

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

Nitrogênio e enxofre na implantação do capim-Marandu em substituição ao capim-Braquiária em degradação num solo com baixa matéria orgânica

Karina Batista

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

Piracicaba
2006

Karina Batista
Engenheiro Agrônomo

Nitrogênio e enxofre na implantação do capim-Marandu em substituição ao capim-Braquiária em degradação num solo com baixa matéria orgânica

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

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

Piracicaba
2006

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

Batista, Karina

Nitrogênio e enxofre na implantação do capim-Marandu em substituição ao capim-Braquiária em degradação num solo com baixa matéria orgânica / Karina Batista. - - Piracicaba, 2006.
125 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006.
Bibliografia.

1. Capim-braquiária 2. Degradação no solo 3. Enxofre 4. Matéria orgânica do solo 5. Nitrogênio 6. Nutrientes minerais 7. Propriedades químicas do solo I. Título

CDD 633.2

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

**Resplandecente é a Sabedoria, e sua beleza é inalterável:
os que a amam descobrem-na facilmente,
os que a procuram encontram-na.
Ela antecipa-se aos que a desejam.
Quem para possuí-la, levanta-se de madrugada, não terá trabalho,
porque a encontrará sentada à sua porta.
(Sabedoria, 6:12-14)**

**Aos meus queridos pais Emerildo e Aparecida Elisa e aos meus queridos irmãos James e
Tiago pelo amor, carinho, amizade, apoio e incentivo
OFEREÇO e DEDICO**

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora por terem me iluminado e me acompanhado até agora em todas as etapas de minha vida.

Ao Prof. Dr. Francisco Antonio Monteiro, pela convivência, orientação, confiança e amizade.

Aos Professores Antonio Roque Dechen e Quirino Augusto de Camargo Carmello pela convivência, aprendizagem e amizade.

Ao Prof. Dr. Silvio José Bicudo pela amizade e orientação em minha graduação.

A Doutora Sueli dos Santos Freitas pela amizade e conhecimentos transmitidos.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ pelos conhecimentos transmitidos.

Às funcionárias do setor de Nutrição Mineral de Plantas Ednéia C. S. Mondoni, Maria Ivonete da Silva Pereira, Lúcia H. S. P. Forti, Lurdes A. D. de González, Nivanda M. de Moura, Regina Célia da Silva Santos e Sueli M. A. C. Bovi e à estagiária Thaís Liberali pelo apoio, convívio e amizade.

Aos estagiários da Nutrição Mineral de Plantas pela ajuda na condução deste trabalho.

Aos meus avós Angelina, Antonio (in memorian) e Eulália (in memorian), às minhas tias Amarilda e Rita, aos meus tios Maurício e João e aos meus primos Roninho, Cassiane e Flavinha meu muito obrigado por estarem sempre presentes em cada etapa de nossas vidas.

Ao meu namorado Thiago Felipe de Melo pelo imenso carinho.

Aos colegas de pós-graduação Adna Viana Dutra, Dylnei Consolmagno Neto, Cristiane Prezotto Silveira, Fabiano Daniel de Bona, Gilberto Nava, Gilmar Ribeiro Nachtigall, Haroldo Hoogerheide, Jackson Locks Lange, José Olímpio de Souza Júnior, Jorge Henrique dos Santos, Magnus Dall'Igna Deon, Simeire Aparecida Manarim e Suzana Pereira de Melo pela convivência e companheirismo.

À amiga Aline Marques Genú pela amizade e companheirismo desde o mestrado.

Às amigas “fasti” Geni da Silva Sodré, Kercya Maria Simões e Aline Del Vecchio pelo convívio e amizade que vai deixar saudade.

A todos os amigos que me ajudaram de alguma forma na elaboração deste trabalho, em especial as amigas Adriana Teramoto, Glaucia Tiemi Yorinori e Marcia Mascarenhas Grise que mesmo longe sempre estiveram presente com carinho, força e amizade.

Aos proprietários da Fazenda Rodomeu pelo empréstimo da área para coleta do solo para a instalação do experimento.

À Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP pela minha formação na graduação.

À CAPES pela concessão da bolsa de doutorado.

À FAPESP pelo apoio institucional prestado para a realização deste trabalho.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - USP e à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas pela realização do curso.

SUMÁRIO

RESUMO.....	10
ABSTRACT.....	11
1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 Degradação de pastagens.....	13
2.2 <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu.....	14
2.3 Nitrogênio e enxofre.....	15
2.3.1 Nitrogênio.....	15
2.3.2 Enxofre.....	15
2.4 Nitrogênio e enxofre no solo.....	15
2.4.1 Nitrogênio no solo.....	15
2.4.2 Enxofre no solo.....	17
2.5 Nitrogênio e enxofre em pastagens.....	19
2.5.1 Nitrogênio em pastagens.....	19
2.5.2 Enxofre em pastagens.....	24
2.6 Relação nitrogênio:enxofre em pastagens.....	28
2.7 Nitrogênio e enxofre no sistema radicular de pastagens.....	30
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	33
3.1 Local, espécie forrageira, tipo de solo e período do experimento.....	33
3.2 Escolha da área e coleta do solo.....	33
3.3 Análise da terra.....	34
3.4 Delineamento experimental e doses de nitrogênio e de enxofre.....	34
3.5 Instalação, aplicação de nutrientes e condução do experimento.....	35
3.6 Valor SPAD.....	37
3.7 Avaliação da área foliar.....	38
3.8 Avaliação da superfície total e comprimento total do sistema radicular.....	38
3.9 Produção de massa seca.....	38
3.10 Concentrações de nitrogênio e enxofre no tecido vegetal.....	39
3.11 Análises de solo.....	39
3.12 Nitrogênio total, nitrato e amônio no solo.....	39

3.13 Enxofre total e sulfato no solo	40
3.14 Análises estatísticas.....	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4.1 Solo.....	41
4.1.1 Matéria orgânica no solo.....	41
4.1.1.1 Matéria orgânica no solo sem a presença de plantas.....	41
4.1.1.2 Matéria orgânica no solo com a presença de plantas.....	42
4.1.2 pH no solo.....	44
4.1.2.1 pH no solo sem a presença de plantas.....	44
4.1.2.2 pH no solo com a presença de plantas.....	47
4.1.3 Nitrogênio no solo.....	49
4.1.3.1 Nitrogênio total no solo sem a presença de plantas.....	49
4.1.3.2 Nitrogênio Total no solo com a presença de plantas.....	51
4.1.3.3 Nitrato no solo sem a presença de plantas.....	52
4.1.3.4 Nitrato no solo com a presença de plantas.....	54
4.1.3.5 Amônio no solo sem a presença de plantas de plantas.....	56
4.1.3.6 Amônio no solo com a presença de plantas.....	58
4.1.4 Enxofre no solo.....	59
4.1.4.1 Enxofre total no solo sem a presença de plantas.....	59
4.1.4.2 Enxofre total no solo com a presença de plantas.....	60
4.1.4.3 Sulfato no solo sem a presença de plantas.....	61
4.1.4.4 Sulfato no solo com presença de plantas.....	63
4.2 Planta.....	66
4.2.1 Número de perfilhos e de folhas.....	66
4.2.1.1 Número total de perfilhos.....	66
4.2.1.2 Número total de folhas verdes expandidas.....	70
4.2.2 Valor SPAD.....	73
4.2.3 Área foliar total.....	75
4.2.4 Produção de massa seca da planta.....	78
4.2.4.1 Produção de massa seca da parte aérea.....	78
4.2.4.2 Produção de massa seca de raízes.....	82

4.2.5 Comprimento total e superfície total do sistema radicular.....	83
4.2.6 Consumo de água.....	85
4.2.7 Eficiência no uso de água.....	88
4.3 Concentração de nitrogênio e enxofre no capim-Marandu.....	90
4.3.1 Concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas.....	90
4.3.2 Concentração de nitrogênio na parte aérea.....	94
4.3.3 Concentração de nitrogênio nas raízes.....	97
4.3.4 Concentração de enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas.....	99
4.3.5 Concentração de enxofre na parte aérea.....	102
4.3.6 Concentração de enxofre nas raízes.....	105
4.4 Relação N:S no capim-Marandu.....	106
4.4.1 Relação N:S nas lâminas de folhas recém-expandidas.....	106
4.4.2 Relação N:S na parte aérea.....	109
4.4.3 Relação N:S nas raízes.....	111
4.5 Sintomas de carência de nitrogênio e enxofre.....	112
5 CONCLUSÕES.....	115
REFERÊNCIAS	116

RESUMO

Nitrogênio e enxofre na implantação do capim-Marandu em substituição do capim-Braquiária em degradação num solo com baixa matéria orgânica

A deficiência de nitrogênio tem sido apontada como uma das principais causas da degradação de pastagens, mas o suprimento de enxofre também é relevante nessa situação. Objetivou-se avaliar os efeitos das combinações entre doses de nitrogênio e de enxofre em características produtivas, fisiológicas e nutricionais da planta e nos atributos químicos do solo, na implantação do capim-Marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) em Neossolo Quartzarênico proveniente de área de capim-Braquiária (*Brachiaria decumbens*) em degradação, com baixo teor de matéria orgânica. O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação, em Piracicaba, Estado de São Paulo, no período de dezembro de 2004 a abril de 2005. Utilizou-se esquema fatorial 5^2 fracionado, com 13 combinações para as doses de nitrogênio e enxofre, em mg dm^{-3} : 0-0; 0-20; 0-40; 100-10; 100-30; 200-0; 200-20; 200-40; 300-10; 300-30; 400-0; 400-20 e 400-40, as quais foram distribuídas em delineamento estatístico de blocos ao acaso, com quatro repetições. Foram realizados três cortes nas plantas e a cada corte era coletada uma amostra de solo de cada unidade experimental. Após o terceiro corte as raízes foram separadas do solo e tiveram o comprimento e a superfície avaliados. Os resultados demonstraram que o fornecimento de nitrogênio foi fundamental para o crescimento inicial e adequado estabelecimento do capim-Marandu. Quando o nitrogênio foi fornecido em altas doses foi necessário cuidar do fornecimento de enxofre para a maximização da produção do capim-Marandu, bem como para o valor SPAD, a concentração de nitrogênio e de enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas e parte aérea e para a relação N:S na parte aérea. O valor SPAD refletiu diretamente a concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim. O nitrogênio foi determinante para a maximização da massa seca de raízes, do comprimento do sistema radicular, da relação nitrogênio e enxofre no sistema radicular do capim-Marandu e dos teores de nitrato e amônio no solo suportando o capim-Marandu. A aplicação de enxofre proporcionou aumento da concentração de enxofre na parte aérea e no sistema radicular do capim, e dos teores de sulfato e enxofre total no solo com a presença do capim. A relação adequada entre as doses de nitrogênio e de enxofre para a maximização das características produtivas do capim-Marandu esteve no intervalo entre doses de 8:1 a 11:1.

Palavras-chave: Neossolo Quartzarênico; Nutrição mineral; Produção; Relação N:S; SPAD

ABSTRACT

Nitrogen and sulfur for Marandu grass establishment in replacing signal grass under degradation in a low organic matter soil

Nitrogen deficiency has been mentioned as one of the main reasons for pasture degradation, but sulphur supply also is considerable in such cases. The objective was to evaluate the effects of combinations between nitrogen and sulphur rates in productive, physiological and nutritional plant characteristics and in some soil parameters at the establishment of Marandu grass in Typic Quartzipsamment with low organic matter concentration taken from a degrading Signal grass pasture. The experiment was carried out in a greenhouse, at Piracicaba, State of São Paulo, Brazil, from December 2004 to April 2005. A fractionated 5^2 factorial was used, with 13 combinations for the nitrogen and sulfur rates, in mg dm^{-3} : 0-0; 0-20; 0-40; 100-10; 100-30; 200-0; 200-20; 200-40; 300-10; 300-30; 400-0; 400-20 e 400-40, which were set in a randomized block design, with four replications. Plants were harvested three times, and at each harvest a soil sample was taken from each experimental unit. Following the third harvest, roots were separated from the soil and their length and surface were measured. The results showed that nitrogen supply was essential for the initial growth and adequate establishment of Marandu grass. When nitrogen was supplied at high rates, it was necessary a special care with sulphur supply to maximize dry matter yield, SPAD value, nitrogen and sulphur concentrations in the newly expanded leaves and plant tops and N:S ratio in plant tops. SPAD value was directly related to nitrogen concentration in the newly expanded leaves. Nitrogen was also decisive for maximizing roots dry weight and length, N:S ratio in the roots, and nitrate and ammonium in the soil with the grass. Sulphur application resulted in increase in the sulphur concentration in the grass tops and roots, and in the sulphate and total sulphur in the soil supporting the grass. Adequate ratio between nitrogen and sulphur rates to maximize the productive characteristics of Marandu grass was in the range of 8:1 a 11:1.

Keywords: Mineral nutrition; N:S ratio; Production; SPAD; Typic Quartzipsamment

1 INTRODUÇÃO

A baixa fertilidade dos solos tem gerado a degradação das pastagens e, em várias regiões do país e do mundo, pesquisadores e produtores de diversas áreas procuram solução para esse problema.

É importante ressaltar que a degradação observada atualmente nas pastagens é resultante da maneira como os produtores conduzem essa cultura, sendo o fornecimento de nutrientes realizado na maioria dos casos apenas por intermédio da reciclagem de nutrientes via resíduos vegetais ou animais. E neste contexto se insere a importância do suprimento adequado de nitrogênio e de enxofre, já que ambos são provenientes da mineralização da matéria orgânica no solo e fazem parte de aminoácidos essenciais para a produção de proteínas nas plantas.

O emprego da adubação tem sido fundamental na formação, na manutenção e na recuperação dessas pastagens e, particularmente a aplicação de nitrogênio tem se mostrado prioritária nos casos de pastagens exclusivas de gramíneas, como as que predominam nas condições brasileiras. A necessidade da utilização do enxofre, bem como a sua interação com o nitrogênio, muitas vezes não é avaliada, tanto em situações de pesquisa como ao nível de produção nas propriedades agropecuárias.

O nitrogênio e o enxofre estão presentes nas frações orgânica e inorgânica dos solos e estão envolvidos nos processos de mineralização que ocorrem entre essas frações. Áreas com capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*), que tem apresentado alto grau de degradação, têm apresentado também teores de matéria orgânica no solo variando de muito baixos (como 10 g dm^{-3}) a relativamente mais elevados (como 30 g dm^{-3}), o que pode influenciar o andamento dos processos de mineralização e a tomada de decisão quanto à aplicação do nitrogênio ou do enxofre ou mesmo da combinação desses dois nutrientes.

Pesquisas com o uso de solução nutritiva demonstraram a importância da relação entre nitrogênio e enxofre nas respostas de gramíneas forrageiras. Nesse contexto objetivou-se estudar a interferência das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre na implantação do capim-Marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) em solo proveniente de área de capim-Braquiária (*Brachiaria decumbens*) em degradação, com teor baixo de matéria orgânica, avaliando-se parâmetros produtivos, fisiológicos e nutricionais da planta e químicos do solo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Degradação de pastagens

A degradação de pastagens pode ser definida como sendo a perda de vigor, produtividade e capacidade natural de cobertura do solo, que resulta em redução na produção e queda na qualidade de forrageiras, necessárias para suportar animais e superar os efeitos indesejáveis de insetos, doenças e plantas invasoras (NASCIMENTO JÚNIOR; QUEIROZ; SANTOS, 1994).

Dentre as causas que tem levado as pastagens cultivadas à degradação, as mais comuns são o esgotamento da fertilidade do solo e o manejo inadequado da pastagem (SOARES FILHO; MONTEIRO; CORSI, 1992b), e, esse esgotamento da fertilidade do solo, tem conduzido os pecuaristas à substituição cíclica de espécies forrageiras (SOARES FILHO; MONTEIRO; CORSI, 1992a). Tem-se verificado expansão da área brasileira de capins do gênero *Brachiaria*, que após dois ou três anos de utilização sob pastejo tem reduzido drasticamente sua produção de massa, devido sua degradação, o que acaba por afetar a produção de carne e leite (LOURENÇO, 1993).

A degradação das pastagens não é um fenômeno restrito ou localizado, mas uma realidade em grande parte da área de pastagens do mundo (SOUZA NETO; PEDREIRA, 2004). Cerca de 20% das áreas de pastagens no mundo apresentam grau de degradação de 25 a 50% e 4,1% das áreas de pastagens do mundo apresentam degradação de mais de 50% de sua área (SBRISSIA; SILVA, 2001).

