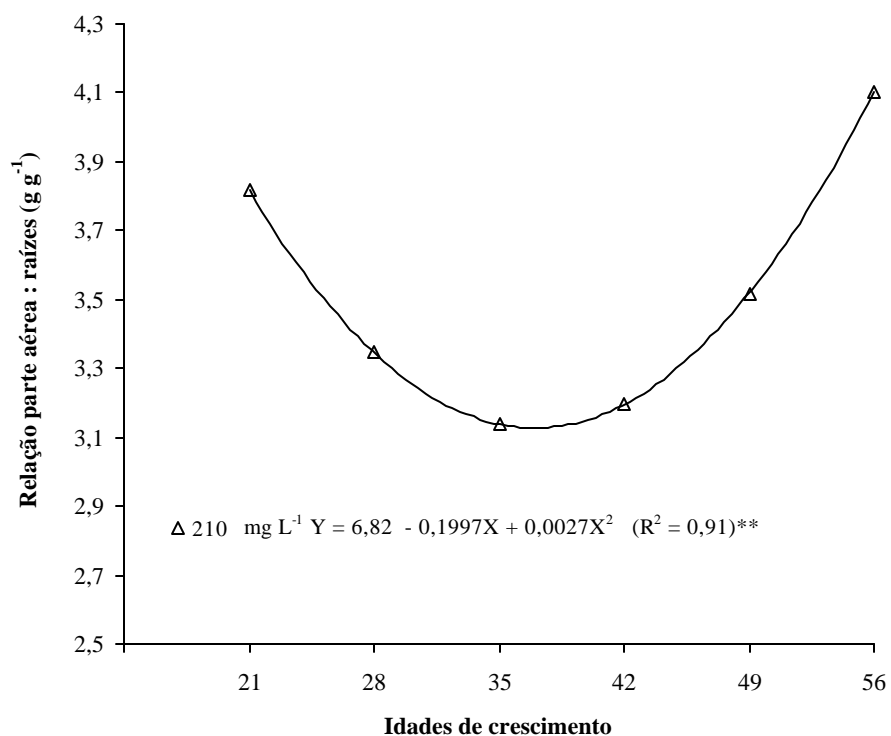


Figura10 - Relação parte aérea:raízes do capim-Marandu, em função do número de dias de crescimento, na dose de nitrogênio de 210 mg L<sup>-1</sup>.

Monteiro et al. (1995) verificaram, em capim-Marandu, que na omissão de nitrogênio as plantas alocaram maior parte da produção de massa seca para o sistema radicular. Os resultados do presente experimento estão de acordo com o daqueles autores. A relação parte aérea:raízes, dentro das

idades de crescimento e em função das doses de nitrogênio, seguiu modelo quadrático nas idades de 28, 42, 49 e 56 dias, mas variou linearmente aos 21 e 35 dias de crescimento (Figura 11). Os máximos valores corresponderam às doses de nitrogênio de 333; 275; 183 e 280 mg L<sup>-1</sup> nas idades de crescimento de 28, 42, 49 e 56 dias, respectivamente.

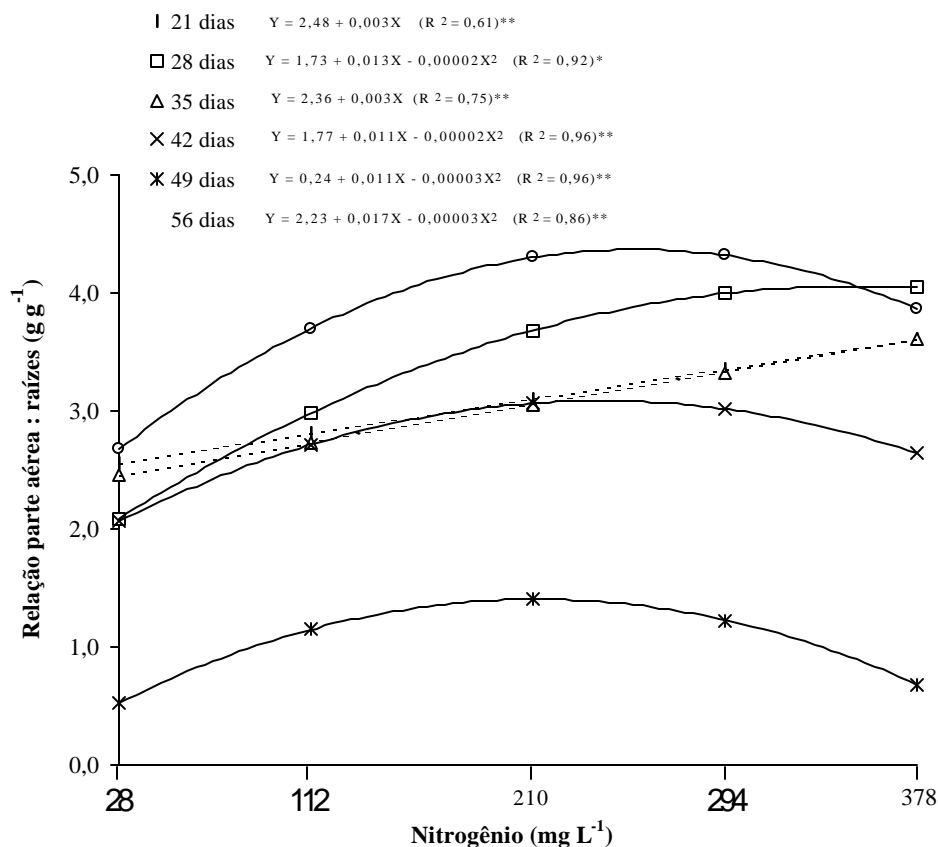


Figura 11 - Relação parte aérea:raízes do capim-Marandú, em seis idades de crescimento, em função de doses de nitrogênio.

Rao et al. (1996b) explicaram a característica das plantas forrageiras tropicais de promover o maior crescimento relativo do sistema radicular em detrimento da parte aérea quando em estresse nutricional como sendo uma adaptação necessária à sobrevivência das espécies. As plantas sob essa condição apresentaram relativa vantagem em absorver nutrientes necessários para manter suas baixas taxas de crescimento, devido à partição de grande

parte de sua biomassa como raízes. Adicionalmente, Schenk et al. (1996) afirmaram que a partição de biomassa entre parte aérea e raízes é controlada pela concentração de nitrogênio na planta.

Rao et al. (1995) estudaram diversas espécies do gênero *Brachiaria* submetidas a doses de N-P-K ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de 0-20-20 e 20-50-100, em dois solos contrastantes em termos de textura (arenoso e argiloso), e relataram que a relação parte aérea:raízes foi menor no solo arenoso. O aumento na fertilidade ocasionou redução na partição de carbono para o sistema radicular. A relação raízes:parte aérea máxima foi observada com a espécie *Brachiaria dictyoneura* no solo arenoso e baixa fertilização. O capim-Marandu apresentou as relações raízes:parte aérea de 1,6 e 1,0 no solo arenoso e 1,1 e 0,8 no argiloso para as doses baixa e alta de N-P-K, respectivamente.

#### 4.1.5 Comprimento e superfície radicular

O comprimento radicular do capim-Marandu, dentro de cada dose de nitrogênio, variou significativamente ( $P < 0,01$ ) em função de idades de crescimento. Essa variação seguiu modelo quadrático na mais alta dose de nitrogênio e linear nas demais doses (Figura 12).

Robinson & Rorison (1985) cultivaram as gramíneas *Holcus lanatus* e *Deschampsia flexuosa* submetidas a doses de nitrogênio de 4 e 58  $\text{mg kg}^{-1}$ , avaliadas aos 14, 28, 42, 56 e 70 dias após a emergência, e relataram comportamento quadrático do comprimento radicular em função das idades de crescimento para *Deschampsia flexuosa* nas duas doses e para *Holcus lanatus* na dose de 58  $\text{mg kg}^{-1}$ . Diferenças no comprimento radicular para as doses de nitrogênio só foram verificadas nas duas primeiras idades de crescimento.

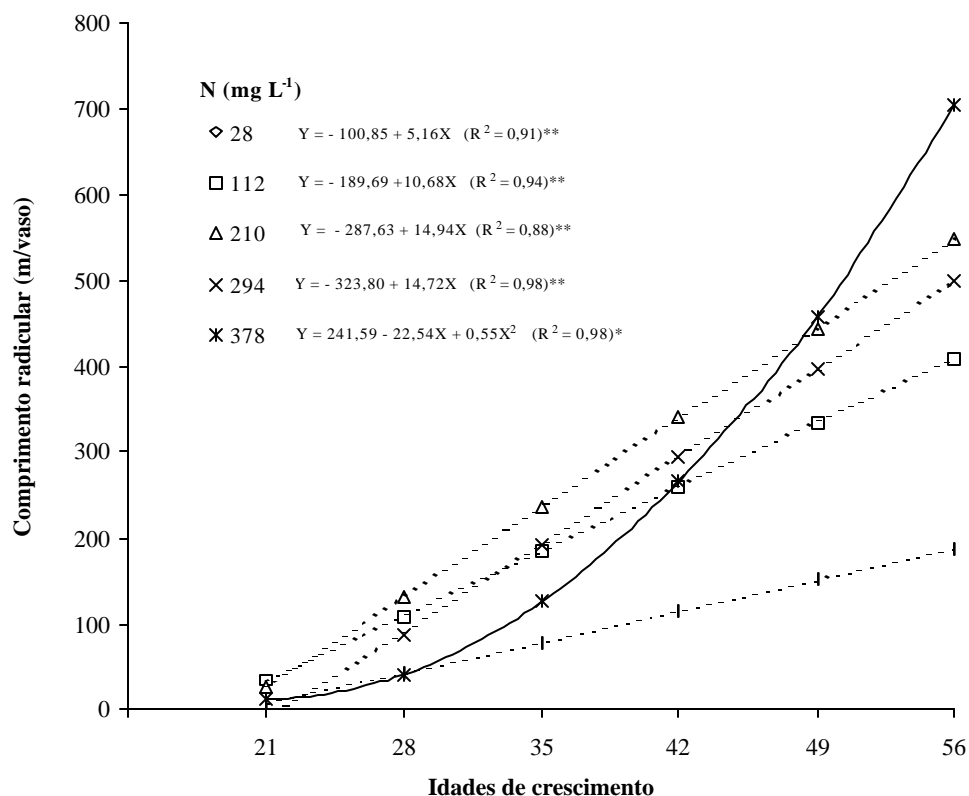


Figura 12 - Comprimento radicular do capim-Marandu submetido a cinco doses de nitrogênio, em função de idades de crescimento.

O comprimento radicular, dentro de cada idade de crescimento e em função das doses de nitrogênio, apresentou efeito significativo ( $P < 0,01$ ). Essa variável seguiu modelo linear de regressão na idade de 56 dias de crescimento e quadrático nas demais idades (Figura 13). Os máximos comprimentos radiculares corresponderam às doses de nitrogênio de 207; 199; 199; 236 e 294 mg L<sup>-1</sup>, nas idades de crescimento de 21, 28, 35,42 e 49 dias, respectivamente.

As idades de crescimento e as doses de nitrogênio não interagiram significativamente ( $P > 0,05$ ) para o comprimento radicular específico. O efeito das doses de nitrogênio, na média das idades de crescimento, foi significativo ( $P < 0,01$ ), da mesma forma que nas idades de crescimento ( $P < 0,01$ ), na média das doses de nitrogênio.

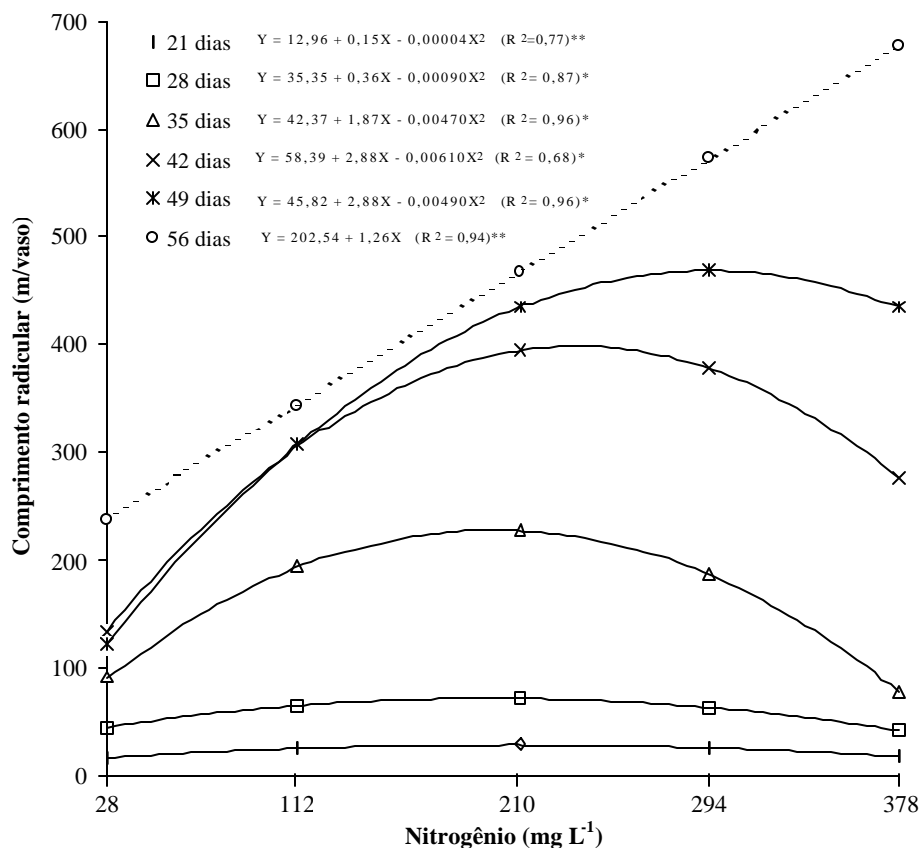


Figura 13 - Comprimento radicular do capim-Marandu, em seis idades de crescimento, em função de doses de nitrogênio.