A maioria das pastagens plantadas foi estabelecida em áreas cuja vegetação original era de mata e na formação destas pastagens foi aproveitada a fertilidade natural dos solos. Na seqüência, as pastagens foram utilizadas por anos sucessivos e o fornecimento de nutrientes foi realizado apenas por intermédio da reciclagem de nutrientes via resíduos vegetais ou animais. Desse modo, com o passar dos anos, ocorreu exaustão dos solos e conseqüente perda da produtividade das pastagens (COSTA, 1980).

A baixa disponibilidade de nitrogênio tem sido apontada como uma das principais causas da degradação de pastagens. Por outro lado, em se tratando de pastagem com gramínea forrageira, o enxofre tem grande importância, pois essa família mostra-se exigente em enxofre, principalmente, quando o suprimento de nitrogênio é elevado (WERNER, 1986).

2.2 *Brachiaria brizantha* cv. Marandu

As pastagens abrangem aproximadamente 25% da área do Brasil, com cerca de 200 milhões de hectares ocupados atualmente por pastagens cultivadas e nativas. No Estado de São Paulo as pastagens ocupam em torno de 10,3 milhões de hectares (51,4%) dos cerca de 20 milhões de hectares sob exploração agrícola (FERREIRA et al., 1999). Com referência às espécies de gramíneas, no país como um todo, atualmente sobressaem as braquiárias (*Brachiaria sp.*), que no Estado de São Paulo ocupam mais de 7,6 milhões de hectares (FERREIRA et al., 1999). A *Brachiaria decumbens* foi expandida antes das outras braquiárias nas condições do Brasil Central e tornou-se a principal forrageira nas pastagens dessa região do país durante várias décadas. Por outro lado, a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu passou a ter a preferência dos agropecuaristas no decorrer das duas décadas mais recentes, representa atualmente cerca de 80% do volume de vendas de sementes entre todas as braquiárias no Brasil e, no Estado de São Paulo, aproximadamente 40% da área das pastagens plantadas já é composta por esse capim (MITIDIARI, 2003).

O nome Marandu (que significa novidade no idioma tupi-guarani) foi dado a um ecótipo de *Brachiaria brizantha* estudado e liberado pela Embrapa Gado de Corte em conjunto com a Embrapa Cerrados, em 1983-1984. Trata-se de uma espécie de crescimento cespitoso, muito robusta, que pode atingir de 1,5 a 2,5 m de altura quando em livre crescimento, apresenta colmos iniciais prostrados, mas produz perfilhos predominantemente eretos, rizomas muito curtos e encurvados e bainhas pilosas com cílios nas margens, geralmente mais longas que os entrenós, escondendo os nós, o que confere a impressão de haver densa pilosidade nos colmos vegetativos (NUNES et al., 1985).

A *Brachiaria brizantha* é originária de uma região vulcânica da África, onde os solos geralmente apresentam bons níveis de fertilidade, com precipitação pluvial anual ao redor de 700 mm e cerca de oito meses de seca no inverno. É recomendada como alternativa para cerrados de média a boa fertilidade, face a alta produção de forragem, persistência, boa capacidade de rebrota, tolerâncias ao frio, à seca, e ao fogo e a resistência ao ataque de cigarrinhas. A produção média anual é de 4 a 8 Mg ha⁻¹ de massa seca e pode chegar a 20 Mg ha⁻¹ (ALCÂNTARA; BUFARAH, 1992). Uma das formas de aumentar a produtividade e melhorar o valor nutritivo e alimentício das pastagens, tem sido através do aproveitamento de novas gramíneas forrageiras, e nesse aspecto se destaca o capim-Marandu (ABREU; MONTEIRO, 1999).

2.3 Nitrogênio e enxofre

2.3.1 Nitrogênio

O nitrogênio é elemento móvel circulando entre a atmosfera, o solo e os microorganismos. As plantas superiores são as maiores contribuidoras da grande quantidade de nitrogênio que é continuamente convertida das formas inorgânicas para as formas orgânicas (MENGEL; KIRKBY, 2001). O nitrato e o amônio são as fontes mais comuns de nitrogênio inorgânico absorvidos pelas raízes de plantas superiores. Muito do amônio absorvido pelas plantas é incorporado em compostos orgânicos nas raízes, enquanto que o nitrato pode ser estocado nos vacúolos de raízes, parte aérea e órgãos de reserva. O nitrogênio é um constituinte indispensável de numerosos compostos orgânicos, como aminoácidos, proteínas, bases nitrogenadas, ácidos nucleicos e de compostos secundários tais como os alcalóides (MENGEL; KIRKBY, 2001).

2.3.2 Enxofre

O enxofre ocorre no solo em ambas as formas orgânica e inorgânica. Entretanto a mais importante fonte de enxofre para as plantas é o sulfato (MENGEL; KIRKBY, 2001). O sulfato é absorvido pelas raízes em taxas relativamente baixas e seu transporte a longas distâncias ocorre pelo xilema. O sulfato absorvido pode ser reduzido para que o enxofre possa ser incorporado a aminoácidos, proteínas e coenzimas ou pode ser utilizado sem redução e incorporado dentro de estruturas orgânicas essenciais tais como sulfolípidos. O enxofre reduzido também pode ser reoxidado em plantas. O enxofre é constituinte dos aminoácidos cisteína e metionina e, portanto das proteínas que os contém. Esses aminoácidos são precursores de outros compostos contendo enxofre, tais como coenzimas e produtos secundários das plantas. O enxofre é constituinte estrutural desses compostos ou atua como grupo funcional diretamente envolvido em reações metabólicas (MARSCHNER, 1995)

2.4 Nitrogênio e enxofre no solo

2.4.1 Nitrogênio no solo

As formas orgânicas e inorgânicas, tanto de nitrogênio como de enxofre do solo, estão relacionadas aos processos de mineralização e imobilização. Estes processos exercem papel importante na distribuição de nitrogênio e enxofre no solo (JANNSSON; PERSSON, 1982). A

maior parte do nitrogênio e do enxofre do solo está fortemente ligada à matéria orgânica, que tem relação com a distribuição e transformação das formas orgânicas e inorgânicas do solo, além das inter-relações com o nitrogênio e o enxofre da atmosfera e biosfera. Em geral, somente alguns quilogramas de nitrogênio e enxofre por hectare encontram-se disponíveis para as plantas em formas minerais como NO_3^- , NH_4^+ e SO_4^{2-} (FRENEY, 1986).

Em pastagens tropicais extensivamente manejadas, sem fertilização nitrogenada, a disponibilidade de nitrogênio depende diretamente da mineralização do nitrogênio dos resíduos orgânicos. O resultado desse processo pode variar com o tempo e, principalmente, com a natureza do resíduo orgânico em decomposição, além de depender da atividade microbiana do solo (MONTEIRO, 2000). As pastagens constituídas por gramíneas podem apresentar resíduos com alta relação C:N, que acabam por favorecer a imobilização do nitrogênio inorgânico, comprometendo a disponibilidade do nitrogênio (ROBBINS; BUSHHELL; BUTLER, 1987).

O nitrogênio total em solos envolve espécies químicas bem heterogêneas, predominantemente na forma orgânica, que inclui desde compostos de baixa massa molar até substâncias com fórmulas complexas e resistentes à decomposição (CANTARELLA; TRIVELIN, 2001). O teor de nitrogênio total na camada superficial dos solos cultivados pode variar entre 0,6 a 5 g dm^{-3} (BREMNER, 1996).

A mineralização da matéria orgânica no solo envolve dois processos microbiológicos distintos: a amonificação e a nitrificação. A amonificação é um processo que resulta na produção de amônio e a nitrificação é um processo biológico no qual o amônio que é termodinamicamente instável em solos com oxigênio livre, é oxidado a nitrato, a principal forma de nitrogênio absorvido pelas plantas (CANTARELLA; ABREU; BERTON, 1992).

No solo, a amônia (NH_3) é convertida rapidamente a amônio (NH_4^+), e este é então oxidado até NO_3^- . No processo de oxidação, durante a passagem de NH_4^+ para NO_3^- ocorre a liberação de dois H^+ . No balanço geral, considerando-se como fonte de NH_3 a mineralização da matéria orgânica, tem-se um mol de H^+ por mol de NH_3 oxidada. Entretanto, quando o NH_4^+ é aplicado diretamente ao solo, no processo de nitrificação serão liberados dois H^+ por mol de nitrogênio oxidado (FERNANDES; ROSSIELLO, 1986).

O teor de nitrato em Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com os capins Aruana e Mombaça foi determinado por Colozza (1998), que observou durante o período de incubação (42 dias) que a mineralização do nitrogênio orgânico resultou em incremento de cerca de 54% no teor

de nitrato. Acrescentou que os teores de nitrato mostraram que o nitrogênio aplicado nas doses mais altas não foi totalmente consumido pelas plantas.

Campos (2004), estudando a fertilização com sulfato de amônio de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico do cerrado de Brasília sob pastagem de capim-Braquiária, verificou que o aumento nas doses de nitrogênio em cobertura promoveu, no tratamento sem fertilização nitrogenada em pré-semeadura, redução linear no teor de nitrogênio total no solo. Atribuiu isto à mineralização e à extração do nutriente pelas plantas e ressaltou que o comportamento do nitrogênio total acompanhou o da matéria orgânica, o que, segundo o autor, já era esperado em vista do nitrogênio ser um constituinte dos compostos orgânicos no solo e aproximadamente 98% encontrar-se na forma orgânica. Para as amostras de solo da camada superficial (0-20 cm), na época da colheita do milho (*Zea mays*), nos tratamentos com nitrogênio de 0 e 120 kg ha⁻¹, respectivamente, em cobertura e na pré-semeadura, observou que o teor de NH₄⁺ (24 mg g⁻¹) e de NO₃⁻ (2,9 mg g⁻¹) no tratamento com nitrogênio em cobertura foi inferior ao teor de NH₄⁺ (31,3 mg g⁻¹) e NO₃⁻ (4,4 mg g⁻¹) daquele com fertilização nitrogenada em pré-semeadura. O autor ressaltou ainda que o teor de NH₄⁺ foi superior ao teor de NO₃⁻ nas duas situações e que esses resultados evidenciaram redução na atividade do processo de nitrificação.

Bonfim-da-Silva (2005), ao estudar o nitrogênio e o enxofre na recuperação de pastagem de capim-Braquiária em degradação em solo com teor de matéria orgânica de 28 g dm⁻³, observou efeito significativo para o nitrogênio total das doses de nitrogênio aplicadas ao solo, em cada um dos três períodos de crescimento do capim. Para os teores de nitrato e amônio verificou efeito significativo para as doses individuais de nitrogênio nas amostras coletadas após o segundo e terceiro cortes do capim

2.4.2 Enxofre no solo

O teor de enxofre total dos solos varia amplamente, de cerca de 50 a 50000 mg kg⁻¹. Altos níveis de enxofre no solo estão usualmente associados com a pobreza dos sistemas de aeração ou a áreas extremamente secas (FRENEY, 1961). A matéria orgânica, na maioria dos solos cultivados, é a principal fonte de enxofre. Entretanto, o teor de enxofre total no solo é baixo em relação a outros componentes do ciclo do enxofre na biosfera (TRUDINGER, 1975). Desta forma, o teor de enxofre total no solo indica as reservas deste elemento que podem ser convertidas na forma de sulfato por ação química ou bacteriana e o teor de enxofre nos solos

cultivados pode variar de valores próximos a 0 até ao redor de $0,6 \text{ g dm}^{-3}$, enquanto que em solos orgânicos pode chegar próximo de 5 g dm^{-3} e em muitos solos esse teor varia entre 0,1 e $0,5 \text{ g dm}^{-3}$ (BEATON; BURNS; PLATOU, 1968).

As frações do enxofre, bem como a relação carbono, nitrogênio e enxofre em pastagem, floresta e associações de solos foram estudadas por Bettany, Stewart e Hasted (1973) em amostras de solo coletadas na profundidade de 0-15 cm. Relataram que o teor total de enxofre nos solos variou de 88 a 760 mg dm^{-3} e descreveram que o teor de enxofre está altamente correlacionado com o carbono e o nitrogênio orgânico.

Neptune; Tabatabai e Hanway (1975), estudando as frações de enxofre em amostras de solo dos Estados de São Paulo e Paraná, observaram que o teor de enxofre total no solo variou de 43 a 398 mg dm^{-3} e também que esse teor de enxofre total nos solos brasileiros correlacionou-se significativamente com o nitrogênio total. Ressaltaram que esses solos continham cerca de 5 a 23% de enxofre na forma de sulfato e que os solos brasileiros apresentavam maiores teores de sulfato que os solos Iowa (EUA).

Bettany; Stewart e Hasted (1980), comparando as quantidades e formas de enxofre em frações da matéria orgânica de solos após sessenta e cinco anos de cultivo, encontraram que os teores de carbono, nitrogênio e enxofre total foram menores nos solos cultivados quando comparados com solo sob pastagem.

A mineralização de compostos orgânicos contendo enxofre em sua constituição é fundamental para o fornecimento de enxofre inorgânico (SO_4^{2-}), principal forma em que esse nutriente é absorvido pelas plantas. No entanto, nem todo enxofre mineralizado é aproveitado pelas plantas, devido à ocorrência de perdas, principalmente por lixiviação (CANTARELLA; ABREU; BERTON, 1992). Em condições tropicais e subtropicais o sulfato pode estar presente em quantidades apreciáveis. Entretanto vale ressaltar que nestas condições os solos de textura arenosa apresentam teores muito baixos de matéria orgânica os quais são oxidados rapidamente liberando sulfato (PASRICHA; FOX, 1993).

Bettany; Stewart e Hasted (1973), ao estudarem as frações do enxofre, bem como a relação carbono, nitrogênio e enxofre em pastagem, floresta e associações de solos, verificaram que o teor de sulfato inorgânico variou de 0,5 a $13,5 \text{ mg kg}^{-1}$ correspondendo somente a 0,5 a 3,6 % do enxofre total.

Em estudo sobre a adsorção de sulfato e frações de enxofre em um solo altamente intemperizado sob uma floresta decídua, Johnson e Henderson (1979) relataram que o teor de sulfato correspondeu de 12 a 37% do enxofre total. Também Cantarella e Prochnow (2001) ressaltaram que o sulfato representa a maior fração do enxofre inorgânico nos solos, em geral, prontamente disponível às plantas.

Os efeitos da aplicação de enxofre, em solo de pastagem com capim-Braquiária em degradação, no enxofre total no solo, foram estudados por Bonfim-da-Silva (2005) que observou efeito significativo das doses de enxofre (0, 10, 20, 30 e 40 mg dm⁻³) no teor de enxofre total e sulfato na ocasião do primeiro, segundo e terceiro cortes.

2.5 Nitrogênio e enxofre em pastagens

2.5.1 Nitrogênio em pastagens

Entre os macronutrientes, o nitrogênio é o responsável pelo alcance da máxima produtividade da planta forrageira, pois permite, estando todos os outros nutrientes em quantidades adequadas, que a planta desenvolva o seu potencial de produtividade. A adubação nitrogenada estimula mais rapidamente o crescimento das forrageiras, sendo possível colheitas mais frequentes de forragem mais digestível (RIBEIRO, 1995).

Os efeitos das adubações nitrogenada e fosfatada em capim-Colonião (*Panicum maximum*), na formação e em pasto estabelecido, foram pesquisados por Monteiro e Werner (1977), os quais observaram que o requerimento de nitrogênio é maior após o desenvolvimento inicial da gramínea, incrementando a produção de massa seca, bem como a concentração e a produção de proteína bruta. Nesse sentido, também Werner; Quagliato e Martinelli (1967) verificaram que, à exceção da adubação fosfatada, a falta de adubação nitrogenada foi a que mais influenciou no crescimento do capim-Colonião em formação, limitando a produção de massa seca e o número de perfilhos.

O efeito da adubação nitrogenada com nitrato de amônio na produção de feno do capim-Colonião em um Latossolo Vermelho Amarelo foi estudado por Andrade, Ferrari Júnior e Henrique (1991), observaram não haver diferença no aumento de produção de feno entre as doses de nitrogênio de 166 kg ha⁻¹ e 337 kg ha⁻¹. Os autores justificaram essa resposta como resultante da aplicação elevada de adubo na dose de 337 kg ha⁻¹, a qual provocou queima das plantas, conseqüentemente reduzindo o estande.

As limitações nutricionais da *Brachiaria decumbens* foram estudadas em casa-de-vegetação por Ferrari Neto (1991), que constatou serem os elementos mais limitantes para a produção de massa seca, em ordem decrescente, nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre. Neste sentido também, Faquin et al. (1995), pesquisando as limitações nutricionais para gramíneas forrageiras, observaram que na *Brachiaria brizantha* e no *Andropogon gayanus* os tratamentos que mais limitaram o crescimento das plantas foram os de omissões de nitrogênio, fósforo e potássio.

As respostas do capim-Marandu a não aplicação de nitrogênio foram estudadas por Monteiro et al. (1995). Observaram que havia limitação para o crescimento das plantas e, conseqüentemente, na produção de massa seca da parte aérea. Neste sentido, Marques et al. (1995), estudando as limitações nutricionais de um Cambissolo álico da microrregião Campos da Mantiqueira-MG para o capim-Marandu, observaram que a não aplicação de nitrogênio promoveu significativa redução na massa seca da parte aérea na ocasião do primeiro corte (138 dias após a semeadura), e que no segundo corte (208 dias após a semeadura) ocorreu agravamento da deficiência de nitrogênio.

Ferragine e Monteiro (1999), estudando as combinações de doses de nitrogênio e potássio na nutrição mineral do capim-Braquiária, observaram ser a dose de nitrogênio de 434 mg L⁻¹ a responsável pela maior produção de massa seca da parte aérea, aos 43 dias após o transplante. Entretanto, o manejo correto da adubação nitrogenada e a manutenção de suprimento adequado de nitrogênio, com vistas à obtenção de máxima produtividade e boa qualidade da forragem, através da avaliação da disponibilidade de nitrogênio no solo, são dificultados pelas transformações químicas e biológicas a que está sujeito o nitrogênio no solo, tornando difícil adequar as quantidades a serem aplicadas desse fator de produção às necessidades das forrageiras (COLOZZA et al., 2000).

Estudando a produção e a qualidade do capim-Tanzânia (*Panicum maximum*) estabelecido com milheto (*Pennisetum glaucum*) sob três doses de nitrogênio (60, 120 e 180 kg ha⁻¹), Barros (2000) relatou que as doses de nitrogênio resultaram em aumento linear da produção de massa seca do capim, verificando incremento de 31,1 quilogramas na produção de massa seca para cada quilograma de nitrogênio aplicado.

Bonfim-da-Silva (2005), estudando a utilização de nitrogênio na forma de nitrato de amônio (0, 100, 200, 300, 400 g dm⁻³) e de enxofre na forma de sulfato de cálcio (0, 10, 20, 30 e

40 g dm⁻³) na recuperação de pastagem de capim-Braquiária em degradação em Neossolo Quartzarênico com expressiva matéria orgânica, verificou respostas significativas às doses de nitrogênio nas ocasiões do segundo e do terceiro cortes, sendo as doses de nitrogênio de 366 e 288 mg dm⁻³ responsáveis pelas máximas produções de massa seca do capim-Braquiária nesses cortes, respectivamente.

Em gramíneas, cada folha (exceto aquela imediatamente abaixo da inflorescência) pode ter um perfilho brotando em uma gema axilar, e sempre que o suprimento de nutriente é adequado e a competição por espaço não é severa, a maior parte destas gemas desenvolveu-se formando os perfilhos. Quando o nitrogênio está deficiente, o desenvolvimento de perfilhos é inibido, mas aumentando-se o suprimento de nitrogênio para as plantas que crescem individualmente, aumenta-se o número de perfilhos por planta (LANGER, 1963).

Ruggieri, Favoretto e Malheiros (1994), ao estudarem as características de crescimento e produção de massa seca da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, em função da adubação nitrogenada com nitrato de amônio e regimes de corte, verificaram que o aumento das doses de nitrogênio (0,33 e 66 kg ha⁻¹) resultou em aumento da produção de folhas, e ressaltaram que este fato pode estar relacionado com as quantidades aplicadas do adubo, nos períodos de crescimento, o que, pode ter influenciado positivamente na proporção de folhas em relação às demais partes da planta, mesmo não resultando esses aumentos, em superioridade na produção de folhas.

Para Nabinger e Medeiros (1995) a disponibilidade de nitrogênio é o fator dominante que controla os processos de crescimento e desenvolvimento da planta, traduzido sobretudo pela maior rapidez de formação das gemas axilares e de iniciação dos perfilhos correspondentes, mas esta iniciação só se manifesta enquanto o índice de área foliar não for maior que um valor crítico, alterando a quantidade de luz que atinge às gemas mais tardias. Desta forma, os fatores do meio que podem ser favoráveis ao perfilhamento, quando a cobertura vegetal está pouco desenvolvida, podem ter efeito negativo quando essa cobertura está bem desenvolvida, porque o índice de área foliar aumenta e conseqüentemente a competição pela luz entre perfilhos. A deficiência de nitrogênio resulta em maior número de gemas dormentes enquanto o nível adequado de nutrição nitrogenada permite o máximo perfilhamento.

A produção de tecido foliar pode ser analisada como resultado da interação de dois processos: (i) a produção de assimilados pela plantas, resultante da interceptação luminosa e fotossíntese, e (ii) o uso de assimilados por meristemas foliares para a produção de novos

crescimentos foliares e, finalmente, para a expansão foliar. Assim, a taxa de expansão de novos tecidos foliares na planta pode ser considerada limitante para a produção ou uso de assimilados. O uso de assimilados pelos meristemas foliares é determinado diretamente pela temperatura, que dirige as taxas de divisão e expansão celular e cria demanda por carbono e nitrogênio para providenciar energia e material para expansão do tecido foliar (LEMAIRE; AGNUSDEI, 1999).

Em estudo sobre as respostas do capim-Aruana a doses de nitrogênio, Colozza et al. (2000) observaram que o número de perfilhos variou significativamente com as doses de nitrogênio, em dois cortes da gramínea (35 dias após a semeadura e 34 dias após o primeiro corte), tendo o máximo número ocorrido com a aplicação de nitrogênio de 150 e 233 mg kg⁻¹ no solo, para o primeiro e segundo cortes respectivamente. O maior número de perfilhos verificado no segundo corte, em relação ao primeiro na ausência de adubação com nitrogênio não foi suficiente para manter a produção de massa seca da parte aérea do segundo corte ao nível do primeiro, o que pode ser explicado pelo fato de que, em plantas deficientes em nitrogênio, as folhas são menores e em menor número, contribuindo para menor produção de massa seca.

Braga (2001), estudando a resposta do capim-Mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça) a doses de nitrogênio, relatou que houve efeito quadrático do nitrogênio no número de perfilhos, sendo que o ponto de máximo foi constatado na dose de 406 kg ha⁻¹.

A área foliar é um importante parâmetro para a análise de crescimento e desenvolvimento das plantas. Quanto maior a área foliar, maior será a superfície de exposição das folhas, e portanto maior a capacidade fotossintética da planta (BATISTA, 2002 e TAIZ; ZEIGER, 2004).

O nitrogênio promove alterações na morfologia das plantas. Em condições de alto suprimento de nitrogênio ocorre aumento na área foliar e como consequência amplia a curvatura das folhas em efeito que interfere na interceptação de luz (MARSCHNER, 1995).

Santos Junior e Monteiro (2003), analisando a dinâmica de crescimento e nutrição do capim-Marandu submetido a doses de nitrogênio, observaram que a área foliar foi significativamente alterada pelas doses de nitrogênio.

Os componentes de produção e morfogenese do capim-Aruana em resposta ao nitrogênio foram estudados por Lavres Junior et al. (2004). Relataram que as doses de nitrogênio promoveram incrementos na área foliar do capim, por ocasião dos dois cortes.

Para a avaliação da nutrição (particularmente a nitrogenada) das culturas tem-se utilizado um equipamento denominado clorofilômetro (SPAD 502), o qual determina indiretamente a

concentração de clorofila nas folhas, pela leitura da reflectância do verde no comprimento de onda de aproximadamente 650 nm. Essa concentração de clorofila está diretamente correlacionada com a concentração de nitrogênio nas folhas e, por conseguinte, com a nutrição e a produção vegetal. A relação entre o valor SPAD e a concentração de nitrogênio pode ser linear até que o nitrogênio não seja mais assimilado e seja acumulado na forma de nitrato, tendendo a uma estabilização da intensidade de verde, de forma a refletir o acúmulo de nitrato (ABREU; MONTEIRO, 1999). Pesquisas (COLOZZA, 1998, ABREU; MONTEIRO, 1999, BATISTA, 2002 e MATTOS, 2003) realizadas com a finalidade de relacionar o teor de clorofila determinado pelo clorofilômetro com a concentração de nitrogênio nas folhas de plantas anuais de interesse econômico têm demonstrado que essa determinação é promissora para avaliar o estado nutricional das plantas em relação ao nitrogênio. Entretanto, o número de informações com gramíneas forrageiras tropicais é pequeno (COLOZZA et al., 2000).

Em estudo sobre o rendimento e diagnose foliar dos capins Aruana e Mombaça cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo adubado com doses de nitrogênio, Colozza (1998) encontrou valores SPAD máximos de 32,7 e 39,7 nas lâminas de folhas recém-expandidas, respectivamente, no primeiro e segundo crescimentos do capim-Aruana. Para o capim-Mombaça observou que o valor SPAD aumentou linearmente com as doses de nitrogênio e as folhas recém-expandidas apresentaram o valor SPAD máximo de 38,6 para os dois cortes da gramínea.

Quando uma dose muito baixa de fertilizante nitrogenado é aplicada para uma gramínea forrageira que está seriamente deficiente em nitrogênio, geralmente ocorre aumento na produção dessa gramínea, mas verifica-se pouca ou nenhuma mudança na concentração de nitrogênio no tecido vegetal. Entretanto, quando uma dose elevada de nitrogênio é aplicada, tanto a produção quanto a concentração do nutriente aumentam até a produção alcançar o máximo. Às vezes quando uma baixa dose de nitrogênio é aplicada (50 a 100 kg ha⁻¹) numa pastagem deficiente, o aumento da produção é associado a um pequeno decréscimo na concentração de nitrogênio na planta (WHITEHEAD, 1995).

Abreu e Monteiro (1999), em experimento com o objetivo de avaliar a produção e a nutrição do capim-Marandu em função da adubação nitrogenada com nitrato de amônio (doses de nitrogênio de 0; 75; 150 e 300 mg kg⁻¹ de solo) e dos estádios de crescimento, relataram que para as lâminas de folhas recém-expandidas aos 14 dias do primeiro crescimento da forrageira

ocorreu variação de 33,6 a 39,9 mg kg⁻¹ na concentração de nitrogênio da menor para a maior dose de nitrogênio.

Batista (2002), estudando as respostas do capim-Marandu a combinações de doses de nitrogênio e enxofre, concluiu que doses elevadas de nitrogênio (no mínimo 400 mg L⁻¹) são necessárias para maximizar a concentração de nitrogênio em lâminas de folhas recém-expandidas.

Campos (2004), ao estudar a fertilização com sulfato de amônio em um solo sob pastagem, verificou que a concentração de nitrogênio na parte aérea do capim-Braquiária aos 250 dias após o nivelamento da altura do capim respondeu linearmente às doses de nitrogênio (0, 60 e 120 kg ha⁻¹), e que a dose de 60 kg ha⁻¹ aos 71 dias após o nivelamento da altura do capim-Braquiária foi suficiente para concentração adequada de nitrogênio na parte aérea do capim.

A utilização de nitrogênio (0, 100, 200, 300, 400 g dm⁻³) na forma de nitrato de amônio e de enxofre (0, 10, 20, 30 e 40 g dm⁻³) na forma de sulfato de cálcio na recuperação de pastagem de capim-Braquiária em degradação em Neossolo Quartzarênico com teor de matéria orgânica de 28 g kg⁻¹ foi estudada por Bonfim-da-Silva (2005). Observou que a concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim respondeu apenas às doses de nitrogênio para todos os cortes.

2.5.2 Enxofre em pastagens

O aumento da utilização de adubos concentrados vem reduzindo significativamente a adição de enxofre em áreas de cultivo, com efeitos mais agravantes em solos de textura mais arenosa e com baixo teor de matéria orgânica, situados em áreas de alta incidência pluvial e, em condições de baixa disponibilidade desse nutriente, verifica-se limitação na produção de massa seca de forrageiras (SANTOS; MONTEIRO, 1999).

Werner, Quagliato e Martinelli (1967), quando empregaram enxofre em 40 kg ha⁻¹ na adubação completa, relataram aumento significativo na produção de massa seca do capim-Colonião. Ferrari Neto (1991) constatou que, em condições de não aplicação de enxofre, os capins Braquiária e Colonião apresentaram reduções de 30 a 41% na produção de massa seca da parte aérea. Santos (1997) também relatou limitação na produção de massa seca do capim-Braquiária em condições de baixa disponibilidade de enxofre.

Na estimativa de doses recomendáveis e níveis críticos de fósforo e enxofre em casa-de-vegetação, Mello, Oliveira e Alvarez (1991) não observaram efeito das doses de enxofre (0; 7; 10; 20; 30; 40; 60; 74; 80 e 120 mg dm⁻³) na produção de massa seca do sorgo (*Sorghum bicolor*). Os autores ressaltaram que esta resposta ocorreu, provavelmente, porque o solo apresentava teor original de enxofre suficiente para o desenvolvimento das plantas de sorgo.

Hoffmann (1992), estudando a nutrição e o crescimento do capim-Braquiária e do capim-Colonião sob influência das aplicações de enxofre em Latossolo da região noroeste do Paraná, verificou menores produções de massa seca no segundo corte em condições de doses elevadas de enxofre.

As limitações nutricionais do Cambissolo álico da microrregião Campos da Mantiqueira-MG foram estudadas para o capim-Marandu por Marques et al. (1995). Verificaram que a não aplicação de enxofre não afetou a produção de massa seca da parte aérea na ocasião do primeiro corte (138 dias após a semeadura). Entretanto, no segundo corte (208 dias após a semeadura) a não aplicação de enxofre promoveu reduções na produção de massa seca da parte aérea.

A produção de massa seca e o perfilhamento do capim-Braquiária em função das doses de enxofre, aos 40 dias após o transplante e aos 30 dias após o primeiro corte, foram estudados por Santos e Monteiro (1999), os quais relataram que no primeiro crescimento a produção de massa seca da forrageira foi inferior ao crescimento subsequente para todas as doses de enxofre estudadas. Os autores ressaltaram que as doses de enxofre de 78 e 62 mg L⁻¹ foram as que proporcionaram as máximas produções de massa seca da parte aérea no primeiro e segundo cortes da forrageira, respectivamente.

Cunha et al. (2001), testando os efeitos das doses de nitrogênio (50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) e de enxofre (0, 10, 20, 30, 40 e 50 kg ha⁻¹) nas formas de uréia e sulfato de amônio na produção e qualidade da forragem de campo natural de Planossolo no Rio Grande do Sul, concluíram que esse campo natural respondeu positivamente em termos de produtividade de massa seca, quando adubado com nitrogênio ou enxofre, no início da primavera. Ressaltaram também que a produtividade de massa seca atingiu o máximo na dose de enxofre de 33,4 kg ha⁻¹.

Santos e Monteiro (1999), trabalhando com capim-Braquiária e doses de enxofre, observaram que o perfilhamento dessa forrageira foi alterado significativamente pelas doses de enxofre apenas no segundo crescimento e que as doses de 64 e 80 mg L⁻¹ tiveram número

absoluto de perfilhos superior ao das doses mais baixas de enxofre, embora não tenham diferido entre si.

O efeito da aplicação de nitrogênio e de enxofre na produção e na qualidade de cevada (*Hordeum vulgare*) foi estudado por Eriksen e Mortensen (2002), que observaram sintomas de deficiência de enxofre no início do perfilhamento, em condições de altas doses de nitrogênio. A aplicação de enxofre eliminou esses sintomas e preveniu a redução da produção. Em condições de baixa dose de nitrogênio, o enxofre mineralizado da matéria orgânica do solo foi suficiente para sustentar o crescimento da planta até que a aplicação do enxofre fosse realizada. A efetividade da aplicação de enxofre pode ser menor sob condições de campo por causa da baixa mobilidade do enxofre no solo em condições de seca.