O comprimento radicular específico fornece indicação do diâmetro ou espessura do sistema radicular (Fitter, 1996). Esse atributo morfológico atingiu valor mínimo de  $36,27 \text{ m g}^{-1}$  de massa seca radicular aos 50 dias de crescimento (Figura 14) indicando aumento na espessura do sistema radicular de acordo com modelo de regressão quadrático, em função das idades de crescimento. Esses resultados estão de acordo com Boot & Mensink (1990).

Robinson & Rorison (1985) destacaram que o comprimento radicular específico foi afetado significativamente pelo número de dias de crescimento, mas essa variação não foi sistemática com o tempo, o que impediu ajuste de alguma função matemática.

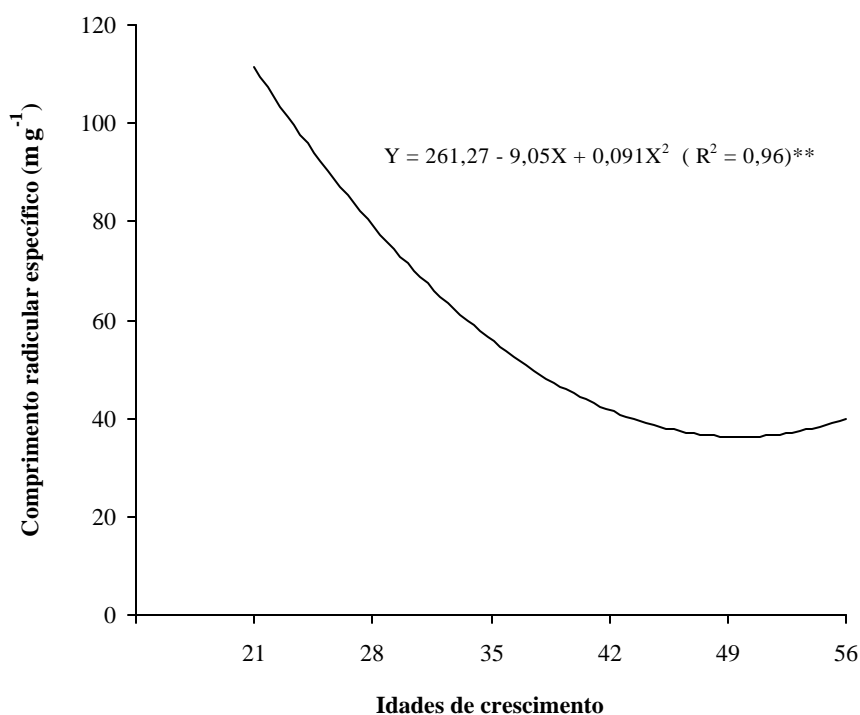


Figura 14 - Comprimento radicular específico do capim-Marandu em função de idades de crescimento, na média de seis doses de nitrogênio.

As doses de nitrogênio alteraram significativamente ( $P < 0,05$ ) o comprimento radicular específico. Essa variável-resposta apresentou baixo e negativo coeficiente de correlação com as doses de nitrogênio ( $r = -0,23$ ;  $P < 0,05$ ). As médias do comprimento radicular específico e seus respectivos desvios foram de  $73,6 \pm 6,12$ ;  $62,9 \pm 7,14$ ;  $66,6 \pm 9,39$ ;  $55,3 \pm 7,35$  e  $47,6 \pm 5,71$  para as doses de nitrogênio na solução de 28, 112, 210, 294 e 378  $\text{mg L}^{-1}$ .

Boot & Mensink (1990) estudaram cinco gramíneas submetidas a duas doses de nitrogênio e não encontraram diferenças entre os comprimentos radiculares específicos quando compararam os valores dessa variável entre as doses de nitrogênio.

Kanno et al. (2001) não encontraram efeito significativo ( $P > 0,05$ ) de doses de nitrogênio no comprimento radicular específico médio dos capins Tanzânia, braquiária e Marandu. Entretanto, o capim-Tanzânia apresentou comprimento radicular específico significativamente maior do que os capins Marandu e braquiária, que não diferiram entre si. O comprimento radicular específico é influenciado mais diretamente pelo fósforo, como se pode concluir dos trabalhos de Rao et al. (1996a) e Kanno et al. (2001).

A superfície radicular do capim-Marandu foi influenciada significativamente ( $P < 0,01$ ) pelas idades de crescimento dentro de cada dose de nitrogênio. A variação foi linear nas doses de nitrogênio de 112 e 210  $\text{mg L}^{-1}$  e seguiu um modelo quadrático nas demais doses (Figura 15).

As doses de nitrogênio, dentro de cada idade de crescimento, alteraram significativamente ( $P < 0,01$ ) a superfície radicular do capim-Marandu. Aos 56 dias de crescimento o aumento na superfície radicular foi linear com o incremento das doses de nitrogênio e nas demais idades de crescimento seguiu modelo quadrático (Figura 16). Os máximos valores de superfície radicular do capim-Marandu corresponderam às doses de nitrogênio de 200; 195; 217; 259 e 312  $\text{mg L}^{-1}$  na solução nutritiva, nas idades de crescimento de 21, 28, 35, 42 e 49 dias, respectivamente.

Bono et al. (2000), em condições de campo, não verificaram diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) na superfície radicular do capim-Tanzânia quando submetido a doses de nitrogênio de 50 e 100  $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

Um sistema radicular com elevados comprimento, superfície e biomassa permitiria um maior contato com o solo, aumentando a eficiência na absorção de nutrientes, principalmente daqueles pouco móveis no solo, como o fósforo. Nesse aspecto, as doses de nitrogênio e as idades de crescimento afetaram significativamente os atributos morfológicos do sistema radicular do capim-Marandu.



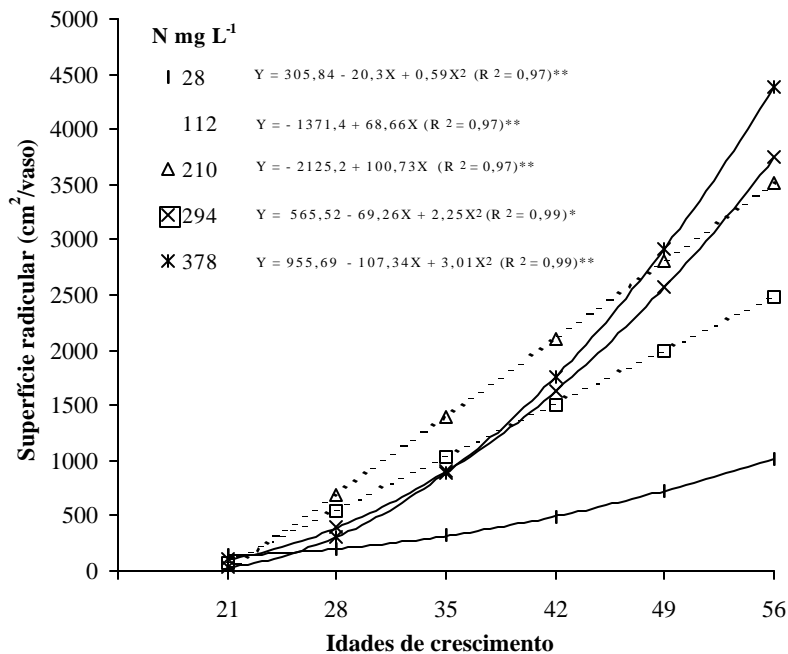


Figura 15 - Superfície radicular do capim-Marandu submetido a cinco doses de nitrogênio, em função de idades de crescimento.

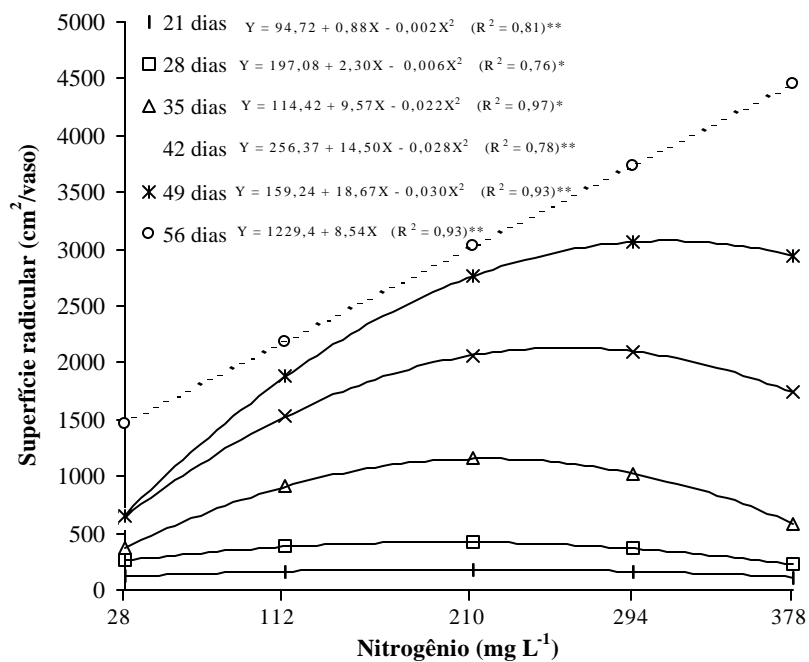


Figura 16 - Superfície radicular do capim-Marandu, em seis idades de crescimento, em função de doses de nitrogênio.

## 4.2 Concentração de nitrogênio no tecido foliar em função de doses de nitrogênio e idades de crescimento

As doses de nitrogênio dentro das idades de crescimento e as idades de crescimento em cada uma das doses de nitrogênio alteraram significativamente ( $P < 0,01$ ) a concentração de nitrogênio nas partes avaliadas do capim-Marandu. Correlação negativa foi verificada entre concentração de nitrogênio e idades de crescimento (Tabela 2). Esse comportamento é bem conhecido em plantas forrageiras (Gomide, 1996; Haag, 1984), estando relacionado com o expressivo aumento em biomassa e conseqüente efeito de diluição do nutriente.

Tabela 2. Coeficiente de correlação ( $r$ ) entre a concentração de nitrogênio nas partes da planta do capim-Marandu e as idades de crescimento, em cada uma das cinco doses de nitrogênio.

Parte da planta	Dose de nitrogênio ( $\text{mg L}^{-1}$ )				
	28	112	210	294	378
FE	-0,91**	-0,90**	-0,82**	-0,83**	-0,90**
LR	-0,77**	-0,97**	-0,97**	-0,97**	-0,97**
LM	-0,87**	-0,89**	-0,94**	-0,95**	-0,98**
CB	-0,94**	-0,92**	-0,88**	-0,92**	-0,57**
Raiz	-0,48**	-0,80**	-0,82**	-0,69**	-0,49**

\*\*  $P < 0,01$

A concentração média de nitrogênio na planta inteira decresceu linearmente nas doses de nitrogênio de 28 e 378  $\text{mg L}^{-1}$  com o incremento nas idades de crescimento e seguiu modelo quadrático de regressão nas demais doses estudadas (Figura 17). As idades de crescimento em que se obteriam as mais baixas concentrações não puderam ser determinadas, pois os valores estimados ocorreriam em idade superior a 56 dias.

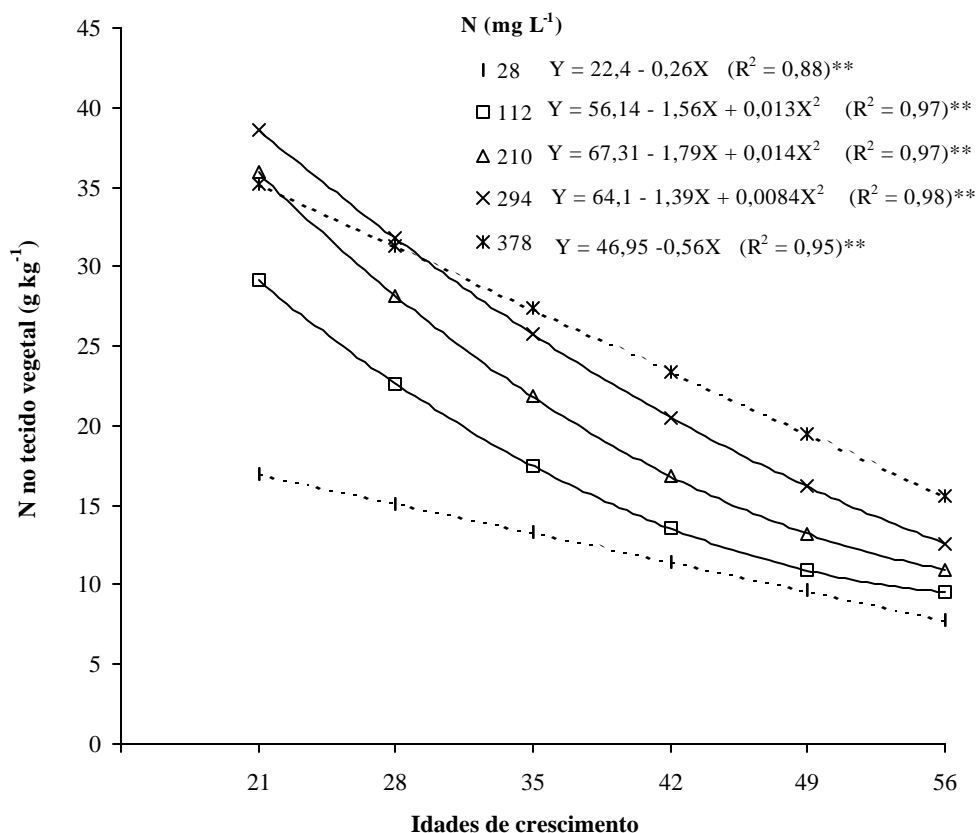


Figura 17 - Concentração de nitrogênio média do capim-Marandu submetido a cinco doses de nitrogênio, em função idades de crescimento.

Santos (1997) e Colozza (1998), com gramíneas forrageiras do gênero *Brachiaria* e *Panicum*, respectivamente, destacaram que é aconselhável a utilização das lâminas de folhas recém-expandidas (LR) como a parte indicada para a avaliação do estado nutricional em nitrogênio nessas plantas forrageiras. Raij (1991) relatou que devem ser amostradas partes da planta que apresentem a maior estabilidade possível em relação a fatores que afetam a composição mineral, ao mesmo tempo que devem ser sensíveis em refletir variações de composição decorrentes de diferenças no suprimento de nutrientes.