As respostas do capim-Marandu a combinações de doses de nitrogênio e enxofre foram estudadas por Batista (2002), que observou ser a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre determinante para o número de perfilhos e de folhas bem como para a área foliar deste capim.

A deficiência de enxofre promove redução no tamanho e no número de células foliares, o que resulta em diminuição da área foliar (MARSCHNER,1995) . Mattos (2001), estudando a área foliar da *Brachiaria decumbens* mediante a aplicação de nitrogênio e enxofre, em pastagem degradada encontrou no primeiro crescimento efeito significativo para as doses de nitrogênio (50, 100 e 200 mg dm⁻³) dentro das doses de enxofre de 30 e 60 mg dm⁻³. Os pontos de máxima área foliar total dessa forrageira ocorreram com as doses de nitrogênio de 122, 125 e 220 mg dm⁻³ para as doses de enxofre de 0, 30 e 60 mg dm⁻³, respectivamente. No segundo crescimento verificou efeito significativo na área foliar para as doses de nitrogênio, porém não para as doses de enxofre. No terceiro crescimento se observou efeito significativo do nitrogênio dentro das doses de enxofre, segundo equação linear nas doses de enxofre de 0 e 60 mg dm⁻³ e quadrática na dose de enxofre de 30 mg dm⁻³.

A aplicação de nitrogênio e de enxofre na recuperação de pastagem de capim-Braquiária em degradação em solo com expressiva matéria orgânica foi estudada por Bonfim-da-Silva (2005), que relatou interação significativa entre as doses de nitrogênio e de enxofre na ocasião do primeiro e segundo cortes para a área foliar. No primeiro corte constatou que a máxima área foliar ocorreu na dose de nitrogênio de 368 mg dm⁻³ associada à dose de enxofre de 35 mg dm⁻³.

No segundo corte as doses de nitrogênio e de enxofre responsáveis pela máxima área foliar do capim-Braquiária foram de 328 e 45 mg dm⁻³, respectivamente.

O valor SPAD no capim-Braquiária, estudado por Mattos (2003), na ausência de adubação com enxofre e em presença da dose de nitrogênio de 200 mg dm⁻³ demonstrou menor valor no primeiro crescimento, sendo que o mais alto valor SPAD ocorreu na dose de enxofre de 47 mg dm⁻³ associada com a dose de nitrogênio de 200 mg dm⁻³. No segundo crescimento foi observado efeito significativo das doses de nitrogênio, em presença de cada uma das doses de enxofre. As doses de enxofre, dentro de cada dose de nitrogênio, não resultaram em variação significativa do valor SPAD. No terceiro crescimento observou variação significativa em função do suprimento de nitrogênio, sendo a dose de nitrogênio de 140 mg dm⁻³ a que resultou no máximo valor SPAD.

A utilização de nitrogênio (0, 100, 200, 300, 400 g dm⁻³) na forma de nitrato de amônio e de enxofre (0, 10, 20, 30 e 40g dm⁻³) na forma de sulfato de cálcio na recuperação de pastagem de capim-Braquiária em degradação foi estudada por Bonfim-da-Silva (2005), que verificou a dependência da combinação entre doses de nitrogênio e de enxofre para o valor SPAD nesse capim apenas no primeiro crescimento, com efeito isolado das doses de nitrogênio no segundo e terceiros crescimentos.

Ferrari Júnior et al. (1994), trabalhando com a produção de feno da *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em solo com teor de matéria orgânica de 46 g dm⁻³ sob três frequências de cortes, verificaram que a concentração de enxofre na parte aérea desses capins apresentava valores médios de 1,2 g kg⁻¹.

A resposta do capim-Mombaça a doses de nitrogênio e aos intervalos de corte foi estudada por Braga (2001). Relatou que as concentrações de enxofre do capim-Mombaça sofreram influência das doses de nitrogênio. A dose de 250 kg ha⁻¹ foi a que ocasionou a mais baixa concentração de enxofre (1,39 g kg⁻¹), enquanto que as plantas adubadas com nitrogênio de 0 e 500 kg ha⁻¹ apresentaram concentração de enxofre de 1,71 e 1,64 g kg⁻¹ respectivamente.

Batista (2002), estudando a concentração de enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Marandu, encontrou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre no primeiro e segundo cortes. No primeiro corte a concentração de enxofre nesse tecido variou de 0,84 a 1,53 g kg⁻¹, enquanto no segundo corte essa variação foi de 0,36 a 2,0 g kg⁻¹.

A fertilização com sulfato de amônio em um solo do cerrado de Brasília sob pastagem de capim-Braquiária foi estudada por Campos (2004), que verificou concentração de enxofre na parte aérea adequada ao desenvolvimento da planta em condições de ausência de aplicação de nitrogênio aos 71 dias após o nivelamento da altura do capim-Braquiária. O autor ressaltou que nas doses de nitrogênio de 60 e 120 kg ha⁻¹ aos 71 dias após o nivelamento da altura do capim a concentração de enxofre também foi adequada, mas muito inferior à concentração do nutriente no tratamento sem adição de nitrogênio.

2.6 Relação nitrogênio:enxofre em pastagens

A relação nitrogênio:enxofre no tecido vegetal tem sido usada como índice para determinar a probabilidade de resposta de produção à aplicação de nitrogênio e mais particularmente à fertilização com enxofre (DIJKSHOORN; LAMPE, 1960, MALAVOLTA, 1986, WERNER; MONTEIRO, 1988, PASRICHA; FOX, 1993).

Na pastagem, a quantidade de enxofre requerida para o crescimento e funcionamento normal das atividades metabólicas das gramíneas é consideravelmente menor que a demanda de nitrogênio e a carência de enxofre não tem sido relatada tão freqüentemente quanto a de nitrogênio. Portanto, o suprimento de enxofre pode estar sendo inadequado para as gramíneas que crescem em altas doses de nitrogênio (DIJKSHOORN; LAMPE, 1960). Um ponto importante a ser mencionado nas possíveis causas do incremento da necessidade de enxofre para as culturas e do aumento das respostas à adição de enxofre é o equilíbrio adequado entre o nitrogênio e o enxofre na adubação. É importante ressaltar que em se incrementando a dose de nitrogênio na adubação é necessário aumentar também a dose de enxofre, a fim de se garantir o equilíbrio desses nutrientes dentro da planta (MALAVOLTA, 1986).

Werner, Monteiro (1988) ressaltaram que pastagens exclusivas de gramíneas não adubadas com nitrogênio e fósforo mostram pouca ou nenhuma resposta ao enxofre. A concentração do enxofre na planta acima da requerida para a síntese de proteínas resulta em acúmulo do enxofre no tecido vegetal, especialmente na forma de sulfato (WERNER; MONTEIRO, 1988). Conseqüentemente, o equilíbrio entre as quantidades de nitrogênio e de enxofre no solo e na planta é refletida no crescimento e no estado nutricional do vegetal (SANTOS, 1997). Quando a concentração de nitrogênio nas folhas é baixa, as plantas não

metabolizam nutrientes eficientemente e dessa forma não fazem o uso eficiente do enxofre presente, e portanto não crescem (CONLEY; PAPAROZZI; STROUP, 2002).

A estreita relação entre a necessidade de enxofre e as quantidades de nitrogênio disponíveis para as culturas não se constitui em surpresa, uma vez que ambos são constituintes das proteínas e estão associados com a formação de clorofila (BATISTA, 2002). Dijkshoorn e Lampe (1960) sugeriram que a relação N:S (N total para S total) nas plantas é um bom critério de diagnose para determinar a deficiência de enxofre, o que foi comprovado por Monteiro (1986), Monteiro e Carriel (1987) e Santos (1997) com gramíneas forrageiras. Neste sentido, Werner e Monteiro (1988), discorrendo sobre as respostas das pastagens à aplicação de enxofre, descreveram que a relação N:S nas plantas forrageiras pode variar de 12:1 a 19:1, dependendo da espécie e do suprimento de enxofre.

Em condições de suprimento adequado de enxofre, quando a planta atinge a maturidade, a relação N:S tende a se estabilizar ao redor de 14:1 nas gramíneas forrageiras, sendo que a relação N:S de 20:1 ou mais larga revela deficiência de enxofre. A deficiência de enxofre interfere no aproveitamento de nitrogênio, restringindo o crescimento da planta, uma vez que uma das principais funções do enxofre está relacionada à conversão do nitrogênio não-protéico em protéico, seja ele absorvido do solo ou da atmosfera via sistema simbiótico das leguminosas (COSTA, 1999). Monteiro e Carriel (1987) relataram que a aplicação de enxofre de 40 kg ha⁻¹ num solo Podzólico Vermelho Amarelo resultou na relação N:S de 13,7:1 e na concentração de enxofre de 0,8 g kg⁻¹ no capim-Colômbio, por ocasião do segundo crescimento.

As respostas do capim-Marandu a combinações de doses de nitrogênio e enxofre em solução nutritiva foram estudadas por Batista (2002). Relatou que a aplicação de baixa dose de nitrogênio resultou em crescimento reduzido e em estreita relação N:S (2,8:1) nas lâminas de folhas recém-expandidas da forrageira, enquanto alta dose de nitrogênio em presença de baixa dose de enxofre proporcionou deficiência de enxofre concomitantemente à larga relação N:S (37,2:1) naquelas lâminas foliares.

A utilização de nitrogênio (0, 100, 200, 300, 400 g dm⁻³) na forma de nitrato de amônio e de enxofre (0, 10, 20, 30 e 40g dm⁻³) na forma de sulfato de cálcio na recuperação de pastagem de capim-Braquiária em degradação em Neossolo Quartzarênico com teor de matéria orgânica de 28 g kg⁻¹ foi estudada por Bonfim-da-Silva (2005), que verificou baixa relação N:S na ausência

de aplicação de nitrogênio (a qual foi indicativa de maior deficiência de nitrogênio do que de enxofre).

2.7 Nitrogênio e enxofre no sistema radicular de pastagens

As raízes são consideradas o componente esquecido das pastagens, mas devido à importância que o sistema radicular representa para a produção e persistência da pastagem, passou a ser valorizado no manejo das pastagens (CECATO, 2004). De modo geral, as raízes de plantas terrestres possuem duas funções principais: aquisição de recursos básicos do solo (principalmente água e íons dissolvidos) e sustentação. Outras funções do sistema radicular tais como armazenamento, síntese de reguladores de crescimento, propagação e dispersão podem ser consideradas funções secundárias das raízes (FITTER, 1996).

O sistema radicular das plantas cultivadas vem assumindo importante papel nos estudos das interações que ocorrem entre os solos, as plantas e outros organismos vivos. Nesse sentido, destacam-se os aspectos físicos, químicos e biológicos inerentes ao meio solo, favoráveis à distribuição de raízes (CRESTANA et al., 1994). Esses autores, avaliando a distribuição de raízes no solo, com o auxílio de processamento de imagens digitais, concluíram que o processamento de imagens no estudo do desenvolvimento radicular de plantas constitui ferramenta importante, relativamente simples e precisa.

A ação dos fertilizantes nitrogenados na composição mineral das gramíneas depende particularmente do suprimento individual dos nutrientes. Quando um nutriente tem seu suprimento limitado, o aumento no crescimento da planta resultante da ação do nitrogênio, tende a diluir sua concentração na planta. Entretanto, quando existe um abundante suprimento do nutriente em questão, o efeito de diluição pode ser encoberto pelo aumento do consumo pela planta. O aumento na absorção de determinado nutriente ocorre com o aumento da atividade das raízes e/ou sob efeito sinérgico do nitrogênio com o nutriente em questão (WHITEHEAD, 1995).

Um sistema radicular com elevados comprimento, superfície e biomassa permite maior contato das raízes com o solo, aumentando a eficiência na absorção de nutrientes (SANTOS JUNIOR, 2001). Este mesmo autor, estudando a dinâmica de crescimento e nutrição do capim-Marandu submetido a doses de nitrogênio, observou que o comprimento radicular apresentou efeito significativo em função das doses de nitrogênio, seguindo modelo linear de regressão na

idade de 56 dias de crescimento e quadrático nas demais idades, e os máximos comprimentos radiculares corresponderam às doses de nitrogênio de 207, 199, 199, 236 e 294 mg L⁻¹, nas idades de crescimento de 21, 28, 35, 42 e 49 dias, respectivamente.

Lavres Junior e Monteiro (2003), ao estudarem combinações de doses de nitrogênio e de potássio para o capim-Mombaça, constataram que para a obtenção do máximo comprimento total das raízes era necessário o fornecimento da dose de nitrogênio de 596 mg L⁻¹ na solução nutritiva. Os autores ressaltaram também que o nitrogênio é o principal nutriente modulador das respostas para este atributo produtivo nestas plantas.

Para a superfície radicular, Santos Junior (2001) observou que as doses de nitrogênio alteraram significativamente a superfície do sistema radicular do capim-Marandu. Os máximos valores de superfície radicular do capim-Marandu corresponderam às doses de nitrogênio de 200, 195, 217, 259 e 312 mg L⁻¹ na solução nutritiva, nas idades de crescimento de 21, 28, 35, 42 e 49 dias, respectivamente. A superfície total de raízes do capim-Mombaça também foi avaliada por Lavres Junior (2001) que verificou ser necessária a dose de nitrogênio de 814 mg L⁻¹ para a máxima superfície radicular.

Monteiro et al. (1995), cultivando *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em solução nutritiva com omissões de macronutrientes, verificaram que na omissão de nitrogênio houve redução drástica na produção de massa seca de raízes e ressaltaram que as plantas alocaram maior parte da produção de biomassa para o sistema radicular. Para a omissão de enxofre esses autores relataram menores concentrações de enxofre nas raízes em relação ao tratamento completo, sendo que a relação N:S nas raízes foi maior sem o fornecimento (25,3) que em relação ao suprimento de enxofre (9,5).

Para a produção de massa seca de raízes do capim-Braquiária, Ferragine e Monteiro (1999), em estudo em casa-de-vegetação com combinações de doses de nitrogênio e de potássio, observaram ser a dose de nitrogênio de 605 mg L⁻¹ a responsável pela maior produção aos 31 dias após o primeiro corte do capim.

Santos e Monteiro (1999), em estudo com capim-Braquiária, observaram incremento na produção de massa seca de raízes à medida que aumentavam as doses de enxofre (0 a 80 mg L⁻¹) e ressaltaram que a resposta linear apresentada pelo sistema radicular às doses de enxofre indicou que o capim-Braquiária poderia produzir ainda mais massa seca de raízes mediante a aplicação de doses mais elevadas de enxofre.

Colozza et al. (2000), em estudo sobre as respostas do capim-Aruana a doses de nitrogênio, observaram que a produção de massa seca de raízes variou com as doses de nitrogênio e apresentou máxima produção com o emprego de nitrogênio de 262 mg kg⁻¹ de solo.

O desenvolvimento do sistema radicular pode ser visualizado pelo aumento em comprimento, massa e superfície que abrangem. Estas medidas, entretanto, não dependem somente da espécie e do clima em que se encontram, podendo ser alteradas conforme o processo de implantação da pastagem e do manejo adotado, que podem resultar em sistema radicular extenso e abrangente ou curto e ocupando pequena área de solo. Estes fatores interferem na eficácia de absorção de nutrientes e água pela planta. Além da implantação e do manejo, a fertilidade do solo também altera o crescimento de raízes. O nitrogênio proporciona incrementos no comprimento, na produção de massa seca e no volume das raízes das plantas e é possível que a forma de nitrogênio usado possa influenciar na extensão do crescimento das raízes (CECATO, 2004).

A utilização de nitrogênio (0, 100, 200, 300, 400 g dm⁻³), na forma de nitrato de amônio, na recuperação de pastagem de capim-Braquiária em degradação foi estudada por Bonfim-da-Silva (2005). Concluiu que o incremento na adubação nitrogenada proporciona recuperação do sistema radicular do capim, aumentando a produção de massa, o comprimento e a superfície das raízes do capim-Braquiária.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local, espécie forrageira, tipo de solo e período do experimento

O experimento foi conduzido numa casa-de-vegetação localizada no Departamento de Ciência do Solo, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"-USP, Câmpus de Piracicaba, Estado de São Paulo, cultivando-se a espécie forrageira *Brachiaria brizantha* Stapf. cultivar Marandu, num Neossolo Quartzarênico e no período de dezembro de 2004 a abril de 2005 (Figura 1).