A concentração de nitrogênio nas LR, dentro de cada dose de nitrogênio e em função de idades de crescimento, apresentou significância ( $P < 0,01$ ) e seguiu modelo quadrático de regressão nas doses de nitrogênio de 28, 112 e 210  $\text{mg L}^{-1}$ . Entretanto, decresceu linearmente nas doses 294 e 378  $\text{mg L}^{-1}$  (Figura 18).

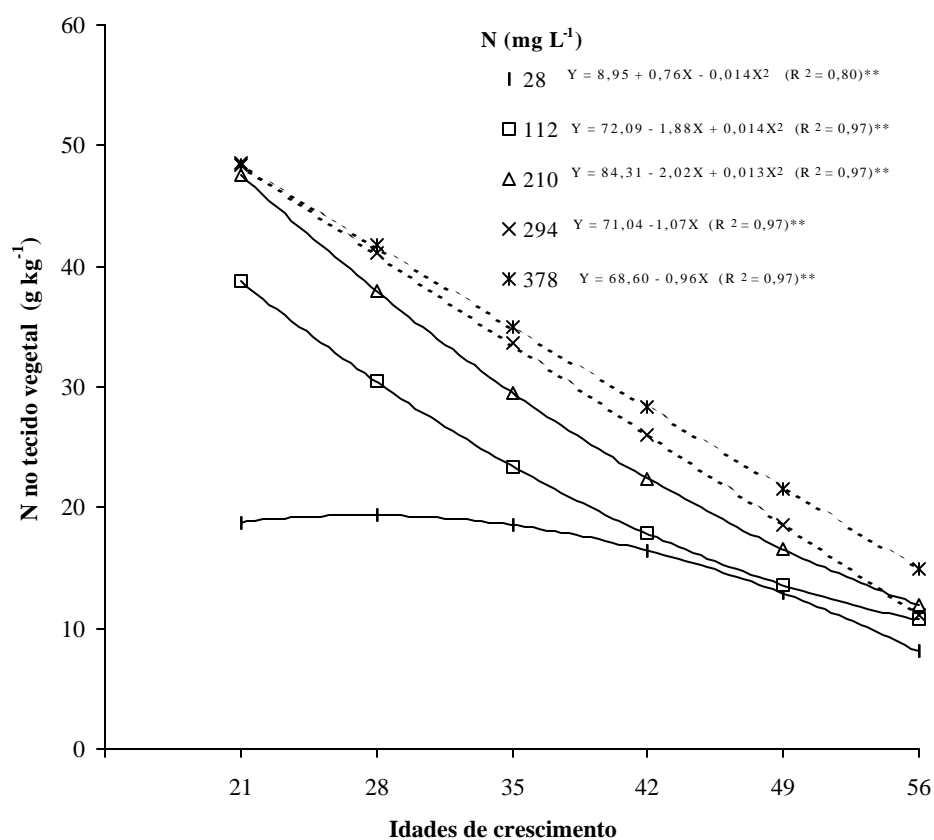


Figura 18 - Concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Marandu submetido a cinco doses de nitrogênio, em função de idades de crescimento.

Abreu (1999) relatou redução na concentração de nitrogênio nas LR com o incremento das idades de crescimento do capim-Marandu. Os resultados foram semelhantes nas avaliações feitas após a rebrota do capim. Também Haag et al. (1967) relataram resultados similares.

As doses de nitrogênio, dentro de cada idade de crescimento, alteraram significativamente ( $P < 0,01$ ) a concentração de nitrogênio média do capim-Marandu. Essa variável aumentou linearmente com as doses de nitrogênio nas plantas coletadas na idade de crescimento de 35 dias, e seguiu modelo quadrático de regressão nas demais idades (Figura 19).

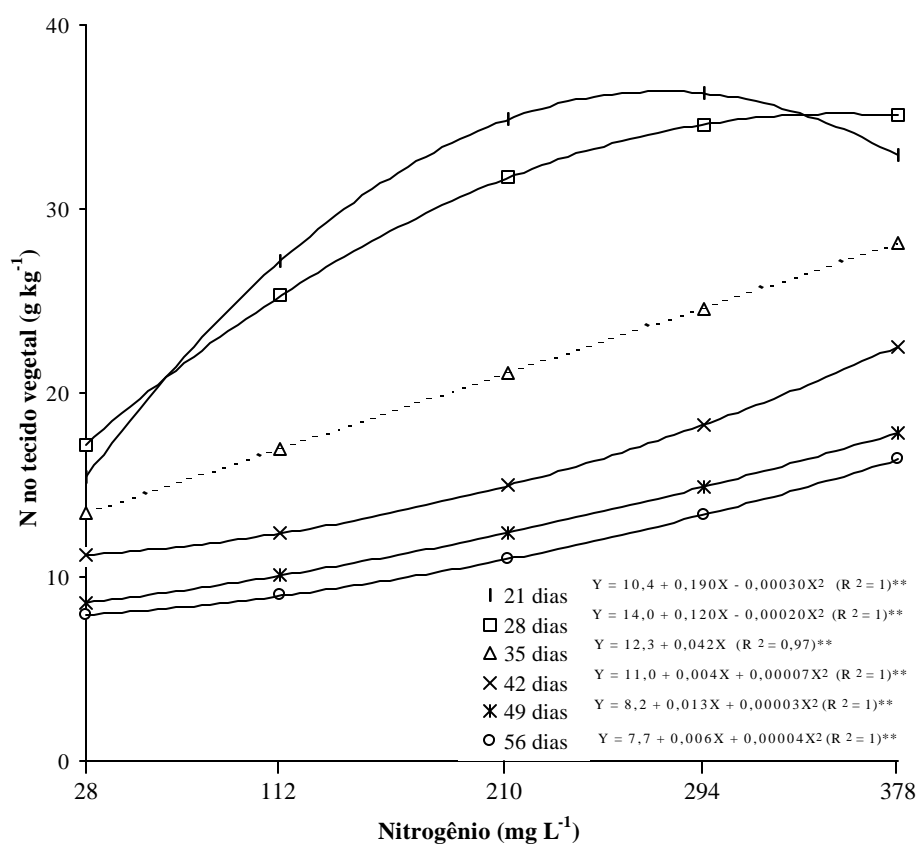


Figura 19 - Concentração de nitrogênio média do capim-Marandu, em seis idades de crescimento, em função de doses de nitrogênio.

A concentração de nitrogênio nas LR, dentro de cada idade de crescimento, variou significativamente ( $P < 0,01$ ) com as doses de nitrogênio. Essa concentração aumentou linearmente nas idades de 35, 42, 49 e 56 dias, e seguiu modelo quadrático de regressão nas idades de crescimento de 21 e 28 dias (Figura 20). As máximas concentrações corresponderam às doses de

nitrogênio de 260 e 270 mg L<sup>-1</sup> nas idades de crescimento de 21 e 28 dias, respectivamente.

Abreu (1999) verificou que a dose de nitrogênio de 290 mg kg<sup>-1</sup> de terra maximizou a concentração de nitrogênio nas LR do capim-Marandu aos 14 dias de crescimento. Colozza (1998) obteve aumento linear na concentração de nitrogênio nas LR do capim-Aruana aos 34 dias de crescimento em função de doses de nitrogênio aplicadas em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico.

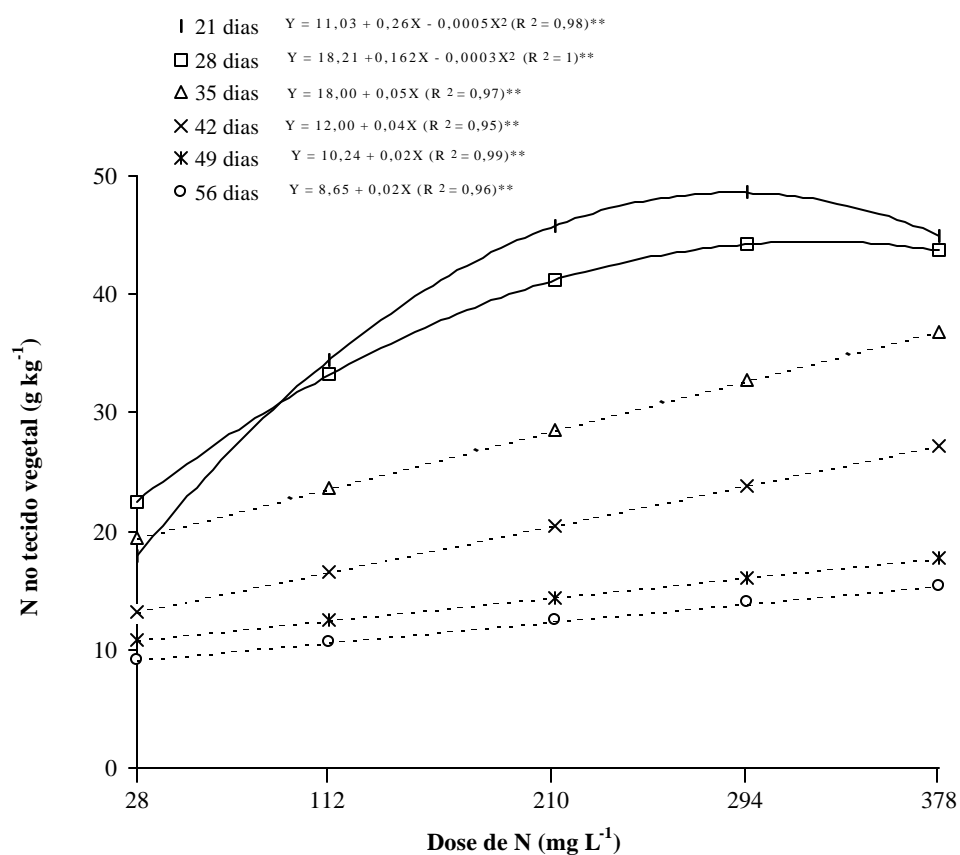


Figura 20 - Concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Marandu, em seis idades de crescimento, em função de doses de nitrogênio.

Os resultados do presente estudo estão de acordo com aqueles de Santos (1997), que também relatou comportamento linear da concentração de nitrogênio nas LR do capim-braquiária com doses de nitrogênio de até 462 mg L<sup>-1</sup> na solução nutritiva trocada a cada 14 dias, indicando que nesse componente da parte aérea da planta a concentração de nitrogênio poderia ser ainda mais elevada se fossem empregadas doses superiores às avaliadas nesses estudos.

A concentração de nitrogênio nas lâminas das folhas é um atributo relacionado com o valor nutritivo da planta forrageira e está diretamente ligada à idade da planta e à adubação nitrogenada.

#### **4.3 Valor SPAD em função de doses de nitrogênio e idades de crescimento**

O valor SPAD foi significativamente ( $P < 0,01$ ) alterado, dentro de cada dose de nitrogênio, pelas idades de crescimento e seguiu modelo quadrático de regressão (Figura 21). Os valores máximos corresponderam às idades de crescimento de 34, 25, 31, 34 e 35 dias nas doses de nitrogênio de 28, 112, 210, 294 e 378 mg L<sup>-1</sup> na solução, respectivamente.

Abreu (1999) destacou que o valor SPAD, tanto no crescimento inicial como na rebrota após o corte, decresceu com o avanço do estágio de desenvolvimento do capim-Marandu, seguindo a tendência da concentração de nitrogênio nas LR. O valor SPAD no presente estudo não se mostrou tão sensível às idades de crescimento quanto a concentração de nitrogênio nas LR. Isso é explicado pelo fato de que a planta não produz clorofila além do que necessita, mesmo quando em presença de excesso de nitrogênio, que favorece um consumo de luxo desse nutriente (Malavolta et al., 1997).

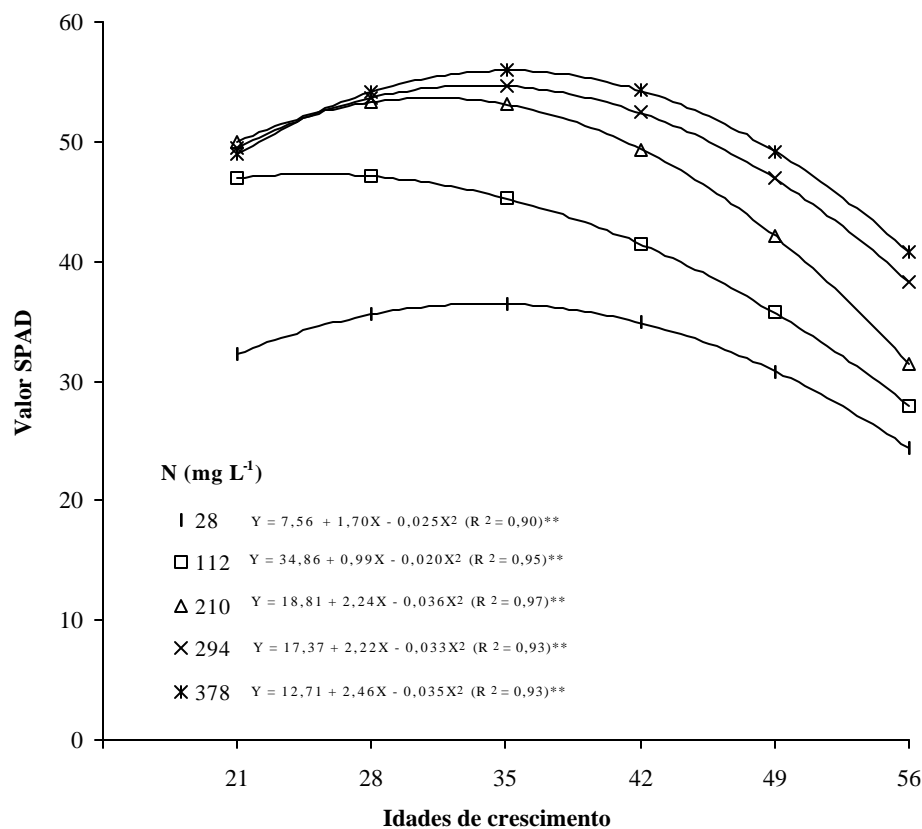


Figura 21 - Valor SPAD do capim-Marandu submetido a cinco doses de nitrogênio, em função de idades de crescimento.

As doses de nitrogênio, dentro de cada idade de crescimento, alteraram significativamente ( $P < 0,01$ ) o valor SPAD, que variou de forma linear nas idades de 42, 49 e 56 dias de crescimento e seguiu modelo quadrático de regressão aos 21, 28 e 35 dias (Figura 22).

As doses de nitrogênio no substrato que corresponderam ao máximo valor SPAD nas idades de 21, 28 e 35 dias foram, respectivamente, 283, 325 e 267 mg L<sup>-1</sup>. Esses valores foram semelhantes aos obtidos por Santos (1997) aos 39 dias de crescimento. O valor SPAD correlacionou-se positivamente ( $P < 0,01$ ) com a concentração de nitrogênio em cada uma das partes do capim-Marandu, à exceção de apenas três casos no total de trinta analisados (Tabela 3).



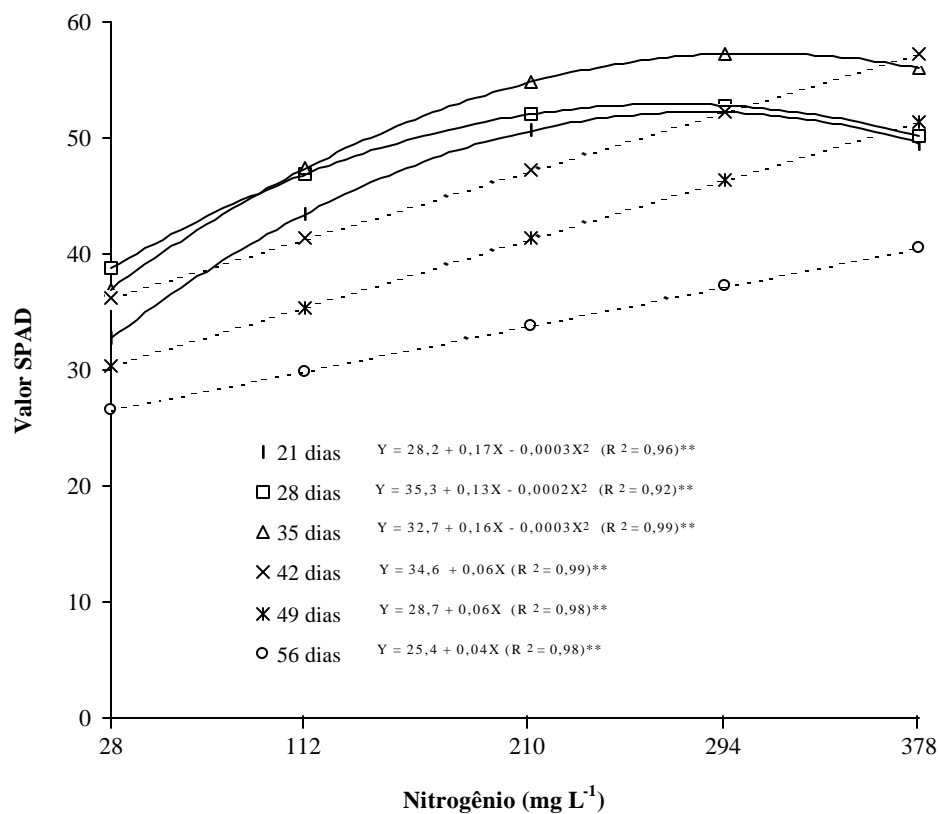


Figura 22 - Valor SPAD do capim-Marandu, em seis idades de crescimento, em função de doses de nitrogênio.

Tabela 3. Coeficiente de correlação entre a concentração de nitrogênio em partes da planta do capim-Marandu e valor SPAD, dentro de idades de crescimento.

Partes da planta	Idades de crescimento					
	21	28	35	42	49	56
FE	----	----	0,87**	0,91**	0,96**	0,94**
LR	0,96**	0,93**	0,91**	0,87**	0,92**	0,94**
LM	----	0,60**	0,94**	0,91**	0,89**	0,92**
CB	0,53*	0,86**	0,87**	0,89**	0,96**	0,88**
RAIZ	0,89**	0,84**	0,87**	0,87**	0,82**	0,90**

\*  $P < 0,05$  \*\*  $P < 0,01$

As equações de regressão de primeiro e segundo grau para converter valor SPAD em concentração de nitrogênio, em seis idades de crescimento, nas LR e na média da planta inteira são apresentadas nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Valor SPAD em função da concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Marandu, em seis idades de crescimento.

Idade (dias)	Equação polinomial	R <sup>2</sup>
21	SPAD= 11,22 + 1,44X - 0,013X <sup>2</sup>	0,97**
28	SPAD= 2,88 + 2,04X - 0,02X <sup>2</sup>	0,99**
35	SPAD= -29,97 + 4,88X - 0,069X <sup>2</sup>	0,93**
42	SPAD= -8,74 + 4,20X - 0,067X <sup>2</sup>	0,88**
49	SPAD= -38,96 + 8,55X - 0,21X <sup>2</sup>	0,92**
56	SPAD= 6,33 + 2,26X	0,98**

\*\* P<0,01

Tabela 5. Valor SPAD em função da concentração de nitrogênio na média da planta inteira do capim-Marandu, em seis idades de crescimento.

Idade (dias)	Equação polinomial	R <sup>2</sup>
21	SPAD= 0,78 + 2,55X - 0,03 X <sup>2</sup>	0,96**
28	SPAD= -5,86 + 3,41X - 0,05 X <sup>2</sup>	0,99**
35	SPAD= -28,36 + 6,70X - 0,13 X <sup>2</sup>	0,95**
42	SPAD= -12,47 + 5,82X - 0,12 X <sup>2</sup>	0,92**
49	SPAD= -2,68 + 4,79X - 0,11 X <sup>2</sup>	0,96**
56	SPAD= 14,72 + 1,70X	0,94**

\*\* P<0,01

#### 4.4 Concentração crítica de nitrogênio em função de idades de crescimento

Adotou-se o critério estabelecido por Ulrich & Hills (1973), que definiu a concentração crítica como sendo a concentração do nutriente na planta, ou em partes da planta, que corresponderia a 90% da produção máxima da cultura. Através desse conceito determinou-se a concentração crítica de nitrogênio total nas lâminas de folhas recém-expandidas e na média da planta inteira, utilizando-se as equações mostradas nas tabelas 6 e 7. Foram determinados os valores SPAD correspondentes a essas concentrações críticas utilizando as equações de regressão apresentadas nas tabelas 4 e 5.

Tabela 6. Produção de massa seca (Y) total do capim-Marandu, em função da concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas (X), em seis idades de crescimento.

Idade (dias)	Equação de regressão polinomial	R <sup>2</sup>
21	$Y = - 0,37 + 0,06X - 0,00078X^2$	0,96**
28	$Y = - 9,33 + 0,68X - 0,0083X^2$	0,92**
35	$Y = - 46,25 + 3,83X - 0,059 X^2$	0,71**
42	$Y = - 83,86 + 9,41X - 0,185 X^2$	0,68**
49	$Y = - 337,74 + 45,75X - 1,43 X^2$	0,92**
56	$Y = - 314,3 + 53,68X - 1,82 X^2$	0,66**

\*\* P<0,01

Tabela 7. Produção de massa seca (Y) total do capim-Marandu, em função da concentração de nitrogênio média da planta (X), em seis idades de crescimento.

Idades	Equação de regressão polinomial	R <sup>2</sup>
21	$Y = - 0,74 + 0,11X - 0,0017X^2$	0,97**
28	$Y = - 11,77 + 1,08X - 0,0178X^2$	0,99**
35	$Y = - 51,63 + 5,91X - 0,13 X^2$	0,81**
42	$Y = - 108,63 + 15,13X - 0,39 X^2$	0,75**
49	$Y = - 136,99 + 24,75X - 0,78 X^2$	0,81**
56	$Y = - 222,36 + 44,1X - 1,58 X^2$	0,78**

\*\* P<0,01

A concentração crítica de nitrogênio, tanto nas LR como na planta inteira, foi influenciada significativamente (P<0,01) pelas idades de crescimento. Essa concentração variou linearmente entre os valores de 33,8 e 12,8 g kg<sup>-1</sup> nas LR e entre 25,8 e 11,1 g kg<sup>-1</sup> na planta inteira para 21 e 56 dias de crescimento, respectivamente (Figura 23).

Esses valores não concordam com aqueles de Abreu (1999), que obteve nas LR do capim-Marandu o valor de 8,5 g kg<sup>-1</sup> na idade de 42 dias. Santos (1997), aos 39 dias de crescimento, obteve o valor de 22 g kg<sup>-1</sup> no capim-braquiária e Schiavuzzo et al. (2000) relatou 19 g kg<sup>-1</sup> no capim-Marandu na idade de 41 dias. Utilizando a equação de regressão da figura 20 para as LR, os valores encontrados no presente experimento aos 39, 41 e 42 dias seriam, respectivamente, 20,2; 19,0 e 18,4 g kg<sup>-1</sup>.

De acordo com as equações de regressão da tabela 4, os valores SPAD correspondentes às concentrações críticas nas LR foram 45; 45,7; 49,5; 50,2; 45,7 e 35,3 nas idades de crescimento de 21, 28, 35, 42, 49 e 56 dias, respectivamente. Abreu (1999) encontrou o valor SPAD de 21,8 correspondente à concentração crítica do capim-Marandu, e Santos (1997) o valor SPAD de 49 no capim-braquiária.

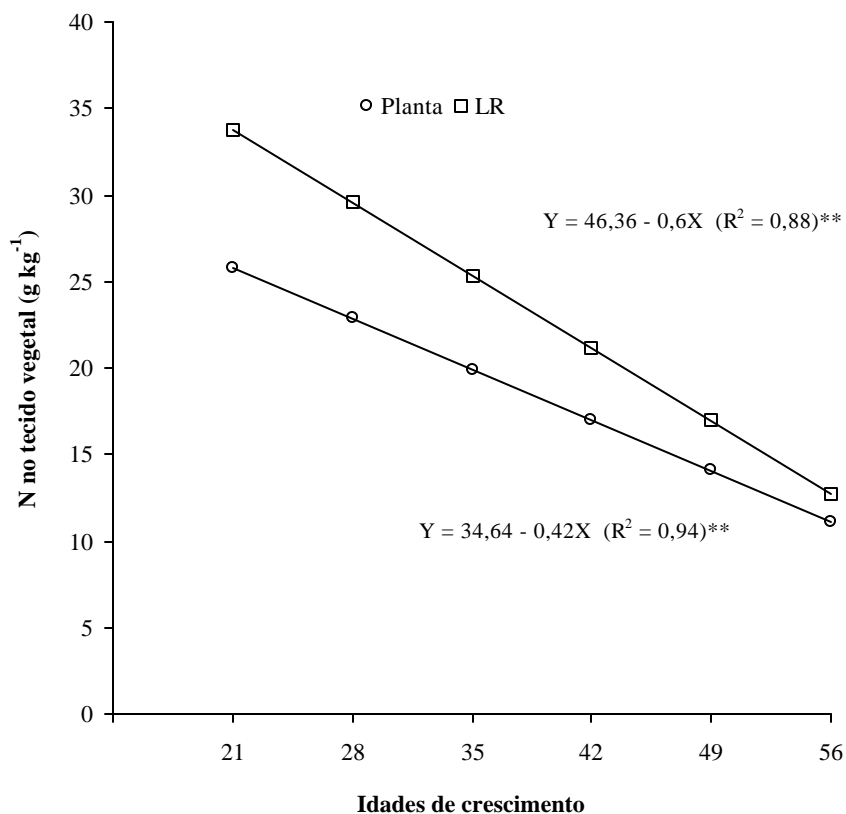


Figura 23 - Concentração crítica de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) e na média da planta inteira (Planta), em função de idades de crescimento.

#### 4.5 Análise de crescimento do capim-Marandu em função de doses de nitrogênio e idades de crescimento

As doses de nitrogênio e idades de crescimento interagiram significativamente nas variáveis-resposta taxa de crescimento absoluto ( $P < 0,01$ ), razão de área foliar ( $P < 0,05$ ), área foliar específica ( $P < 0,05$ ), razão de massa de folha ( $P < 0,01$ ) e taxa de crescimento relativo ( $P < 0,01$ ). Essa interação não foi significativa ( $P > 0,05$ ) para a taxa de assimilação líquida.

#### 4.5.1 Taxa de crescimento absoluto (TCA)

A taxa de crescimento absoluto, que representa a velocidade de crescimento do capim-Marandu, foi influenciada significativamente ( $P < 0,01$ ) pelas idades de crescimento dentro de cada dose de nitrogênio. Essa variável seguiu modelo quadrático de regressão na dose de nitrogênio de 210 mg L<sup>-1</sup>, e variou de forma linear nas demais doses (Figura 24).