Figura 1 – Vista parcial dos vasos experimentais na casa-de-vegetação

3.2 Escolha da área e coleta do solo

Amostras de solo foram coletadas em várias propriedades na região de Piracicaba, Estado de São Paulo, com objetivo de se encontrar um solo com baixo teor de matéria orgânica e com capim-Braquiária em estágio de degradação. Após as análises destes solos, observou-se que a propriedade do Sr. Romeu Gomes de Oliveira, localizada próxima ao trevo de Ibitiruna, Km 184 da Rodovia Piracicaba-Anhembi, no município de Piracicaba, atendia a estes dois critérios. As coordenadas da área são 47°57'56" longitude oeste e 22°46' 30" latitude sul e a altitude média de 600 m. O material de origem da região é o arenito da Formação Pirambóia, Grupo São Bento.

Procedeu-se à coleta do solo, na profundidade de 0-20 cm e esta foi realizada já considerando a quantidade de solo necessária para cada bloco experimental, ou seja na

propriedade foram marcados quatro pontos de coleta e em cada um dos pontos foi coletado solo que posteriormente caracterizaria um bloco na casa-de-vegetação. O solo coletado foi secado à sombra, peneirado e colocado em vasos plásticos contendo 5,5 kg de solo cada um.

3.3 Análise da terra

A análise granulométrica na profundidade de 0-20 cm apresentou os seguintes resultados médios: argila=6,01%, silte=4,00%, areia total=89,99% e areia grossa=36,86%. A análise química da terra depois de secada e peneirada apresentou os seguintes resultados médios: pH em $\text{CaCl}_2=4,08$; teor de matéria orgânica=11,6 g dm^{-3} ; P (resina)=5,34 mg dm^{-3} ; K (resina)=1,75 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Ca (resina)=4,0 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg (resina)=2,3 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Al=4 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; H + Al=21,5 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{SO}_4=7,3 \text{ mg dm}^{-3}$; SB=8,0 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; CTC=29,5 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; V=26,8%, NTotal=0,32 g kg^{-1} , $\text{NO}_3^- = 21,6 \text{ mg kg}^{-1}$ e $\text{NH}_4^+ = 24,5 \text{ mg kg}^{-1}$. De acordo com esses resultados determinou-se a necessidade de calagem, utilizando-se 50% para o V_2 da fórmula de cálculo da necessidade de calagem, de acordo com Werner et al. (1996). A calagem foi realizada aplicando-se óxido de cálcio de 0,1822 g/vaso e óxido de magnésio de 0,1505 g/vaso. Após a calagem, o solo foi umedecido e ficou incubado durante 31 dias. Passado este período foi instalado o sistema de irrigação subsuperficial, adaptado do sistema de Bonfim-da-Silva (2002).

3.4 Delineamento experimental e doses de nitrogênio e de enxofre

No experimento utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições. Foram empregadas cinco doses de nitrogênio (0; 100; 200; 300 e 400 mg dm^{-3}) e cinco doses de enxofre (0; 10; 20; 30 e 40 mg dm^{-3}) combinadas em estudo de superfície de resposta baseado em desenho experimental composto central modificado de um fatorial 5^2 incompleto, fundamentado em Littell e Mott (1975), como mostrado na Tabela 1 e Figura 2. Assim utilizaram-se 13 combinações das doses de nitrogênio e enxofre, em mg dm^{-3} : 0-0; 0-20; 0-40; 100-10; 100-30; 200-0; 200-20; 200-40; 300-10; 300-30; 400-0; 400-20 e 400-40.

O experimento foi constituído de dois conjuntos de unidades experimentais distribuídas em blocos ao acaso com quatro repetições. O que diferia um conjunto de outro era a presença do capim-Marandu em um deles.

Tabela 1 - Pontos do desenho composto central modificado com duas variáveis experimentais

Combinações	Categoria dos pontos	Eixos		Doses	
		X ₁	X ₂	Nitrogênio	Enxofre
1	extra	-2	-2	0	0
2	axial	-2	0	0	20
3	extra	-2	2	0	40
4	fatorial	-1	-1	100	10
5	fatorial	-1	1	100	30
6	axial	0	-2	200	0
7	central	0	0	200	20
8	axial	0	2	200	40
9	fatorial	1	-1	300	10
10	fatorial	1	1	300	30
11	extra	2	-2	400	0
12	axial	2	0	400	20
13	extra	2	2	400	40

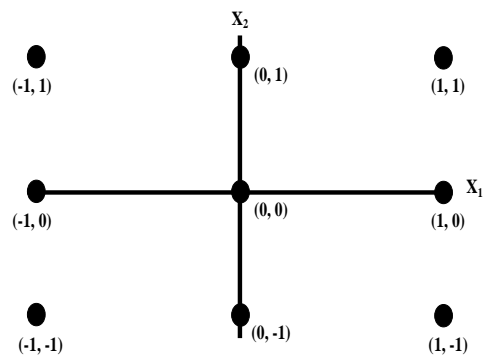


Figura 2 – Desenho experimental do composto central modificado de um fatorial 5² incompleto fundamentado em Littell e Mott (1975)

3.5 Instalação, aplicação de nutrientes e condução do experimento

Após o período de incubação do solo procedeu-se à aplicação das doses de nitrogênio e de enxofre, bem como o fornecimento dos demais nutrientes (Tabela 2). As mudas do capim-Marandu foram obtidas por germinação de sementes em bandejas com areia lavada e transplantadas em número de 15 plântulas por vaso. Uma semana após o transplante das plântulas e aplicação dos nutrientes observou-se a queima das plântulas, provavelmente devido à pressão

osmótica relativamente elevada. Após essa constatação procedeu-se o corte das plântulas e posterior lixiviação do solo com água desionizada, com um intervalo de trinta e três dias para reiniciar o experimento.

Para a lixiviação do solo, 100 ml de água desionizada era colocada no solo de 2 a 3 vezes por dia, e conjuntamente com o fornecimento de água procedia-se a escarificação do solo. O excesso de água carregando os nutrientes era drenado para os recipientes que forneciam água para as plantas.

Após a passagem da água pelo solo e coleta do excesso de água com saís que geraram a alta pressão osmótica do solo, novas mudas do capim-Marandu foram obtidas por germinação de sementes em bandejas com areia lavada e transplantadas 15 mudas para os vasos. Após o período de adaptação das plantas, procederam-se os desbastes até ficarem cinco plantas em cada vaso, após o que se tratou de retornar (de forma parcelada) as soluções lixiviadas aos vasos.

Tabela 2 - Adubação do experimento combinações de doses de nitrogênio e de enxofre em solo com baixo teor de matéria orgânica

Combinações N-S	Doses		Fontes					
	N mg	S dm ⁻³	NH ₄ NO ₃	CaSO ₄	KH ₂ PO ₄	(CaH ₂ PO ₄) ₂	CaCl ₂	MgCl ₂
-----g/vaso-----								
0-0	0	0	0	0	1,8831	1,2756	0,6615	1,5225
0-20	0	20	0	0,387	1,8831	1,2756	0,3307	1,5225
0-40	0	40	0	0,774	1,8831	1,2756	0	1,5225
100-10	100	10	1,0285	0,1935	1,8831	1,2756	0,4961	1,5225
100-30	100	30	1,0285	0,5805	1,8831	1,2756	0,1654	1,5225
200-0	200	0	2,0571	0	1,8831	1,2756	0,6615	1,5225
200-20	200	20	2,0571	0,387	1,8831	1,2756	0,3307	1,5225
200-40	200	40	2,0571	0,774	1,8831	1,2756	0	1,5225
300-10	300	10	3,0857	0,1935	1,8831	1,2756	0,4961	1,5225
300-30	300	30	3,0857	0,5805	1,8831	1,2756	0,1654	1,5225
400-0	400	0	4,1143	0	1,8831	1,2756	0,6615	1,5225
400-20	400	20	4,1143	0,387	1,8831	1,2756	0,3307	1,5225
400-40	400	40	4,1143	0,774	1,8831	1,2756	0	1,5225

Após 20 dias do transplante das mudas iniciaram-se as contagens de folhas e perfilhos, que foram efetuadas a cada três dias. Os perfilhos eram contados a partir do momento que possuíam uma folha totalmente expandida, com lígula visível, e as folhas novas foram computadas a partir do momento que possuíam lígula visível. A leitura do consumo de água e o reabastecimento dos recipientes que forneciam água para as plantas foram realizados sempre que se observava baixo nível de água.

Foram realizados três cortes das plantas, com o primeiro ocorrendo aos 38 dias após o transplante das mudas, o segundo aos 27 dias após o primeiro corte e o terceiro aos 38 dias após o segundo corte. As aplicações de nitrogênio (após o primeiro e segundo cortes) foram parceladas em quatro vezes, com intervalo de dois dias entre cada aplicação, para evitar variação brusca na pressão osmótica no ambiente radicular. A aplicação de enxofre (após o transplante, primeiro e segundo cortes) foi realizada em uma única dose e posteriormente à aplicação das doses de nitrogênio aplicou-se o cloreto de magnésio e o cloreto de cálcio com um intervalo de dois dias entre as aplicações. Os micronutrientes foram aplicados quatro dias após a aplicação do cloreto de cálcio à base de: $\text{H}_3\text{BO}_3 = 5,1$ mg/vaso, $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 9$ mg/vaso, $\text{ZnCl}_2 = 7,2$ mg/vaso e $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 0,9$ mg/vaso.

Após cada corte a parte aérea das plantas foi separada em: a) folhas emergentes, ou seja as folhas não completamente expandidas; b) lâminas de folhas recém-expandidas, ou seja as lâminas das duas folhas mais jovens totalmente expandidas, com lígula visível; c) lâminas de folhas maduras, ou seja as lâminas das demais folhas totalmente expandidas e d) colmos + bainhas: colmos propriamente ditos e as bainhas que foram mantidas a eles circundadas. Imediatamente após o terceiro corte da parte aérea, as raízes foram separadas e lavadas em água corrente e desionizada, utilizando-se peneiras com malhas de 0,25 e 1,00 mm.

Todo material colhido foi colocado para secar em estufa de circulação forçada de ar a 70°C, até massa constante, com posterior pesagem em balança de precisão. Todo material vegetal foi moído em moinho do tipo Wiley e acondicionado em sacos plásticos.

3.6 Valor SPAD

Para estimativa do teor de clorofila utilizou-se do Chlorophyll Meter SPAD-502, (Soil-Plant Analysis Development, Minolta Camera Co., Osaka, Japan). Essa medida foi efetuada diretamente (não destrutível) no terço médio da lâmina da segunda folha completamente

expandida (no sentido do ápice para a base da planta), tomando-se o cuidado de evitar a nervura central, aos 17 dias após o último desbaste das mudas, aos 23 dias após o primeiro corte e aos 24 dias após o segundo corte. Foram realizadas cinco leituras por vaso, a partir das quais foram obtidas as médias para cada combinação de nitrogênio e enxofre.

3.7 Avaliação da área foliar

A avaliação da área foliar foi conduzida por meio do integrador de área foliar na ocasião do primeiro, do segundo e do terceiro cortes das plantas. A área foliar foi medida separadamente para as folhas emergentes, lâminas das duas folhas-recém expandidas e lâminas de folhas maduras. A área foliar de cada unidade experimental foi obtida pela soma da área foliar de cada componente da parte aérea da planta, à época de cada corte.

3.8 Avaliação da superfície total e comprimento total do sistema radicular

Para a avaliação da superfície e do comprimento total do sistema radicular uma sub-amostra de raiz (cerca de 20%) foi coletada após as raízes serem lavadas ao final do terceiro corte das plantas. Essas sub-amostras foram acondicionadas em copos plásticos contendo água desionizada e violeta genciana (para coloração das raízes e radículas, proporcionando contraste para digitalização). Na seqüência, as raízes foram digitalizadas e as imagens foram analisadas pelo aplicativo SIARCS (Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo) versão 3.0. Após serem digitalizadas as raízes foram colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar, a 70°C, até massa constante, com posterior pesagem. Com a massa das sub-amostras fez-se a correção do comprimento e superfície do sistema radicular de cada vaso, em função da produção de massa seca total das raízes, conforme descrito por Crestana et al. (1994).

3.9 Produção de massa seca

A produção de massa seca da parte aérea foi determinada através da soma da massa seca das folhas emergentes, das duas folhas mais jovens totalmente expandidas, das folhas maduras e dos colmos + bainhas coletados no primeiro, no segundo e no terceiro cortes. A produção da massa seca de raízes foi determinada após o terceiro crescimento.

3.10 Concentrações de nitrogênio e enxofre no tecido vegetal

Após a moagem as amostras de cada componente da parte aérea obtidas nos três cortes do capim e as raízes foram levadas ao laboratório para determinação das concentrações de nitrogênio e enxofre, conforme metodologia descrita por Sarruge e Haag (1974). As amostras da parte aérea foram divididas em lâminas de folhas recém expandidas e amostra composta (folhas emergentes, lâminas de folhas maduras e colmos + bainhas). O nitrogênio foi determinado pelo método analítico semi-micro Kjeldahl, após digestão sulfúrica, enquanto a digestão nítrico-perclórica serviu para a preparação do extrato a partir do qual foi determinado o enxofre, pelo método da turbidimetria do cloreto de bário.

3.11 Análises de solo

No início do experimento foram realizadas análises física e de fertilidade do solo. Na análise física a análise granulométrica foi efetuada pelo método do densímetro (GLENDON; DANI, 2002). Na análise de fertilidade o teor de matéria orgânica foi determinado através do método colorimétrico (QUAGGIO; RAIJ, 1979). O pH em CaCl_2 e a acidez potencial através da solução tampão SMP e a extração de P, K, Ca e Mg foi realizada pelo método da resina trocadora de íons (RAIJ et al., 1987) e o sulfato pelo método do fosfato de cálcio (FOX; OLSON; RHOADES, 1964).

3.12 Nitrogênio total, nitrato e amônio no solo

Para a determinação do nitrogênio total foi utilizado o método semi-micro Kjeldahl, após digestão sulfúrica (BREMNER, 1996), enquanto o nitrogênio amoniacal (N-NH_4^+) e o nitrogênio nítrico (N-NO_3^-) foram determinados colorimetricamente através da destilação a vapor pelos métodos descritos por Kempers e Zweers (1986) e Yang et al. (1998), respectivamente. As determinações de N-total, N-nitrato e N-amônio foram realizadas tanto nas amostras à época da coleta dos solos, como na ocasião de cada corte das plantas, nos vasos contendo plantas e naqueles somente com solo. Para a determinação do nitrogênio total pesou-se 0,5 g de solo, enquanto que para a determinação do nitrogênio amoniacal (N-NH_4^+) e o nitrogênio nítrico (N-NO_3^-) utilizou-se 1 g de solo.

3.13 Enxofre total e sulfato no solo

Para a determinação do enxofre total foi empregado o método do azul de metileno após a digestão ácida das amostras de solo (TABATABAI, 1996). O método para a determinação do enxofre total utiliza 2 g de solo e pode ser dividido em três etapas: digestão ácida, destilação e quantificação do enxofre total. Na etapa da digestão ácida todo o enxofre presente na amostra de solo é oxidado a sulfato com o emprego do ácido nítrico, ácido perclórico, ácido fosfórico e ácido clorídrico. Na etapa de destilação o sulfato é reduzido a H_2S por uma mistura redutora contendo ácido iodídrico, ácido fórmico e ácido hipofosforoso no aparelho de Johnson e Nishita. Nessa etapa o H_2S liberado é absorvido por uma solução tampão de acetato de zinco e acetato de sódio constituindo o extrato da destilação. Na etapa de quantificação do enxofre total o extrato da destilação é tratado com as soluções de sulfato p-aminodimetilanelina e sulfato de amônio férrico para a formação da cor azul de metileno. A intensidade da cor azul de metileno é determinada colorimetricamente no comprimento de onda de 670 nm.

O enxofre-sulfato foi extraído pela solução de fosfato de cálcio e determinado pelo método da turbidimetria do cloreto de bário (TABATABAI, 1996). As determinações do enxofre total e do enxofre sulfato foram realizadas tanto nas amostras à época da coleta dos solos, como na ocasião de cada corte, nos vasos contendo plantas e naqueles somente com solo.