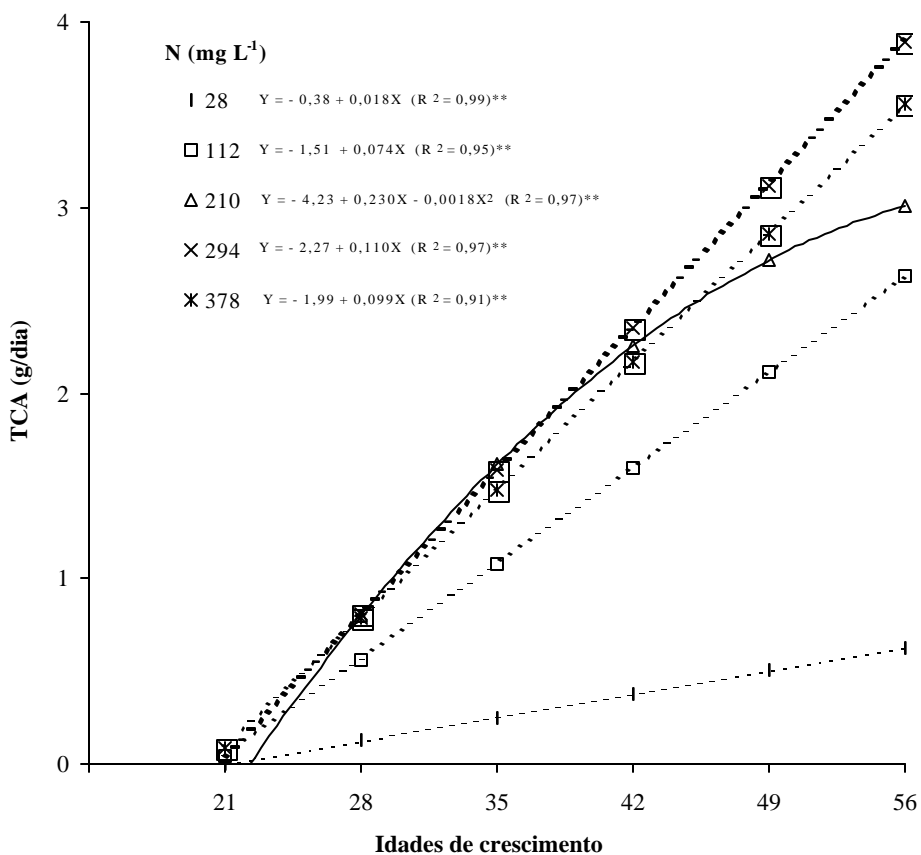


Figura 24 - Taxa de crescimento absoluto do capim-Marandu submetido a cinco doses de nitrogênio, em função de idades de crescimento.

As doses de nitrogênio, dentro das idades de crescimento, alteraram significativamente ( $P < 0,01$ ) a taxa de crescimento absoluto do capim-Marandu e seguiram modelo quadrático de regressão (Figura 25). Os valores máximos na taxa de crescimento absoluto corresponderam às doses de nitrogênio de 250; 264; 275; 317; 350 e 300  $\text{mg L}^{-1}$  nas idades de crescimento de 21, 28, 35, 42, 49 e 56 dias, respectivamente.

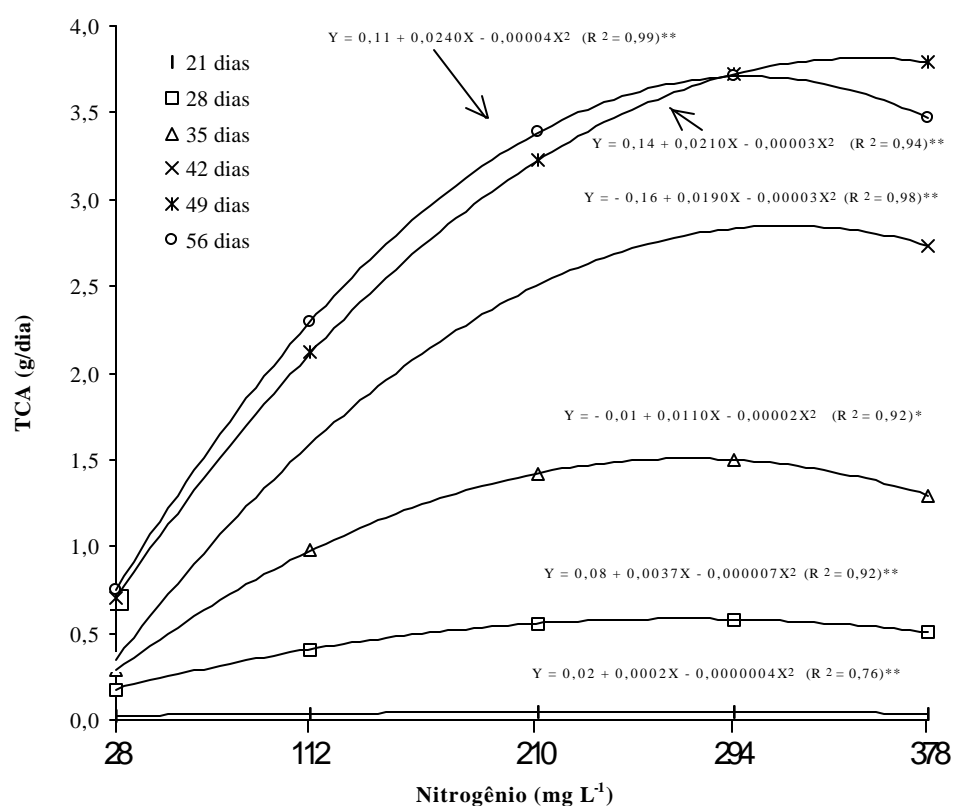


Figura 25 - Taxa de crescimento absoluto do capim-Marandu, em seis idades de crescimento, em função de doses de nitrogênio.

Pinto (1993) verificou maior taxa de crescimento absoluto tanto do capim-guiné (*Panicum maximum*) como do capim-setária (*Setaria anceps*) quando cultivado com a dose de nitrogênio de  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  em comparação com a dose de  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ .

#### 4.5.2 Razão de área foliar (RAF)

A RAF, que representa a área foliar em uso pela planta para produzir um grama de massa seca, é o componente morfológico da taxa de crescimento relativo (Benincasa, 1988; Gomide, J.,1997). A RAF do capim-Marandu, dentro de cada dose de nitrogênio, variou significativamente ( $P < 0,01$ ) com o incremento nas idades de crescimento e seguiu modelo quadrático de regressão (Figura 26). As idades que proporcionaram os valores mínimos de RAF corresponderam aos 49, 49, 54, 60 e 53 dias nas doses de nitrogênio de 28, 112, 210, 294 e 378 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente.

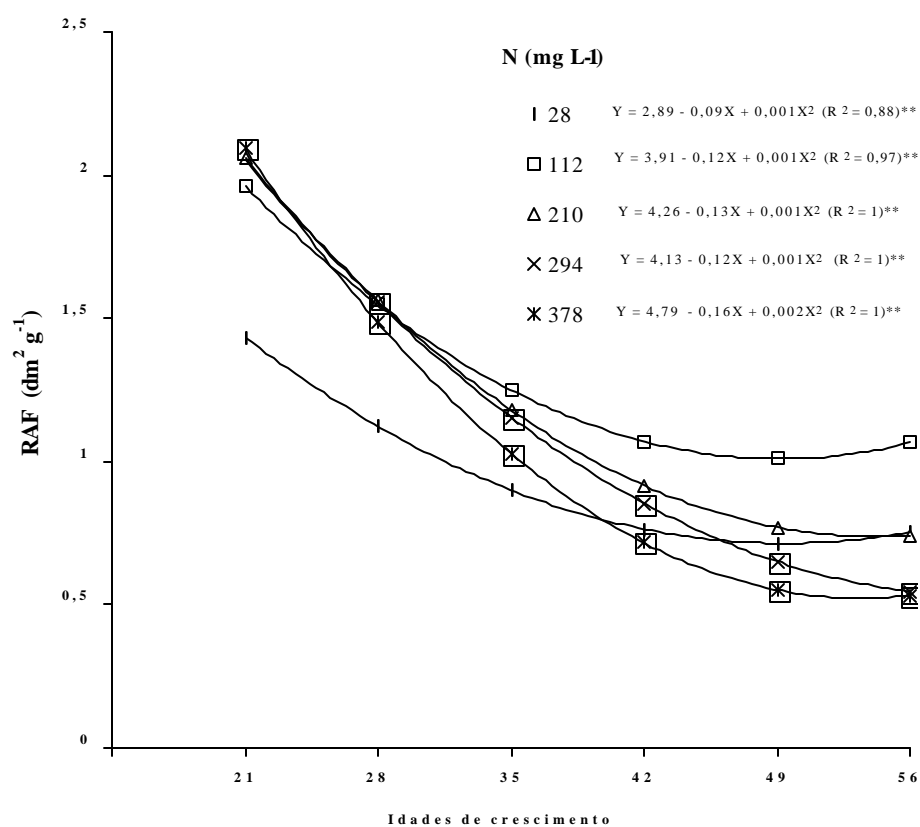


Figura 26 - Razão de área foliar do capim-Marandu submetido a cinco doses de nitrogênio, em função de idades de crescimento.



As doses de nitrogênio, dentro de cada idade de crescimento, influenciaram significativamente ( $P < 0,05$ ) a RAF nas idades de crescimento de 28 e 35 dias e essa resposta se deu segundo modelo quadrático de regressão. O máximo valor de RAF aos 28 e 35 dias correspondeu às doses de nitrogênio de 277,8 e 300,0  $\text{mg L}^{-1}$ , respectivamente (Figura 27).

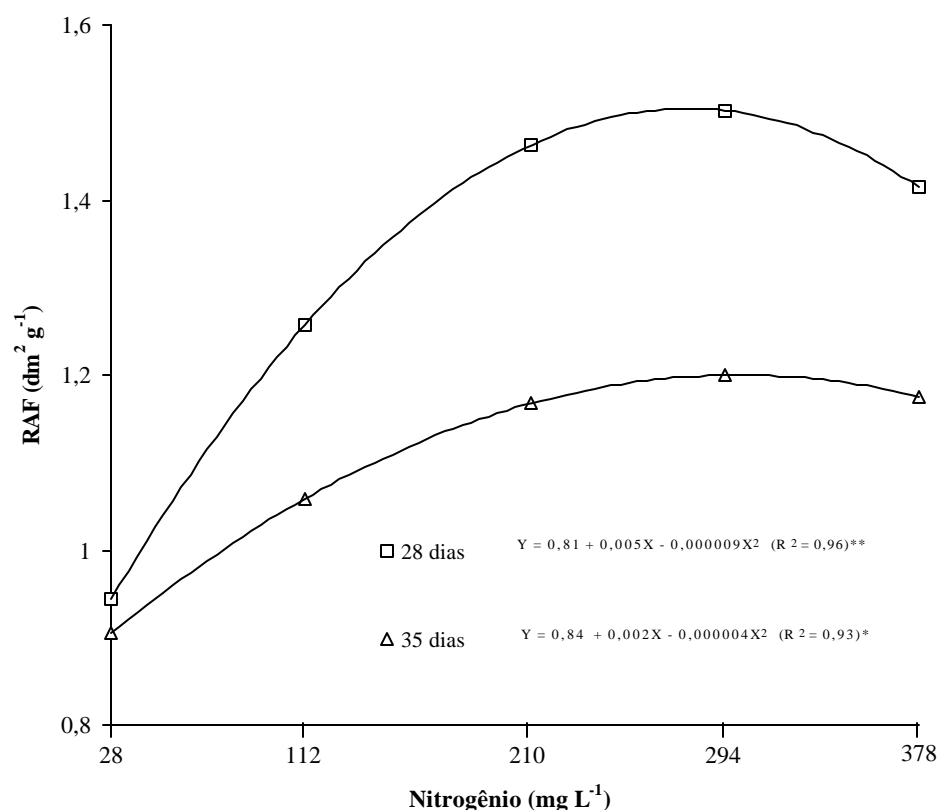


Figura 27 - Razão de área foliar do capim-Marandu, em duas idades de crescimento, em função de doses de nitrogênio.

Gomide & Gomide (1997) relataram uma queda abrupta na RAF entre as idades de 17 e 24 dias para os cultivares Mombaça, Tanzânia e Vencedor de *Panicum maximum*. Pinto (1993) observou aumento na RAF até a idade de 28 dias, decrescendo posteriormente, sem apresentar significância para as doses de nitrogênio (100 e 300  $\text{mg kg}^{-1}$ ) nos capins Guiné e Setária.

A queda na RAF, tanto nas doses mais baixas de nitrogênio como em idade mais avançada da planta, reflete a diminuição do aparelho fotossintético relativamente ao aumento da massa total da planta, que representa maior custo de respiração de manutença. As variações em RAF podem ser explicadas em função de alterações de seus componentes, que são a área foliar específica (AFE) e a razão de massa de folha (RMF), visto que a RAF é o produto da RMF pela AFE. Enquanto a variação na RMF tem efeito direto na produção de massa seca, a variação na AFE contribui indiretamente, via interceptação de luz, para o crescimento da planta (Gomide, J., 1997).

#### **4.5.2.1 Área foliar específica (AFE)**

A AFE é o componente morfológico e anatômico da RAF porque relaciona a superfície com a massa seca da própria folha e seu inverso (massa específica da folha) e expressa a espessura da folha (Benincasa, 1988).

As idades de crescimento, dentro de cada dose de nitrogênio, alteraram significativamente ( $P < 0,01$ ) a AFE do capim-Marandu, que variou de forma linear nas doses de nitrogênio de 28 e 378 mg L<sup>-1</sup> enquanto seguiu modelo quadrático de regressão nas demais doses de nitrogênio estudadas (Figura 28).

A AFE apresentou maior correlação com a RAF do que a RMF (Tabela 8) em cada uma das doses de nitrogênio, sendo o componente que mais influenciou a queda da RAF, corroborando os resultados de Pinto (1993). Gomide & Gomide (1997) verificaram que as variações observadas para a RAF decorreram dos valores de AFE, que variaram linear e negativamente com a idade dos capins Tanzânia, Mombaça e Vencedor e indicaram aumento da espessura da folha com a idade.

Gomide (1996) estudou cinco cultivares de *Cynodon* e verificou que a AFE variou apenas em função da idade, atingindo um valor máximo de 0,023  $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$  aos 28 dias e decrescendo até o valor de 0,015  $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$  aos 84 dias de crescimento.