3.14 Análises estatísticas

Todos os resultados receberam o recomendado tratamento estatístico, com análise em superfície de resposta através do emprego do "Statistical Analysis System" (SAS, 1996), adotando-se o nível de 5% de significância. Inicialmente foi realizada a análise de variância para as combinações de doses de nitrogênio e enxofre, ocorrendo a significância no teste F para as interações $N \times S$, efetuou-se o estudo de regressão polinomial (superfície de resposta) por meio do procedimento RSREG. Quando essa interação não foi significativa efetuou-se o estudo de regressão de primeiro e segundo grau para o efeito das doses de nitrogênio e/ou de enxofre isoladamente, pelo uso do procedimento GLM.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Solo

4.1.1 Matéria orgânica no solo

4.1.1.1 Matéria orgânica no solo sem a presença de plantas

No solo sem a presença do capim-Marandu o teor de matéria orgânica não revelou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre nas amostras de solo coletadas à época do primeiro, segundo e terceiro cortes. Respostas significativas às doses individuais de nitrogênio e de enxofre também não foram proporcionadas no teor de matéria orgânica no solo nas amostras de solo coletadas na ocasião do segundo corte. Entretanto, nas amostras de solo correspondentes ao primeiro e terceiro cortes observaram-se respostas significativas no teor de matéria orgânica, com ajuste dos resultados a modelo linear de regressão (Figuras 3 e 4).

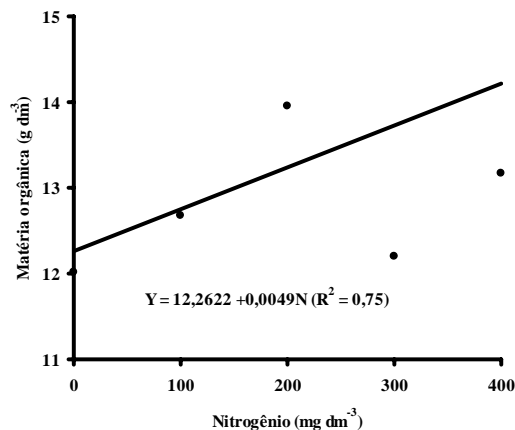


Figura 3 – Teor de matéria orgânica no solo sem a presença do capim-Marandu, na ocasião do primeiro corte, em função das doses de nitrogênio

Houve no teor de matéria orgânica nas amostras de solo sem a presença do capim-Marandu na ocasião do terceiro corte, redução com a elevação das doses de nitrogênio. Essa redução no teor de matéria orgânica nas amostras coletadas no terceiro corte sem a presença do capim-Marandu pode ser justificado como apontado por Moreira e Siqueira (2002) que a decomposição da matéria orgânica pode ser favorecida por altos teores de nitrogênio. No primeiro corte isso não ocorreu porque o solo ainda tinha uma reserva de matéria orgânica, mas à

medida que se adicionou nitrogênio, essa matéria orgânica foi reduzida, pelo acúmulo de nitrogênio.

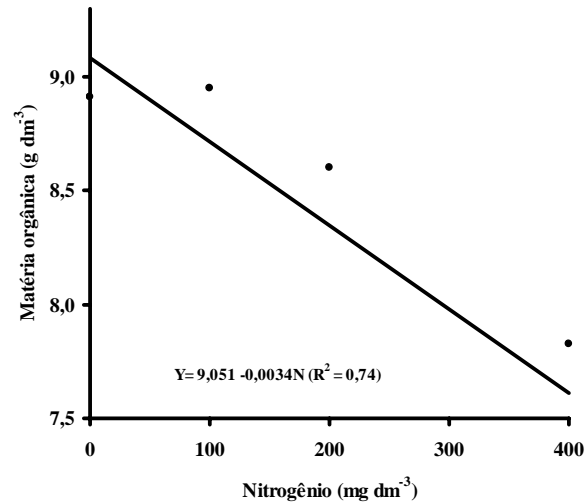


Figura 4 – Teor de matéria orgânica no solo sem a presença do capim-Marandu, na ocasião do terceiro corte, em função das doses de nitrogênio

4.1.1.2 Matéria orgânica no solo com a presença de plantas

Para o teor de matéria orgânica no solo na presença do capim-Marandu, na ocasião dos três cortes a análise de variância não revelou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre. Na ocasião do terceiro corte também não foram observadas respostas significativas às doses individuais de nitrogênio e de enxofre. Entretanto, na ocasião do primeiro e segundo cortes foram observadas respostas significativas para o teor da matéria orgânica no solo, com os resultados ajustando-se a modelo quadrático de regressão.

Na ocasião do primeiro corte a dose de nitrogênio de 207,1 mg dm⁻³ foi responsável pelo máximo teor de matéria orgânica no solo (15,6 mg dm⁻³) como mostra a Figura 5. Para o segundo corte o maior teor de matéria orgânica no solo (12,8 mg dm⁻³) foi observado na dose de nitrogênio de 245,3 mg dm⁻³ (Figura 6). Esse menor teor de matéria orgânica ao longo do tempo, mesmo com a aplicação de doses de nitrogênio e de enxofre, também foi revelado por Oliveira et al. (2005) ao trabalharem com recuperação de pastagem degradada de capim-Marandu em Neossolo Quartzarênico com fertilização de nitrogênio e de enxofre.

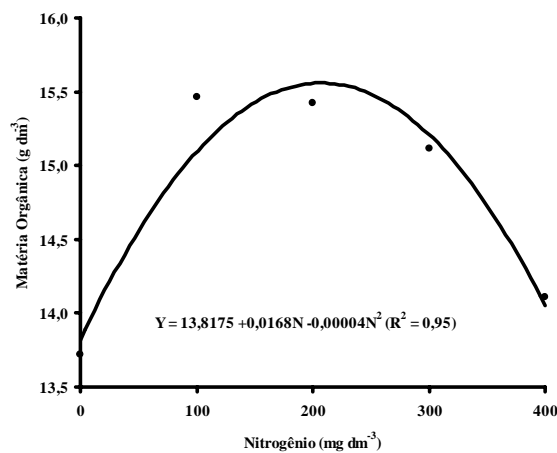


Figura 5 – Teor de matéria orgânica no solo com a presença do capim-Marandu, na ocasião do primeiro corte, em função das doses de nitrogênio

Como enfatizado por Moreira e Siqueira (2002), a decomposição da matéria orgânica é favorecida por resíduos com baixo teor de lignina, ou compostos fenólicos, alto teor de materiais solúveis e de nitrogênio e partículas de tamanho reduzido com baixa relação C:N, além do próprio teor de nitrogênio, condições químicas e físicas que maximizem a atividade biológica, e pela ausência de fatores tóxicos no resíduo ou solo. Dessa forma, os resultados observados, tanto na ocasião do primeiro como do segundo cortes, evidenciaram que o nitrogênio em alta dose acelerou a decomposição da matéria orgânica promovendo a redução do teor no solo. Esses resultados demonstraram que a adição de nitrogênio pode ser benéfica desde que seja respeitado o limite de maior teor alcançado, já que como observado, acima desse limite o teor no solo diminuiu drasticamente.

Lopes (1998) ressaltou que várias pesquisas demonstraram que o teor de matéria orgânica pode ser aumentado com o manejo adequado. Nesse contexto, esses resultados demonstraram que o nitrogênio quando manejado adequadamente pode ser um fator favorável ao aumento do teor de matéria orgânica.

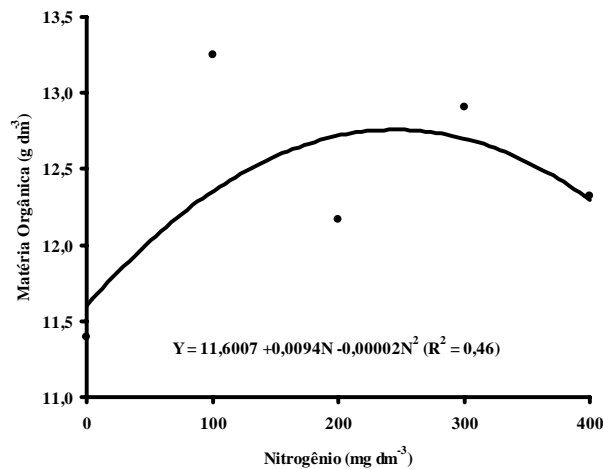


Figura 6 – Teor de matéria orgânica no solo com a presença do capim-Marandu, na ocasião do segundo corte, em função das doses de nitrogênio

4.1.2 pH no solo

4.1.2.1 pH no solo sem a presença de plantas

Os valores de pH das amostras de solo sem a presença de plantas coletadas na ocasião do primeiro, segundo e terceiro cortes não revelaram significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre. Entretanto, as amostras de solo sem a presença de plantas correspondentes ao primeiro, segundo e terceiro cortes revelaram respostas às doses individuais de nitrogênio com os valores ajustando-se a modelo linear de regressão na ocasião do primeiro corte e a função inversa na ocasião do segundo e terceiro cortes. Nas amostras de solo correspondentes ao segundo corte também foram observadas respostas às doses individuais de enxofre, com os resultados ajustando-se a modelo linear de regressão.

No solo coletado na ocasião do primeiro corte houve redução no valor de seu pH à medida que se elevaram as doses de nitrogênio, com variação de 4,2 a 4,6 da maior para a menor dose de nitrogênio (Figura 7). Segundo Lopes (1998), isto ocorre porque a adubação nitrogenada aumenta a acidez, sendo que com baixas doses de nitrogênio a acidificação é baixa, mas aumenta com a elevação das doses de fertilizantes nitrogenados.

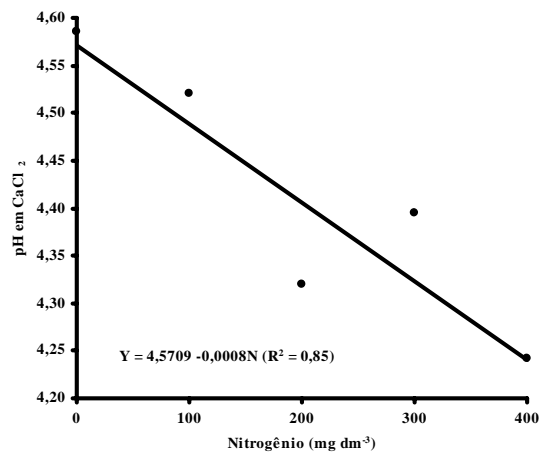


Figura 7 – pH no solo sem a presença do capim-Marandu, na ocasião do primeiro corte, em função das doses de nitrogênio

De acordo com a função inversa (Figura 8) os valores de pH nas amostras coletadas na ocasião do segundo corte reduziram-se à medida que ocorreu aumento no suprimento de nitrogênio até que se tornassem constantes. Os valores de pH nas amostras variaram de 4,4 a 4,6.

Para os valores de pH nas amostras de solo correspondentes ao segundo corte, à medida que se elevaram às doses de enxofre ocorria redução nos valores de pH, com o pH de 4,34 sendo observado na dose de 40 mg dm⁻³ (Figura 9). Raij (1991) enfatizou que o íon sulfato, quando é oriundo da mineralização da matéria orgânica, acidifica o solo, e o mesmo pode ocorrer quando sulfatos são adicionados ao solo em contrapartida de cátions básicos. Dessa forma, embora o sulfato tenha sido fornecido na forma de sulfato de cálcio e o solo tenha baixo teor de matéria orgânica, provavelmente os resultados estão sendo influenciados por esses dois fatores, já que talvez a quantidade de cálcio que está sendo disponibilizada não está sendo suficiente para impedir a acidificação.

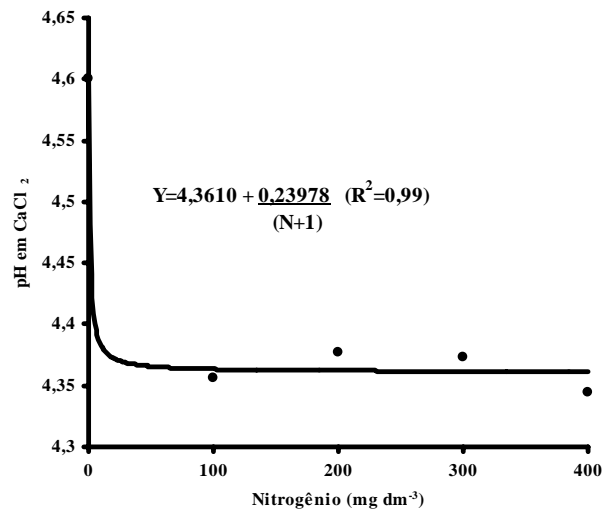


Figura 8 – pH no solo sem a presença do capim-Marandu, na ocasião do segundo corte, em função das doses de nitrogênio

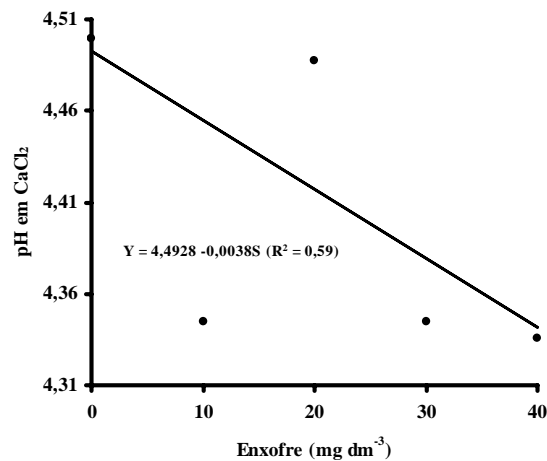


Figura 9 – pH no solo sem a presença do capim-Marandu, na ocasião do segundo corte, em função das doses de enxofre

A função inversa para os valores de pH das amostras coletadas na ocasião do terceiro corte demonstrou redução nos valores de pH até que esses se mantiveram constante, mediante aumento no fornecimento de nitrogênio, com valores variando de 4,3 a 4,6 (Figura 10). Como consequência da liberação de hidrogênio quando se aplica amônio, como descrito por Rajj (1991).

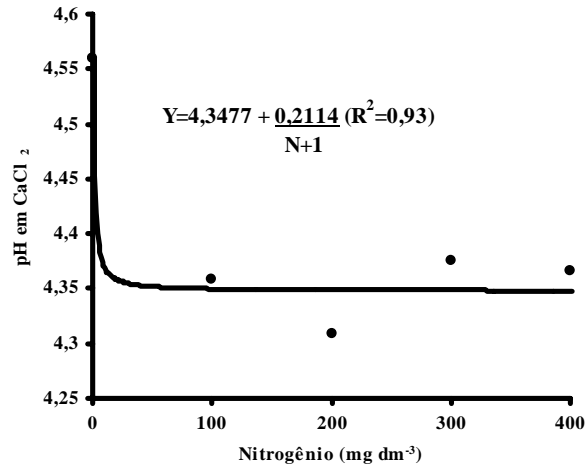


Figura 10 – pH no solo sem a presença do capim-Marandu, na ocasião do terceiro corte, em função das doses de nitrogênio

4.1.2.2 pH no solo com a presença de plantas

A análise de variância dos valores de pH na amostras de solo coletadas na presença do capim-Marandu não apresentou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre à época do primeiro, segundo e terceiro cortes. Na ocasião do primeiro corte respostas significativas também não foram observadas para as doses individuais de nitrogênio e de enxofre. Entretanto, na ocasião do segundo e terceiro cortes respostas significativas foram observadas para as doses individuais de nitrogênio, com os valores de pH ajustando-se à função inversa.

A falta de respostas das amostras de solo coletadas na ocasião do primeiro corte com a presença de plantas, tanto às doses de nitrogênio como de enxofre, pode ser decorrente do fato de as plantas estarem sendo eficientes na utilização do amônio proveniente da matéria orgânica ou da adubação, e dessa forma não estaria influenciando na acidez do solo como descrito por Raij (1991) e Lopes (1998).

Na ocasião do segundo e terceiro corte, à medida que ocorreu aumento no fornecimento de nitrogênio ocorreu redução nos valores de pH até que se mantiveram constantes, com valores oscilando de 4,6 a 5,3 na ocasião do segundo corte (Figura 11) e de 4,3 a 5,3 na ocasião do terceiro corte (Figura 12).