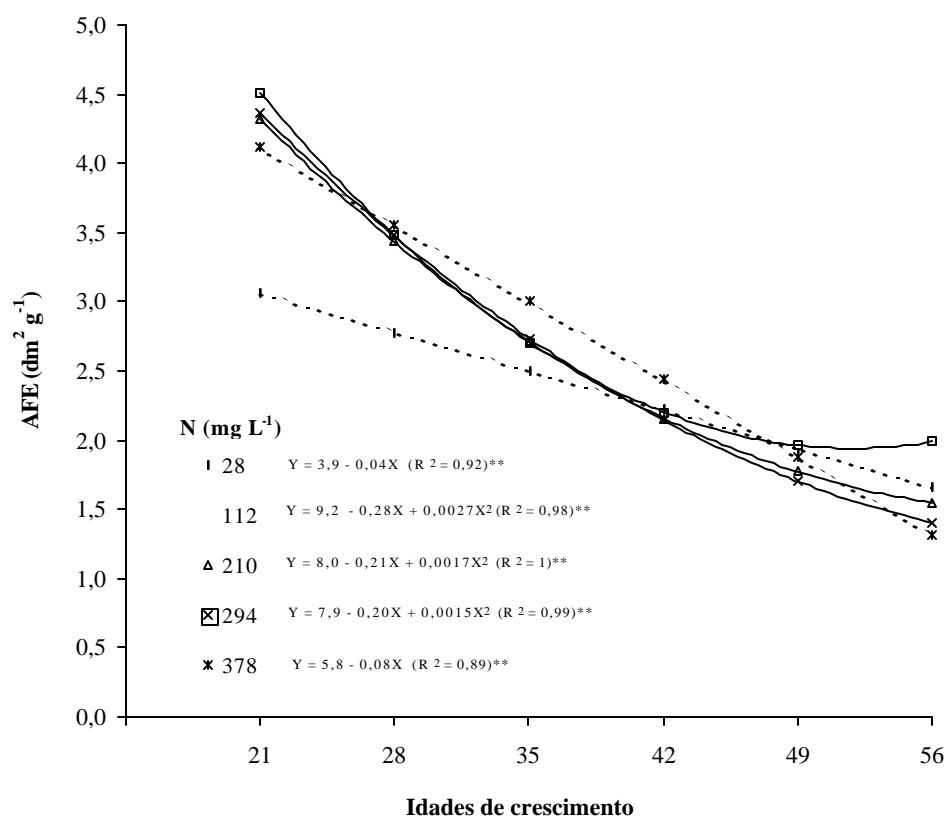


Figura 28 - Área foliar específica do capim-Marandu submetido a cinco doses de nitrogênio, em função de idades de crescimento.

Tabela 8. Coeficiente de correlação entre RAF e AFE ou RMF, em cada uma das cinco doses de nitrogênio.

	Dose de nitrogênio ( $\text{mg L}^{-1}$ )				
	28	112	210	294	378
AFE	0,94**	0,98**	0,98**	0,99**	0,99**
RMF	0,70**	0,34 <sup>ns</sup>	0,84**	0,83**	0,79**

\*\*  $P < 0,01$ ; ns= não significativo

As doses de nitrogênio, dentro de cada idade de crescimento, afetaram significativamente ( $P < 0,01$ ) a AFE somente na idade de 28 dias, e essa variação se deu segundo modelo quadrático de regressão (Figura 29).

Altos valores de AFE podem ocorrer em plantas sob baixa intensidade luminosa e/ou cultivadas em solos férteis. Em solos de baixa fertilidade, a cultura desenvolve reduzida área foliar e, então menos biomassa, dada a alocação preferencial de carbono para o sistema radicular, o que resulta em valores mais baixos de RMF (Gomide, J., 1997).

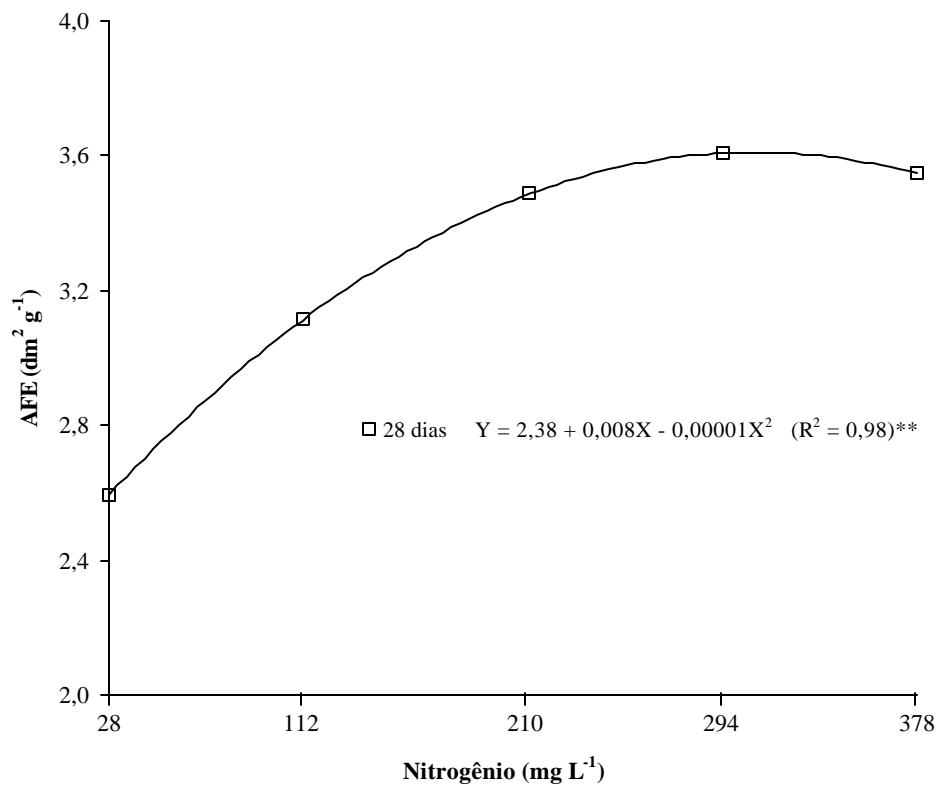


Figura 29 - Área foliar específica do capim-Marandu, na idade de crescimento de 28 dias, em função de doses de nitrogênio.

#### 4.5.2.2 Razão de massa de folha (RMF)

Considerando que as folhas são o centro de produção de massa seca através da fotossíntese e que as demais partes da planta dependem da exportação de fotoassimilados produzidos nas folhas, a RMF expressa a fração de massa seca não exportada das folhas para essas outras partes da planta (Benincasa, 1988).

A RMF, dentro das doses de nitrogênio de 28, 210, 294 e 378 mg L<sup>-1</sup>, foi alterada significativamente ( $P < 0,05$ ) pelas idades de crescimento e a variação se deu segundo modelo quadrático de regressão (Figura 30).

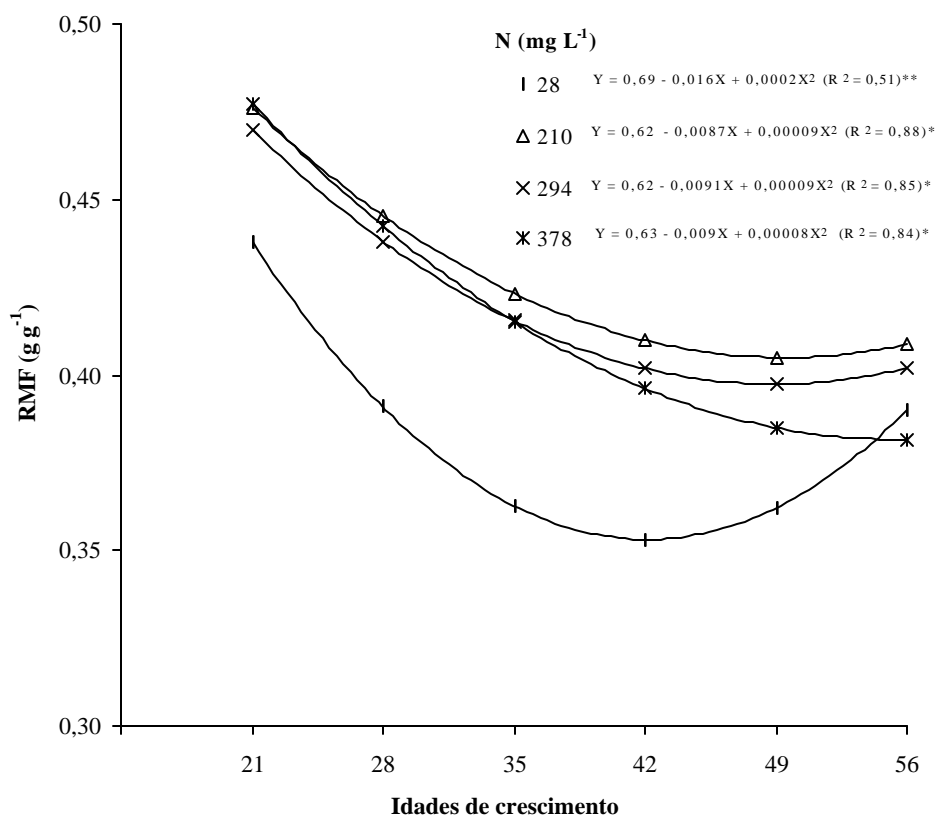


Figura 30 - Razão de massa de folha do capim-Marandu submetido a quatro doses de nitrogênio, em função de idades de crescimento.

As doses de nitrogênio, dentro das idades de crescimento de 28 e 35 dias, influenciaram significativamente ( $P < 0,01$ ) a RMF de acordo com um modelo quadrático de regressão (Figura 31). As doses de nitrogênio proporcionaram retenção do material fotossintetizado nas folhas, as quais constituem a fração mais importante na alimentação animal. Por outro lado, em condições de deficiência de nitrogênio as folhas exportaram parte do material fotossintetizado para as demais partes da planta, como pode ser verificado na relação parte aérea:raízes (Figura 11).

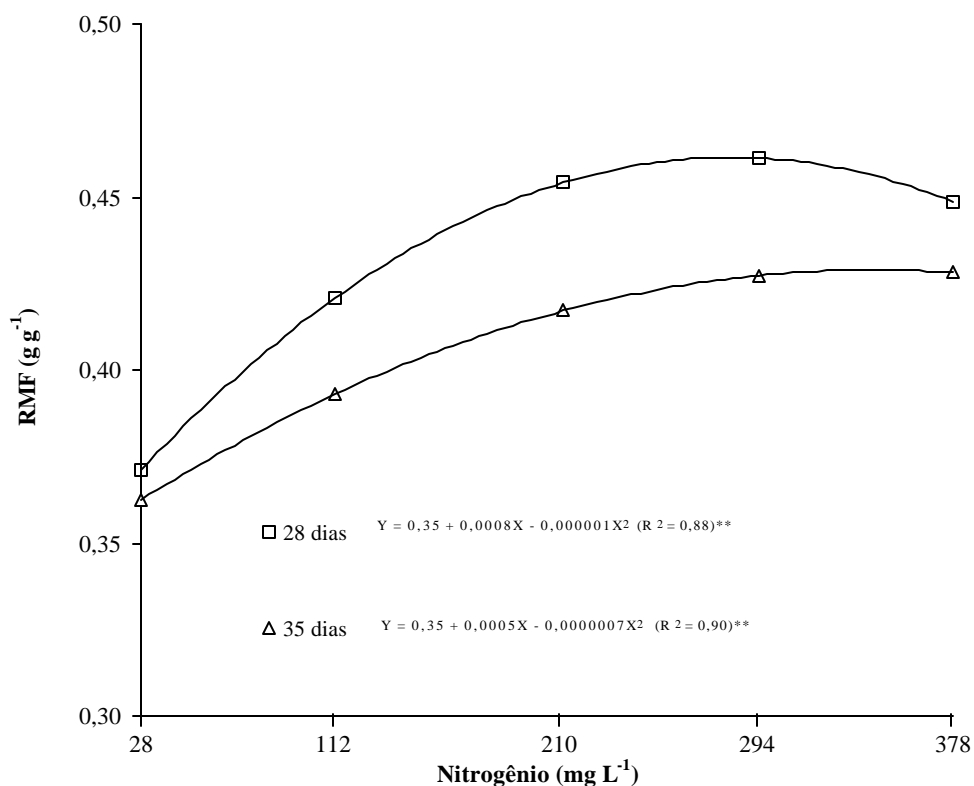


Figura 31 - Razão de massa de folha do capim-Marandu, nas idades de crescimento de 28 e 35 dias, em função de doses de nitrogênio.

### 4.5.3 Taxa de assimilação líquida (TAL)

As estimativas da TAL média não revelaram significância ( $P > 0,05$ ) das doses de nitrogênio, sendo somente influenciadas pelas idades de crescimento ( $P < 0,01$ ). A TAL média estimada decresceu linearmente entre os valores de 14,1 e 7,5 g m<sup>2</sup>/dia, com o incremento nas idades de crescimento de 28 para 56 dias (Figura 32).

A partição de carbono para outras partes da planta que não as folhas pode ser verificada pela queda na RAF (Figura 26) e na relação parte aérea:raízes (Figura 10), proporcionando que o acúmulo de massa seca sob a forma de outros órgãos vegetais não fotossintetizantes, como raízes e colmo, concorram para o aumento das perdas respiratórias. Assim, a área foliar, embora crescente, tem que suprir, além de suas próprias perdas respiratórias (que também aumentam), as crescentes perdas respiratórias de toda a planta, que são cada vez mais expressivas (Gomide, J., 1997).