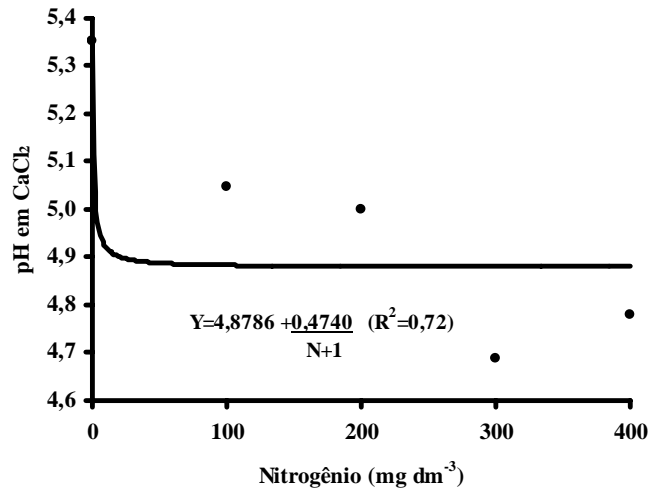


Figura 11 – pH no solo com a presença do capim-Marandu, na ocasião do segundo corte, em função das doses de nitrogênio

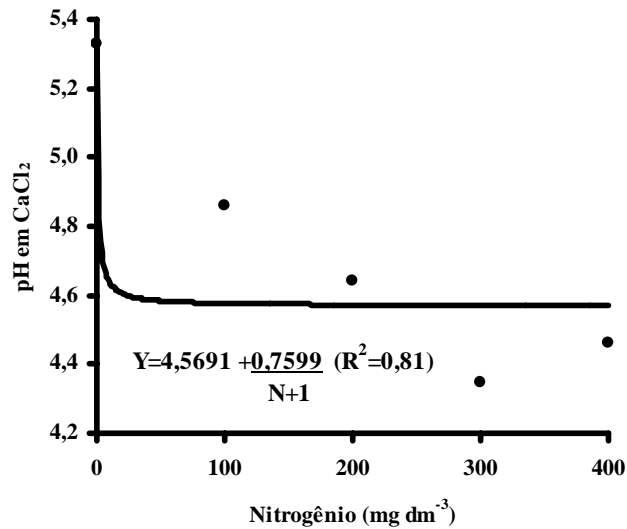


Figura 12 – pH no solo com a presença do capim-Marandu, na ocasião do terceiro corte, em função das doses de nitrogênio

Esses resultados do segundo e terceiro cortes evidenciam o descrito por Rajj (1991), Lopes (1998) e Havlin et al. (2005) que quando o processo de nitrificação converte o íon amônio a nitrato, íons de hidrogênio são liberados. Conseqüentemente, as fontes de hidrogênio (neste caso o nitrato de amônio) que contêm ou formam nitrogênio amoniacal aumentam a acidez do solo, a não ser que a planta absorva o íon amônio diretamente. O presente estudo demonstrou que

isto não ocorreu, uma vez que o teor de amônio no solo foi superior ao de nitrato. Ainda segundo Raij (1991), Lopes (1998) e Havlin et al. (2005), durante o processo de decomposição da matéria orgânica do solo, o primeiro produto com nitrogênio é o amônio e quando ele é convertido a nitrato, íons hidrogênio são liberados, o quais causam acidez.

O decréscimo nos valores de pH do solo em função das doses de nitrogênio também foi observado por Campos (2004), que relatou que as doses de nitrogênio aplicadas em cobertura no milho ocasionaram decréscimo no pH em CaCl_2 , reduzindo a valor menor que 4,2 em dose elevada de nitrogênio, após 30 dias da adubação. Após 90 dias da cobertura nitrogenada, o valor de pH foi mais elevado nas mais baixas doses de doses de nitrogênio, tanto em pré-semeadura como em cobertura. Segundo esse autor isto pode ser explicado pelo efeito de diluição da solução do solo e pelo teor de carbono orgânico que minimizou o efeito acidificante provocado pelo fertilizante nitrogenado. Esse processo de acidificação é esperado porque na nitrificação há formação de 2H^+ para cada íon de NH_4^+ nitrificado, resultando em redução no pH do solo na região da reação.

4.1.3 Nitrogênio no solo

4.1.3.1 Nitrogênio total no solo sem a presença de plantas

No solo sem a presença do capim-Marandu não se constatou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre nas amostras coletadas à época do primeiro, segundo e terceiro cortes. Respostas significativas às doses individuais de nitrogênio foram observadas apenas na ocasião do segundo e terceiro cortes, com ajuste dos resultados a modelo linear de regressão. O teor médio de nitrogênio total sem a presença do capim-Marandu nas amostras coletadas à época do primeiro corte foi de $0,61 \text{ g kg}^{-1}$.

Nas amostras de solo correspondentes ao segundo e terceiro cortes à medida que se elevaram as doses de nitrogênio no solo ocorreu aumento do teor de nitrogênio total no solo (Figuras 13 e 14). O teor de nitrogênio total nas amostras de solo coletadas no segundo corte variou de $0,40$ a $0,62 \text{ mg dm}^{-3}$ e no terceiro corte de $0,33$ a $0,47 \text{ mg dm}^{-3}$. O teor de nitrogênio no solo em condições de baixa dose de nitrogênio ressaltou o evidenciado por Monteiro (2000), em que pastagens tropicais extensivamente manejadas, sem fertilização nitrogenada, a disponibilidade de nitrogênio depende diretamente da mineralização do nitrogênio dos resíduos orgânicos. Como no presente caso não havia a presença de plantas a situação ficou mais evidente.

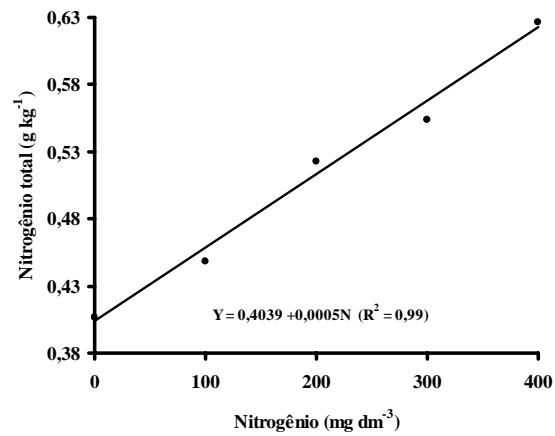


Figura 13 – Teor total de nitrogênio no solo sem a presença do capim-Marandu, em amostras de solo coletadas no segundo corte, em função das doses de nitrogênio

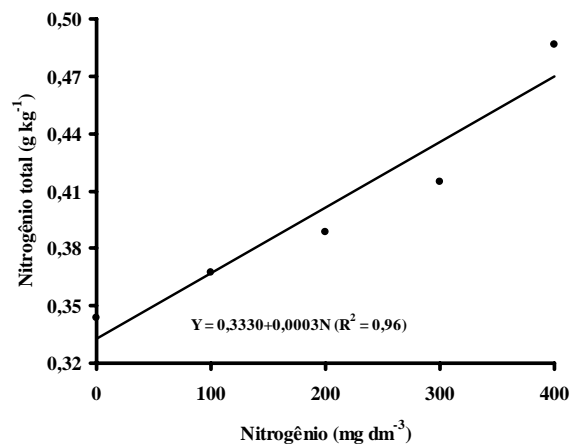


Figura 14 – Teor total de nitrogênio no solo sem a presença do capim-Marandu, em amostras de solo coletadas no terceiro corte, em função das doses de nitrogênio

O teor de nitrogênio total nas amostras de solo coletadas no segundo corte foi relativamente maior em relação às coletadas no terceiro corte. O maior teor de nitrogênio total no solo coletado no segundo corte foi 1,33 vezes maior em relação ao maior teor de nitrogênio total no solo coletado no terceiro corte. Isto era esperado pois o solo é um compartimento vivo, que sofre constantemente a mineralização e a extração do nitrogênio pelas plantas. Nestas condições de ausência de plantas, o teor de nitrogênio ficou exclusivamente dependente da matéria orgânica já existente no solo e também das adubações devido à ausência de plantas.

Segundo Bremner (1996), a faixa de teor de nitrogênio total no solo em condições de cultivo varia de 0,6 a 5,0 g dm⁻³. O teor de nitrogênio total no solo do presente trabalho variou entre 0,3 a 0,6 g kg⁻¹, o que significa teor abaixo do menor valor referência descrito por aquele autor. Isto provavelmente ocorreu devido ao fato do solo ter sido coletado sob condições de baixa matéria orgânica e em estágio avançado de degradação da pastagem.

Essa falta de resposta no teor de nitrogênio total no solo, à aplicação de nitrogênio e de enxofre nas amostras coletadas à época do primeiro corte pode ser justificada, segundo Cantarella, Abreu e Berton (1992), pelo processo de imobilização do nitrogênio, no qual o nitrogênio do meio é incorporado à biomassa microbiana e posteriormente a matéria orgânica.

4.1.3.2 Nitrogênio total no solo com a presença de plantas

A análise de variância do teor de nitrogênio total no solo com presença de plantas não revelou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre, para as amostras de solo correspondentes aos três cortes. Respostas significativas também não foram observadas tanto para as doses individuais de nitrogênio como de enxofre. Os teores médios de nitrogênio total com presença de plantas foram de 0,5; 0,4 e 0,3 g kg⁻¹ nas amostras de solo coletadas no primeiro, segundo e terceiro cortes, respectivamente.

Esses resultados refletem o enfatizado por Raij (1991), que a dinâmica do nitrogênio no solo, em curto prazo é difícil de prever. Dependendo da disponibilidade de resíduos orgânicos, da relação C/N do solo e dos resíduos, da umidade do solo, do pH e de outros fatores, pode haver uma determinada quantidade de nitrogênio mineral no solo, a um dado momento. Contudo, Raij (1991) ressaltou ainda que se as formas minerais de nitrogênio são muito variáveis e o teor total de nitrogênio no solo praticamente não varia em curto prazo, ou mesmo no período de alguns anos.

Bonfim-da-Silva (2005) observou respostas significativas às doses de nitrogênio nas amostras de solo coletadas na ocasião do segundo e terceiro cortes. Nessas ocasiões o aumento no fornecimento de nitrogênio resultou em maior concentração de nitrogênio total no solo, com elevação de 1,4 e 1,2 vezes no teor de nitrogênio total no solo na condição de não aplicação de nitrogênio e na condição de dose elevada de nitrogênio (400 mg dm⁻³) nas amostras de solo coletadas no segundo e terceiro cortes.

Nesse contexto provavelmente todo o nitrogênio fornecido às plantas na adubação foi absorvido pelo capim-Marandu. Vale ressaltar que a extração de nitrogênio pelas plantas pode resultar em nenhum aumento ou até diminuição no nitrogênio do solo, mesmo após adubações com nitrogênio. Campos (2004) relatou que o aumento das doses de nitrogênio para o capim-Braquiária promoveu redução linear no teor total de nitrogênio no solo e atribuiu isso à extração de nutrientes pelas plantas.

4.1.3.3 Nitrato no solo sem a presença de plantas

A análise de variância do teor de nitrato no solo sem a presença de plantas revelou comportamento diferenciado entre as amostras de solo coletadas no primeiro, segundo e terceiro cortes. Para as amostras de solo coletadas no primeiro corte respostas significativas foram observadas apenas às doses individuais de nitrogênio, com ajuste dos resultados a modelo linear de regressão (Figura 15). Para as amostras de solo coletadas no segundo corte verificou-se significância para a interação entre doses de nitrogênio e de enxofre, com ajuste a modelo polinomial de regressão (Figura 16). Para as amostras de solo coletadas no terceiro corte não se encontrou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre, bem como para os efeitos individuais desses nutrientes.

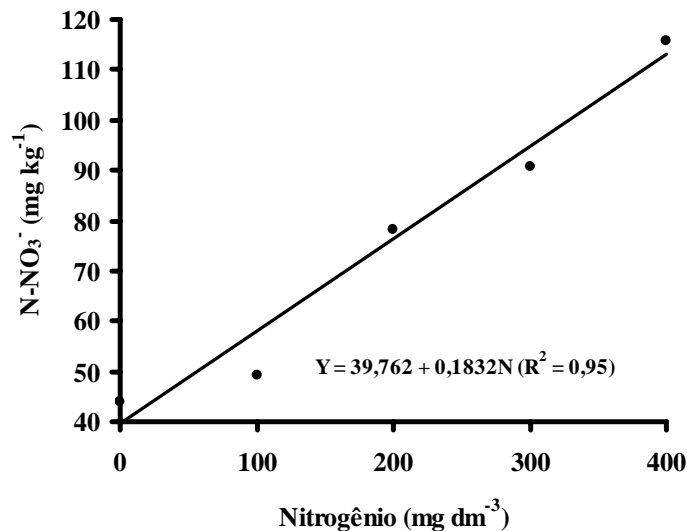
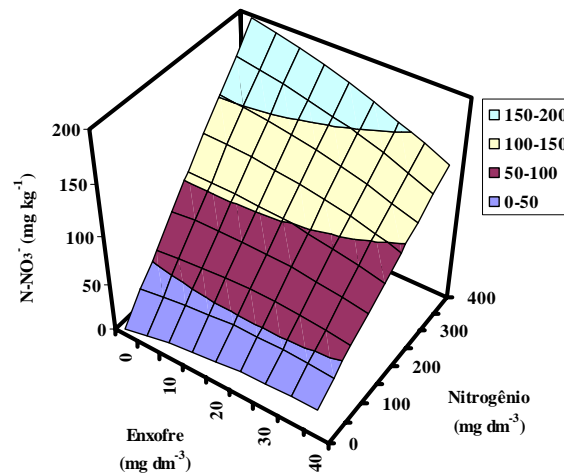


Figura 15 – Teor de nitrato no solo sem a presença do capim-Marandu, em amostras de solo coletadas no primeiro corte, em função das doses de nitrogênio



$$Y = 7,8803 + 0,4952N - 0,00005N^2 + 1,2134S - 0,0172S^2 - 0,0053NS \quad (R^2=0,65)$$

Figura 16 – Teor de nitrato no solo sem a presença do capim-Marandu, em amostras de solo coletadas no segundo corte, em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre

Na ocasião do segundo corte, de acordo com o modelo de regressão polinomial, a ocorrência de ponto de sela não permitiu a determinação das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre que seriam responsáveis pelo teor máximo ou mínimo de nitrato no solo. Entretanto, as combinações resultantes do intervalo de doses de enxofre de 0 a 5 mg dm^{-3} e a dose de nitrogênio de 400 mg dm^{-3} revelaram teor mais elevado de nitrato no solo (197,2 mg kg^{-1}) enquanto o menor teor de nitrato (7,9 mg kg^{-1}) foi constatado em combinação de baixas doses de nitrogênio e de enxofre.

Na ausência da aplicação de nitrogênio, maiores teores de nitrato foram encontrados nas amostras de solo coletadas no primeiro corte (44,01 mg kg^{-1}) em relação ao segundo corte (7,90 mg kg^{-1}). Entretanto, em condição de dose alta de nitrogênio (400 mg dm^{-3}) o maior teor de nitrato foi observado no segundo corte (197,2 mg kg^{-1}).

Esse acúmulo de nitrato à medida que se aumentaram às doses de nitrogênio pode ser justificado pela ausência de plantas para a absorção do nutriente e também segundo Fernandes e Rossiello (1986), quanto mais nitrogênio é fornecido ao solo, maior está sendo a conversão a nitrato.

4.1.3.4 Nitrato no solo com a presença de plantas

Na presença do capim-Marandu o teor de nitrato nas amostras de solo coletadas na ocasião do primeiro, segundo e terceiro cortes não apresentou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre. Entretanto, respostas significativas foram observadas às doses de nitrogênio na ocasião das três coletas de amostra de solo.

Nas amostras de solo com presença de plantas, correspondentes ao primeiro corte, o teor de nitrato se ajustou a modelo quadrático de regressão, e a dose de nitrogênio de 112,7 mg dm⁻³ foi a responsável pelo menor teor de nitrato no solo (12 mg kg⁻¹) como mostra a Figura 17.