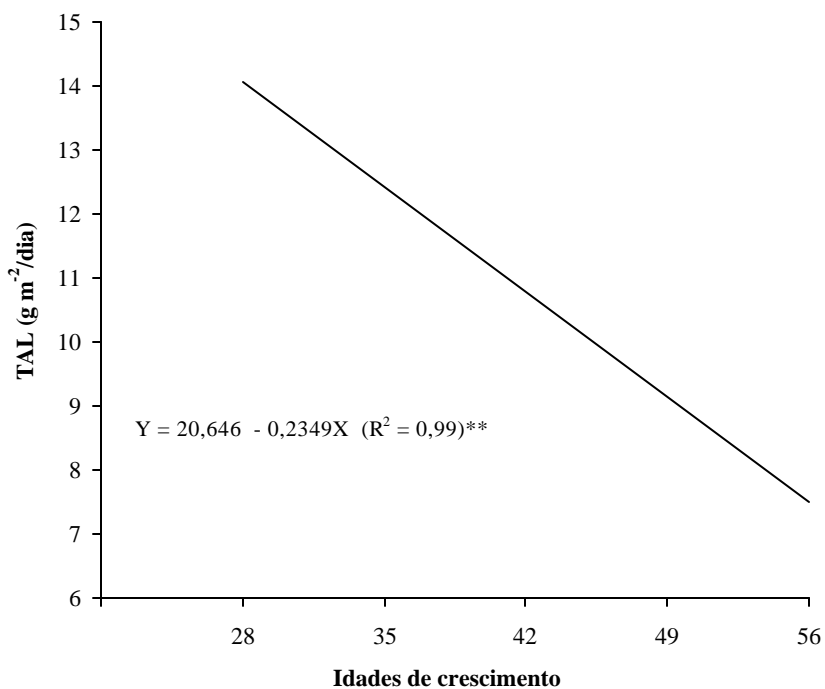


Figura 32- Taxa de assimilação líquida do capim-Marandu, média de cinco doses de nitrogênio, em função de idades de crescimento.

#### 4.5.4 Taxa de crescimento relativo (TCR)

A TCR do capim-Marandu, em cada uma doses de nitrogênio estudadas, foi influenciada significativamente ( $P < 0,05$ ) pelas idades de crescimento e seguiu modelo quadrático de regressão (Figura 33).

Pinto (1993) estimou a TCR máxima do capim-Guiné aos 14 dias de crescimento de  $0,20 \text{ g g}^{-1}/\text{dia}$ , a qual decresceu suavemente até os 28 dias e mais acentuadamente aos 42 dias. Gomide, C. (1997) encontrou valores extremamente altos para os capins Vencedor ( $5,07 \text{ g g}^{-1}/\text{dia}$ ) e Tanzânia ( $3,51 \text{ g g}^{-1}/\text{dia}$ ) aos 17 dias de crescimento. A variação em função do crescimento mostrou elevados valores nas primeiras semanas, exibindo acentuada queda entre a terceira e quinta semanas e progressiva redução, tendendo à estabilidade posteriormente. Esse autor explicou que a queda na TCR é esperada em qualquer vegetal logo nas primeiras semanas, pois no início do crescimento a predominância de área foliar (alto valor de RAF) constituída de folhas jovens garante elevada fixação de carbono e, por conseguinte, acentuado ganho de massa. À medida que a planta se desenvolve, a alocação de assimilados para a produção de outras estruturas que não as folhas e atendimento de suas perdas respiratórias comprometem tanto a TAL como a RAF e, por consequência, a TCR.

As doses de nitrogênio, dentro das idades de crescimento de 28, 35 e 42 dias, alteraram significativamente ( $P < 0,05$ ) a TCR, tendo seguido modelo quadrático de regressão aos 28 e 35 dias e variado linearmente aos 42 dias (Figura 34). Tanto nas idades de 28 como de 35 dias a dose de nitrogênio de  $300 \text{ mg L}^{-1}$  correspondeu à máxima TCR.

A principal razão do aumento da TCR está no aumento da RAF e não da TAL que não foi influenciada pelas doses de nitrogênio. Esse resultado discorda de Ryle (1970) e Van Der Werf et al. (1993). Entretanto, Glimskär & Ericsson (1999) estudaram *Danthonia decumbens*, *Agrostis capillaris* e *Dactylis glomerata* e relataram que a redução de 50% na disponibilidade de



nitrogênio resultou em redução de 50% na RAF, que era significativamente correlacionada com a TCR. A TAL não variou com as doses de nitrogênio.

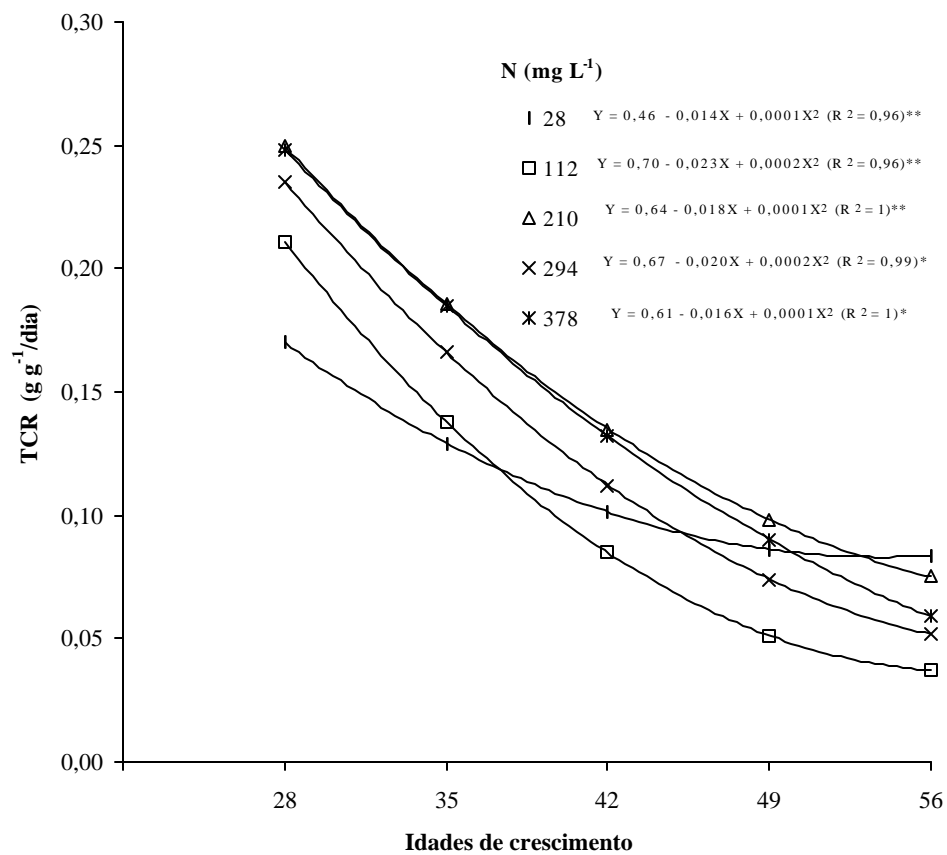


Figura 33 - Taxa de crescimento relativo do capim-Marandu submetido a cinco doses de nitrogênio, em função de idades de crescimento.

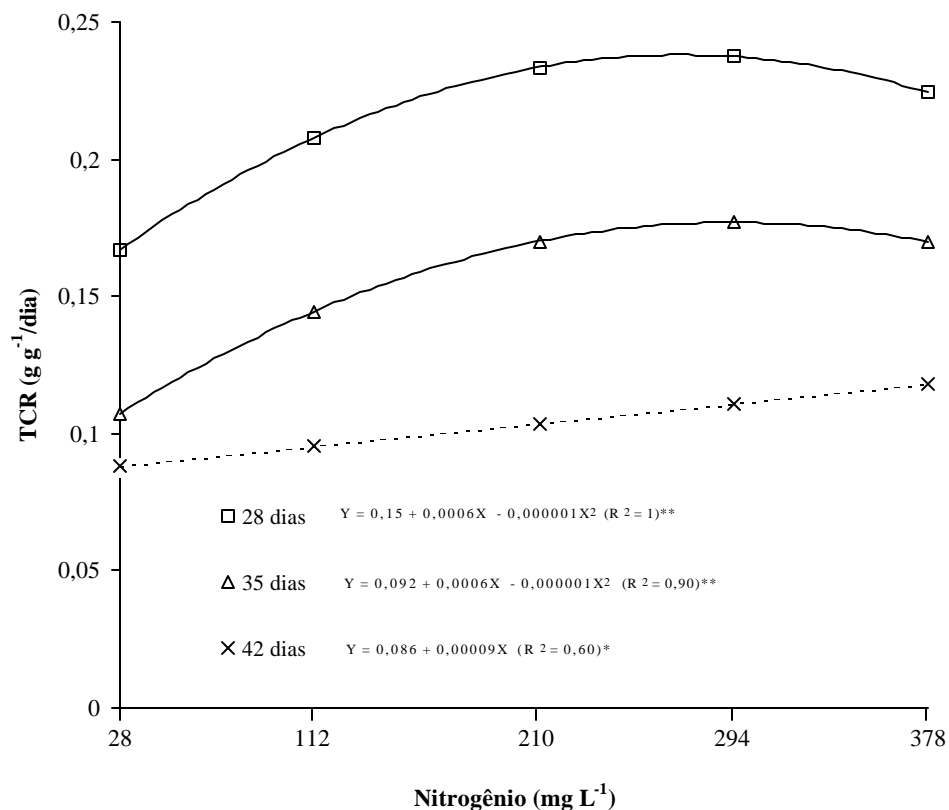


Figura 34 - Taxa de crescimento relativo do capim-Marandu, em três idades de crescimento, em função de doses de nitrogênio.

#### 4.6 Considerações gerais

A análise da dinâmica do crescimento e da nutrição do capim-Marandu possibilitou identificar atributos da planta associados à sua adaptação às condições de deficiência de nitrogênio, bem como seu potencial de produção sob condição ótima de suprimento do nutriente. A produtividade de gramíneas forrageiras decorre de sua capacidade de emissão de folhas e perfilhos, processo importante na restauração da área foliar sob condições de corte ou pastejo. Assim, o crescimento do capim-Marandu foi influenciado pela

idade fisiológica em que as plantas foram colhidas e pelas concentrações de nitrogênio no substrato às quais foram submetidas.

O capim-Marandu respondeu às doses de nitrogênio e às idades de crescimento crescendo em termos de massa seca da parte aérea e raízes, área foliar, comprimento radicular e número de perfilhos. Vários fatores são requeridos para que o crescimento ocorra e, entre eles estão luz, CO<sub>2</sub>, água e nutrientes. O incremento em qualquer um desses fatores variando da deficiência para a suficiência, promove aumentos da taxa de crescimento e da produção. As doses de nitrogênio proporcionaram um valor máximo nas variáveis-resposta massa seca total, área foliar, número de perfilhos, massa seca radicular, relação parte aérea:raízes, comprimento e superfície radicular e taxa de crescimento absoluto. Dessa forma as doses de nitrogênio foram mais efetivas que as idades de crescimento em promover ou permitir ajustes morfológicos e fisiológicos da planta, resultando em respostas mais rápidas nas variáveis avaliadas.

Foram ajustados modelos de regressão que permitiram um melhor entendimento da dinâmica das alterações na partição de carbono entre parte aérea e raízes, área foliar, comprimento e superfície radicular em resposta à doses de nitrogênio e idades de crescimento. O entendimento dessa dinâmica é importante porque esses atributos influenciam a aquisição de recursos pela planta necessários a manutenção da produtividade e da perenidade e contribui para a definição de estratégias de manejo das culturas de plantas forrageiras, sob diferentes condições de crescimento.

## **5 CONCLUSÕES**

As doses de nitrogênio e as idades de crescimento interagem nos atributos massa seca total e radicular, área foliar, número de perfilhos, relação parte aérea:raízes, comprimento e superfície radicular, concentração de nitrogênio no tecido foliar, valor SPAD, taxa de crescimento absoluto, razão de área foliar e taxa de crescimento relativo do capim-Marandu.

Doses de nitrogênio e idades de crescimento não interagem para a taxa de assimilação líquida e o comprimento radicular específico.

As doses de nitrogênio são mais efetivas que as idades de crescimento em promover ou permitir ajustes na morfologia e fisiologia do capim-Marandu, resultando em respostas mais rápidas em alterações morfológicas e em produção de biomassa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, J.B.R. Níveis de nitrogênio e proporção de nitrato e amônio afetando produção, atividade de redutase do nitrato e composição de três gramíneas forrageiras. Piracicaba, 1994. 109p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- ABREU, J.B.R. Produção e nutrição dos capins Tanzânia-1 e Marandu em função de estádios de crescimento e adubação nitrogenada. Piracicaba, 1999. 99p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- 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**, v.12, p.2-6, 1990.
- ANDRADE, J. B. Estudo comparativo de três capins da espécie *Panicum maximum* Jacq. (Colonião, Tobiata e K-187 B). Piracicaba, 1987. 133p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- BARCELLOS, A.O. Sistemas intensivos e semi-intensivos de produção: pecuária bovina de corte nos Cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 8.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANNA, 1., Brasília, 1996. **Biodiversidade e produção sustentável de alimentos e fibras no Cerrado**: proceedings/anais Planaltina: EMBRAPA,CPAC, 1996. p.130-136.

- BEADLE, C. L. Growth analysis. In: HALL, D. O.; BOLHARNORDENKAMPF, H. R.; LEEGOOD, R. C. LONG, S. P. **Photosynthesis and production in a changing environment a field and laboratory manual**. London; New York : Chapman & Hall, 1993. p. 36-46.
- BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas**; noções básicas. Jaboticabal:FUNEP, 1988. 41p.
- BOHM, W. **Methods of studying root system**. Berlin: Spring Verlag, 1979. 187p.
- BOIN, C. Produção animal em pastos adubados. In: SIMPÓSIO SOBRE CALAGEM E ADUBAÇÃO DE PASTAGENS, 1., Nova Odessa, 1985. **Anais**. Piracicaba: POTAFOS, 1986. p. 383-419.
- 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., Viçosa, 2000. **Resumos**. Viçosa: SBZ, 2000. p.63.
- BOOT, R. G. A.; MENSINK, M. Size and morphology of root systems of perennial grasses from contrasting habitats as affected by nitrogen supply. **Plant and Soil**, v. 129, p. 291-299, 1990.
- BOSEMARK, N. O. The influence of nitrogen on root development. **Physiologia Plantarum**, v. 7, p. 497-502, 1954.
- BROUWER, R. Nutritive influences on the distribution of dry matter in the plant. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v. 10, p. 399-408, 1962.

- CALBO, A.G.; SILVA, W.L.C.; TORRES, A.C. Comparação de modelos e estratégias para análise de crescimento. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.1, p.1-7, 1989.
- COLOZZA, M. T. Rendimento e diagnose foliar dos capins Aruana e Mombaça cultivados em Latossolo Vermelho-Amarelo. Piracicaba, 1998. 127p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- CORRÊA, B.D. Doses de nitrogênio e de magnésio afetando aspectos produtivos e bioquímicos dos capins Colônia, Tanzânia-1 e Vencedor. Piracicaba, 1996. 76p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- CORRÊA, B.D.; MONTEIRO, F.A. Doses de nitrogênio e de magnésio afetando a produção de matéria seca e perfilhamento nos capins Colônia, Tanzânia-1 e vencedor (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Resumos**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997.
- CORSI, M. Estudo da produtividade e do valor nutritivo do capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) variedade Napier submetido a diferentes frequências e alturas de corte. Piracicaba, 1972. 139p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- CORSI, M. Adubação nitrogenada das pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 2., Piracicaba, 1975. **Anais**. Piracicaba:FEALQ, 1975. p.112-142.

- CORSI, M. Effects of nitrogen rates and harvesting intervals on dry matter production, tillering and quality of the tropical grass *Panicum maximum* Jacq. Ames, 1984. 125p. Thesis (Ph.D.) - Ohio State University.
- CORSI, M. Pastagens de alta produtividade. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 8., Piracicaba, 1986. **Anais**. Piracicaba:FEALQ, 1986. p. 499-512.
- CORSI, M. Adubação nitrogenada das pastagens. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P (Ed.). **Pastagens**: fundamentos da exploração racional. Piracicaba:FEALQ, 1994. p. 121-153.
- CORSI, M.; SILVA, R. T. L. Fatores que afetam a composição mineral de plantas forrageiras. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS. 3, Piracicaba, 1985. **Anais**. Piracicaba:FEALQ, 1985. p.1-14.
- 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**, v.18, p.365-371, 1994.
- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: ESAL;FAEPE, 1994. 227p.
- FERNANDES, M.S.; ROSSIELLO, R.O.P. Mineral nitrogen in plant physiology and plant nutrition. **Critical Reviews in Plant Science**, v.14, p.111-148, 1995.
- FERRAGINE, M. C. Combinação de doses de nitrogênio e potássio na nutrição mineral de capim-braquiária. Piracicaba, 1998. 84p. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.



- FITTER, A.H. The root system: structure and development. In: WAYSEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U (Ed.). **Plant roots: the hidden half**. New York: Marcel Dekker, 1996. p.1-192.
- GIRARDIM, P.; TOLLENAAR, M.; MULDON, J.F. The effects of temporary nitrogen starvation on leaf photosynthetic rate and chlorophyll content of maize. **Canadian Journal of Plant Science**, v.65, p.491-500, 1985.
- GLEESSON, S.K.; TILMAN, D. Plant allocation and the multiple limitation hypothesis. **American Naturalist**, v.139, p.1322-1343, 1992.
- GLIMKÄR, A.; ERICSSON, T. Relative nitrogen limitation at steady-state nutrition as a determinant of plasticity in five grassland plant species. **Annals of Botany**, v.84, p.413-420, 1999.
- GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: O autor, 2000. 477p.
- GOMIDE, C.A.M. Morfogênese e análise de crescimento de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. Viçosa, 1997. 53p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
- GOMIDE, C.A.M.; GOMIDE, J.A. Análise de crescimento de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, p.675-680, 1999.
- GOMIDE, C.C.C. Algumas características fisiológicas e químicas de cinco cultivares de *Cynodon*. Jaboticabal, 1996. 100p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho".

- GOMIDE, J.A. Morfogênese e análise de crescimento de gramíneas tropicais. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO, Viçosa, 1997. **Proceedings**. Viçosa: UFV, 1997. p.411-429.
- HAAG, H. P. **Nutrição mineral de forrageiras no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1984. 152p.
- HAAG, H.P.; BOSE, L.V.; ANDRADE, R.G. Absorção de macronutrientes pelos capins Colonião, Gordura, Jaraguá, Napier e Pangola. **Anais de Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v. 24, p.177-188, 1967.
- HOFFMANN, C.R. Nutrição mineral e crescimento da braquiária e do colonião, sob influência das aplicações de nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre em latossolo da região noroeste do Paraná. Lavras, 1992. 204p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura de Lavras.
- HUNT, R. **Basic growth analysis**. London: Unwin Hyman, 1990. 112p.
- ITALIANO, E.C.; SILVA, J.R. Rendimento forrageiro e composição química do capim-quicuí da Amazônia em diferentes estádios de crescimento no período chuvoso. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 19., Piracicaba, 1982. **Resumos**. Piracicaba: SBZ, 1982. p.387-388.
- KANNO, T.; MACEDO, M.C.M.; UOZUMI, S.; EUCLIDES, V.P.B.; BONO, J.A.; YOSHIMURA, Y.; CORREA, M.R.; SANTOS JUNIOR, J.D.G. Development of grassland management technology for sustainable agropastoral systems in the sub-tropical zone in Brazil. In: JIRCAS/EMBRAPA GADO DE CORTE INTERNATIONAL JOINT WORKSHOP ON AGROPASTORAS SYSTEM IN SOUTH AMERICA, 19., Campo Grande, 2001. **JIRCAS working report**. Tukuba: JIRCAS, 2001. p.63-73.

- LANGER, R. H. M. Tillering in herbage grasses. **Herbage Abstracts**, v.33, p. 141-148, 1963.
- LAUDE, H. M. External factors affecting tiller development. In: YOUNGNER, V. B.; McKELL, C.M. (Ed.). **The biology and utilization of grasses**. New York: Academic Press, 1972. p.146-154.
- LEITE, G.G.; EUCLIDES, V.P.B. Utilização de pastagens de *Brachiaria* spp. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 11., Piracicaba, 1994. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 267-297.
- MACEDO, M.C.M. Pastagens no ecossistema cerrados: pesquisa para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSISTEMAS BRASILEIROS: PESQUISA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 1., Brasília, 1995. **Anais**. Brasília: SBZ, 1995. p. 28-62.
- MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M. G (Ed.). **Fisiologia vegetal**. São Paulo: EDUSP, 1985. v.1, p.332-349.
- MAIZLISH, N.A.; FRITTON, D.D.; KENDALL, W.A. Root morphology and early development of maize at varying levels of nitrogen. **Agronomy Journal**, v.72, p. 25-31, 1980.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Berlin: Academic Press, 1995. 674p.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1987. 687p.

- MONTEIRO F.A.; WERNER, J.C. Efeitos das adubações nitrogenada e fosfatada em capim-Colômbia, na formação e em pasto estabelecido. **Boletim de Indústria Animal**, v.34, p.91-101, 1977.
- MONTEIRO, F.A.; RAMOS, A.K.B.; CARVALHO, D.D.; ABREU, J.B.R; DAIUB, J.A.S.; DA SILVA, J.E.P.; NATALE, W. Cultivo de *Brachiaria brizantha* cv.Marandu em solução nutritiva com omissão de macronutrientes. **Scientia Agricola**, v.52, p. 135-141, 1995.
- MOONEY, H.A.; WINNER, W.E. Partitioning response of plants to stress. In: MOONEY, H.A.; WINNER, W.E.; PELL, E.J. (Ed.). **Response of plants to multiple stresses**. San Diego: Academic Press, 1991. p.129-141.
- NABINGER, C. Princípios da exploração intensiva de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 13., Piracicaba, 1996. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1997. p.15-95.
- NUNES, S. G.; BOOK, A.; PENTEADO, M. I. O.; GOMES, D. T. ***Brachiaria brizantha* cv. Marandu**. Campo Grande: EMBRAPA,CNPGC, 1985. 31p. (EMBRAPA.CNPGC. Documento, 21).
- PINTO, J.C. Nitrogênio e métodos de semeadura no rendimento de sementes de *Paspalum guenoarum* Arech. Viçosa, 1982. 140p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
- PINTO, J.C. Crescimento e desenvolvimento de *Andropogon gayanus*, *Panicum maximum* e *Setaria anceps* cultivadas em vasos, sob diferentes doses de nitrogênio. Viçosa, 1993. 149p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

- PINTO, J.C.; GOMIDE, J.A.; MAESTRI, M.; LOPES, N.F. Crescimento de folhas de gramíneas forrageiras tropicais cultivadas em vasos sob duas doses de nitrogênio. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.23, p.327-332, 1994.
- RADFORD, P. J. Growth analysis formulae – their use and abuse. **Crop Science**, v.7, p. 171-175, 1967.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres: POTAFOS, 1991. 343p.
- RAO, I.M.; AYARZA, M.A.; GARCIA, R. Adaptive attributes of tropical forage species to acid soil 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**, v.18, p.2135-2155, 1995.
- RAO, I. M.; KERRIDGE, P. C.; MACEDO, M. C. M. Nutritional requirements of *Brachiaria* and adaptation to acid soils. In: MILES, J.W.; MAAS, B.L.; VALLE, C.B. (Ed.) **Brachiaria: biology, agronomy, and improvement**. Cali: CIAT; Campo Grande: EMBRAPA, CNPGC, 1996a. p. 53-71.
- RAO, I. M.; ZEIGLER, R. S.; VERA, R. R.; SARKARUNG, S. Selection and breeding for acid-soil tolerance in crops; upland rice and tropical forage as case studies. **Bioscience**, v.43, p.454-465, 1993.
- RAO, I.M.; BORRERO, V.; RICAURTE, J.; GARCIA, R.; AYARZA, M. A. Adaptive attributes of tropical forage species to acid soilsII. Differences in shoot and root growth responses to varying phosphorus supply and soil type. **Journal of Plant Nutrition**, v.19, p.323-352, 1996b.

- RAO, I. M.; AYARZA, M. A.; THOMAS, R. J.; FISHER, M. J.; SANZ, J. I.; SPAIN, J. M.; LASCANO, C. E. Soil-plant factors and processes affecting productivity in ley farming. In: CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. **Pastures for the tropical lowlands**: CIAT's contribution. Cali,1992. p. 145-175.
- ROBINSON, D.; RORISON, I. H. A quantitative analysis of the relationships between root distribution and nitrogen uptake from soil by two grass species. **The Journal of Soil Science**, v. 36, p. 71-85, 1985.
- ROSA, B.; ROCHA, G.P.; ABREU, , A.R.; SILVA, H.L.; von TIESENHAUSEN, I.M.E.V. Composição química e rendimento de duas braquiárias. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 19., Piracicaba, 1982. **Resumos**. Piracicaba: SBZ, 1982. p.425-426.
- RYLE, G. J. A. Effects of two level of applied nitrogen on the growth of  $S_{37}$  cocksfoot in small simulated swards in a controlled environment. **Journal of the British Grassland Society**, v. 25, p. 20-29, 1970.
- SALINAS, J. G.; SAIF, S. R. Nutritional requirements of *Andropogon gayanus*. In: TOLEDO, J. M.; VERA, R. R.; LASCANO, C. E.; LENNÉ, J. M. (Ed.). ***Andropogon gayanus* Kunth**: a grass for tropical acid soils. Cali: CIAT, 1990. p. 99-155.
- SANTOS, A.R. Diagnose nutricional e respostas do capim-braquiária submetido a doses de nitrogênio e enxofre. Piracicaba, 1997. 115p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

- SANTOS JUNIOR, J. D. G.; CORREA, M. R.; KANNO, T.; MACEDO, M. C. M.; BERETTA, L. G. R. Mineral acquisition and utilization strategy of three tropical forages at different phosphorus and nitrogen supply. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., São Pedro, 2001. **Proceedings**. Piracicaba: FEALQ, 2001. p.188-189.
- SARRUGE, J. R. Soluções nutritivas. **Summa Phytopatologica**, v. 1, p. 231-233, 1975.
- SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análise química de plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 49p.
- SAS INSTITUTE. **SAS/STAT**: users guide; version 6. 4. ed. Cary, 1989. v.2, 846 p.
- SCHENK, U.; JÄGER, H.J.; WEIGEL, H.J. Nitrogen supply determines responses of yield and biomass partitioning of perennial ryegrass to elevated atmospheric carbon dioxide concentrations. **Journal of Plant Nutrition**, v.19, p.1423-1440, 1996.
- SCHIAVUZZO, P.F.; MONTEIRO, F.A.; LAVRES JUNIOR, F. Nitrogênio na produção e na nutrição da braquiária-Marandu. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., Viçosa, 2000. **Resumos**. Viçosa: SBZ, 2000. p.107.
- SKERMAN, P.J.; RIVEROS, F. **Tropical grasses**. Rome: Fao, 1990. 832p.
- SKINNER, R.H.; NELSON, C. J. Role of leaf appearance rate abs coleoptile tiller in regulating tiller production. **Crop Science**, v.34, p.71-75, 1994.

- SOARES FILHO, C.V. Variação sazonal nos parâmetros bioquímico-fisiológicos em *Brachiaria decumbens* estabelecida em pastagem. Piracicaba, 1991. 110p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- TOREY, J. G. The induction of lateral roots by indoleacetic acid and root decapitation. **American Journal of Botany**, v.37, p. 257-264, 1950.
- ULRICH, A.; HILLS, E.J. Plant analysis as an acid fertilizing sugar crops: part I. Sugar beets. In: WALSH, L.M.; BEATON, J.D. (Ed.). **Soil testing and plant analysis**. Madison: Soil science Society of America, 1973. p.271-288.
- VAN DER WERF A.; VAN NUENEN, M.; VISSER, A.J.; LAMBERS, H. Contribution of physiological and morphological plant traits to a species' competitive ability at high and low nitrogen supply. A hypothesis for inherent fast and slow-growing monocotyledonous species. **Oecologia**, v.94, p.434-440, 1993.
- VICENTE-CHANDLER, J. Intensive grassland management in Puerto Rico. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.2, n.2, p. 173-215, 1973.
- WERNER, J. C. **Adubação de pastagens**. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1986. 49p.
- ZIMMER, A.H.; MACEDO, M.C.M.; BARCELOS, A.O.; KICHEL, A.N. Estabelecimento e recuperação de pastagens de *Brachiaria*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 11., Piracicaba, 1994. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1994. p.153-208.