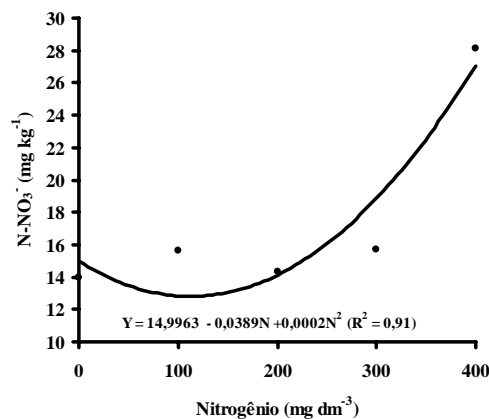


Figura 17 – Teor de nitrato no solo com a presença do capim-Marandu, em amostras de solo coletadas no primeiro corte, em função das doses de nitrogênio

Os teores de nitrato nas amostras de solo com presença de plantas, coletadas no segundo corte, se ajustaram ao modelo linear de regressão (Figura 18). Os teores de nitrato nas amostras de solo correspondentes ao segundo corte variaram de 22,3 a 166,4 mg kg⁻¹. Os resultados evidenciaram que o nitrogênio aplicado em doses elevadas não foi totalmente absorvido pelas plantas, como já observado por Colozza (1998).

O teor de nitrato no solo na presença do capim-Marandu, nas amostras de solo coletadas na ocasião do terceiro corte, se ajustou a modelo quadrático de regressão, e a dose de nitrogênio de 131,9 mg dm⁻³ foi a responsável pelo menor teor de nitrato no solo (19,6 mg kg⁻¹) como ilustra a Figura 19. Colozza (1998), para o capim-Aruana aos 68 dias de cultivo, verificou que a dose de nitrogênio de 185,6 mg kg⁻¹ foi a responsável pelo menor teor de nitrato no solo.

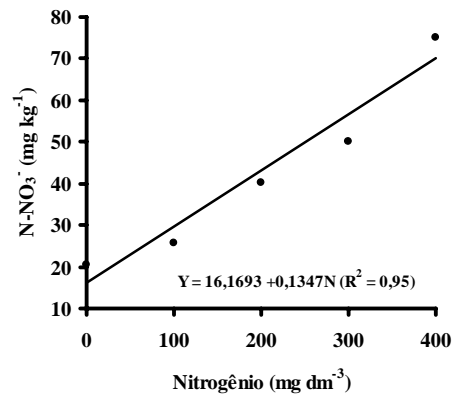


Figura 18 – Teor de nitrato no solo com a presença do capim-Marandu, em amostras de solo coletadas no segundo corte, em função das doses de nitrogênio

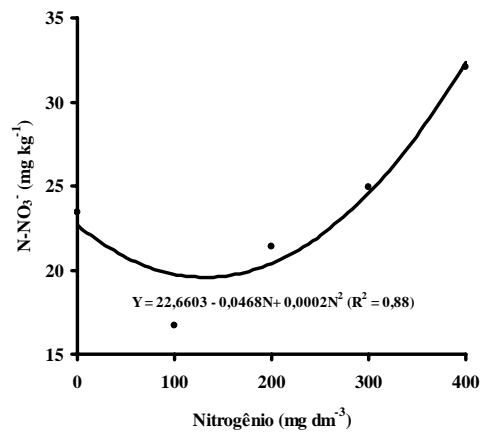


Figura 19 – Teor de nitrato no solo com a presença do capim-Marandu, em amostras de solo coletadas no terceiro corte, em função das doses de nitrogênio

O aumento do teor de nitrato no solo sob cultivo do capim, observado nos três cortes, pode ser justificado pela conversão do nitrogênio no solo ou pelos destinos que ele pode seguir. Fernandes e Rossiello (1986), assim como Moreira e Siqueira (2002), enfatizaram que o nitrogênio no solo sofre várias transformações e que a resultante dessas transformações é a formação do nitrato mediada por bactérias de diversos gêneros. Posteriormente a sua formação, o nitrato, entre outros caminhos, pode ser absorvido pelas plantas ou ser reutilizado por microorganismos. Dessa forma, o acúmulo de nitrato com o aumento das doses de nitrogênio pode estar sendo favorecido por falhas em um desses fatores.

Bonfim-da-Silva (2005) também revelou respostas positivas a aplicação de nitrogênio do teor de nitrato nas amostras de solo correspondentes ao terceiro corte do capim-Marandu. Os maiores teores de nitrato no solo foram encontrados em condições de alto fornecimento de nitrogênio.

4.1.3.5 Amônio no solo sem a presença de plantas

O teor de amônio nas amostras de solo sem a presença de plantas coletadas à época do primeiro, segundo e terceiro cortes não apresentou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre. Entretanto, respostas significativas foram observadas apenas às doses de nitrogênio nas amostras de solo correspondentes ao primeiro, segundo e terceiro cortes (Figuras 20, 21 e 22).

Nas amostras de solo correspondentes ao primeiro e segundo cortes, o teor de amônio no solo em resposta as doses de nitrogênio ajustou-se a modelo linear de regressão. Na época do primeiro corte os teores variaram de 62,7 a 142,3 mg kg⁻¹ (Figura 20) e na época do segundo corte a variação foi de 22,6 a 169,6 mg kg⁻¹ (Figura 21).

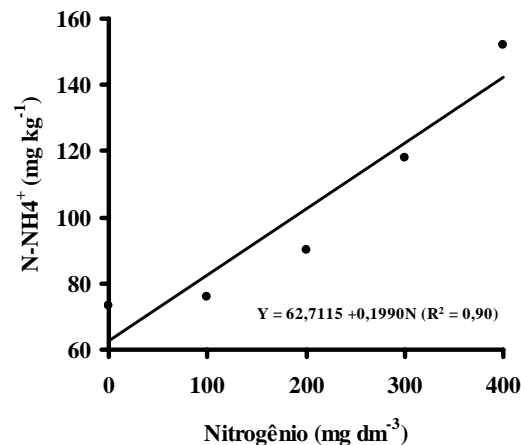


Figura 20 – Teor de amônio no solo sem a presença do capim-Marandu, em amostras de solo coletadas no primeiro corte, em função das doses de nitrogênio

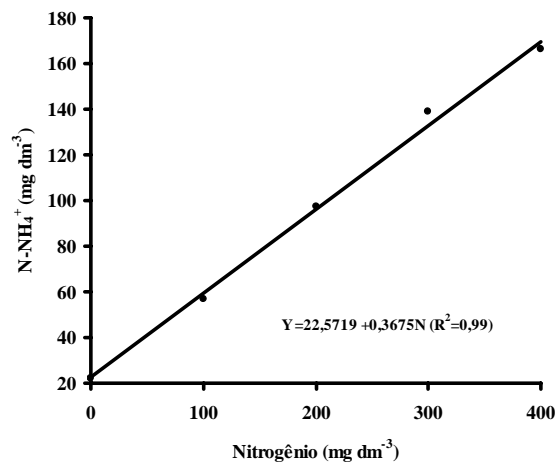


Figura 21 – Teor de amônio no solo sem a presença do capim-Marandu, em amostras de solo coletadas no segundo corte, em função das doses de nitrogênio

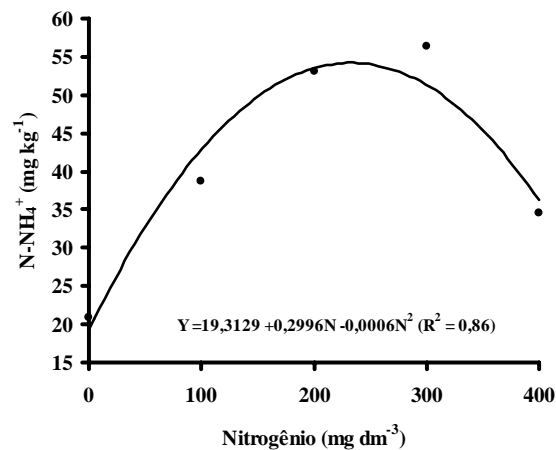


Figura 22 – Teor de amônio no solo sem a presença do capim-Marandu, em amostras de solo coletadas no terceiro corte, em função das doses de nitrogênio

O teor de amônio nas amostras de solo coletadas na ocasião do terceiro corte ajustou-se a modelo quadrático de regressão e dose de nitrogênio de 232,9 mg dm⁻³ foi a responsável pelo teor máximo de amônio no solo (54,2 mg kg⁻¹) como mostra a Figura 22. Essa resposta do terceiro corte evidenciou que o nitrogênio à partir da dose de 232,9 mg dm⁻³ passou a ser oxidado eficientemente a nitrato, principal forma de nitrogênio absorvido pelas plantas (CANTARELLA; ABREU; BERTON, 1992 e FERNANDES; ROSSIELLO, 1986).

Os teores de amônio nas amostras de solo, sem a presença do capim-Marandu, coletadas na ocasião do primeiro corte apresentaram-se maiores em relação aos teores de nitrato. De acordo com Silva; Rossiello e Fernandes (1985) isto pode ser devido a problemas com a umidade do solo ou também devido a inibição da nitrificação, que ocorre quando microorganismos nitrificadores tem ação específica inibida por substâncias naturais. Entretanto, Carvalho, (1999) e Bonfim-da-Silva-(2005) ressaltaram que teores de amônio superiores ao de nitrato no solo tem sido encontrados em solos de pastagens tropicais.

Nas amostras de solo sem a presença do capim-Marandu, correspondentes ao segundo corte, o teor de nitrato foi maior em relação ao de amônio, fato este comum em condições normais, em solos bem aerados já que a nitrificação da amônio é extremamente rápida (FERNANDES; ROSSIELLO 1986).

4.1.3.6 Amônio no solo com a presença de plantas

A análise de variância para o teor de amônio no solo na presença do capim-Marandu não revelou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre nas amostras de solo coletadas na ocasião do primeiro, segundo e terceiro cortes. Respostas significativas para as doses individuais de nitrogênio e de enxofre também não foram observadas nas amostras de solo correspondentes ao primeiro e terceiro cortes. Entretanto, significância foi observada apenas as doses de nitrogênio nas amostras de solo coletadas na ocasião do segundo corte, com ajuste dos resultados a modelo linear de regressão (Figura 23).

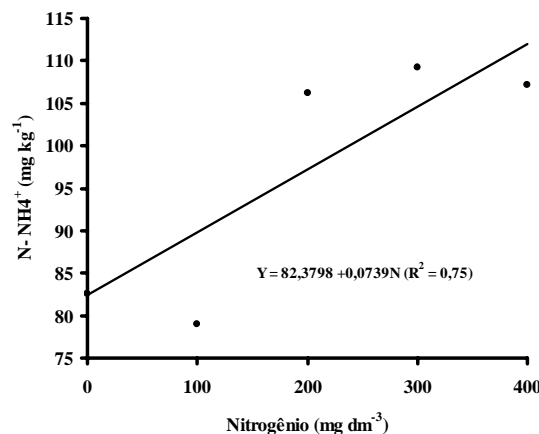


Figura 23 – Teor de amônio no solo com a presença do capim-Marandu, em amostras de solo coletadas no segundo corte, em função das doses de nitrogênio

O teor de amônio no solo com a presença de plantas variou de 82,4 a 111,9 mg kg⁻¹. Esse teor de amônio no solo na presença de plantas foi maior que o de nitrato (16,2 a 70,0 mg kg⁻¹). Isto pode ser decorrência da inibição da nitrificação provocada quando as bactérias quimiautotróficas têm sua ação específica inibida por substâncias naturais, como os exsudatos de plantas (SILVA; ROSSIELLO; FERNANDES, 1985). Nesse aspecto, Moreira e Siqueira (2002) ressaltaram que os solos com pastagens contém maiores quantidades de NH₄⁺ do que NO₃⁻ e que isto tem sido atribuído à inibição da nitrificação pelas substâncias excretadas por raízes de gramíneas e também que o pH baixo também pode contribuir para isto.

A falta de respostas, em termos de aplicação de nitrogênio, dos teores de amônio no solo com presença de plantas, nas amostras coletadas à época do primeiro e terceiro cortes, pode ser decorrência da imobilização do nitrogênio. O suprimento do nitrogênio através de fertilizantes, durante o processo de decomposição da matéria orgânica, pode resultar em aumento do nitrogênio imobilizado (CARVALHO, 1999).

4.1.4 Enxofre no solo

4.1.4.1 Enxofre total no solo sem a presença de plantas

O teor de enxofre total no solo sem a presença de plantas, nas amostras de solo coletadas na ocasião do primeiro, segundo e terceiro cortes, não revelou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre. Respostas significativas também não foram observada às doses individuais de nitrogênio, bem como de enxofre nas amostras coletadas na ocasião do primeiro e segundo cortes. Entretanto, nas amostras coletadas na ocasião do terceiro corte observou-se respostas significativas, no teor de enxofre total, às doses individuais de nitrogênio e de enxofre, com ajuste a modelo linear de regressão em ambos os casos.

Para as amostras de solo coletadas na ocasião do terceiro corte verificou-se que o teor de enxofre total no solo diminuiu com o aumento das doses de nitrogênio (122,4 a 64,7 mg kg⁻¹), e isto pode ser decorrência da maior utilização de enxofre pelas plantas quando houve maior fornecimento de nitrogênio (Figura 24). Esses resultados são semelhantes aos observados para o teor de matéria orgânica no solo, evidenciando portanto a ação dos microorganismos. Com relação à aplicação de enxofre, o teor de enxofre total no solo (93,7 a 123,9 mg kg⁻¹) aumentou à medida que se elevavam as doses de enxofre, provavelmente devido à baixa disponibilidade de nitrogênio (Figura 25).

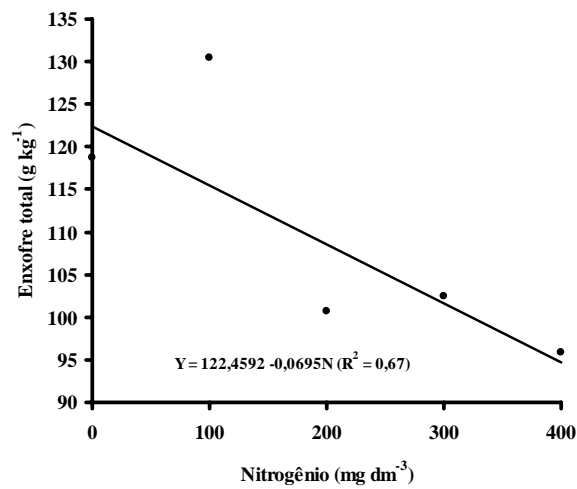


Figura 24 – Teor de enxofre total no solo sem a presença do capim-Marandu, em amostras de solo coletadas no terceiro corte, em função das doses de nitrogênio

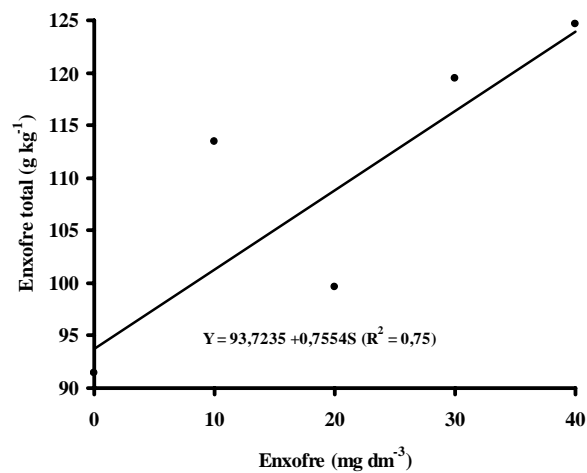


Figura 25 – Teor de enxofre total no solo sem a presença do capim-Marandu, em amostras de solo coletadas no terceiro corte, em função das doses de enxofre

4.1.4.2 Enxofre total no solo com a presença de plantas

No solo com a presença do capim-Marandu o teor de enxofre total não apresentou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre nas amostras coletadas à época do primeiro, segundo e terceiro cortes. Respostas significativas às doses individuais de enxofre foram observadas apenas na ocasião do terceiro corte, com ajuste dos resultados a modelo linear de regressão (Figura 26).

O teor de enxofre total nas amostras de solo coletadas na ocasião do terceiro corte variou de 88,4 a 131,8 mg kg⁻¹. Bettany, Stewart e Hasteed (1973) relataram que os teores de enxofre total em 54 amostras de solo de pastagens e florestas apresentaram variação de 88 a 760 mg kg⁻¹. Neptune, Tabatabai e Hanway (1975) encontraram em solos cultivados do Brasil, teor de enxofre total variando de 43 a 398 mg kg⁻¹ enquanto Blanchar (1986) ressaltou que o teor de enxofre total no solo deve estar dentro do intervalo de 50 a 50 000 mg kg⁻¹.

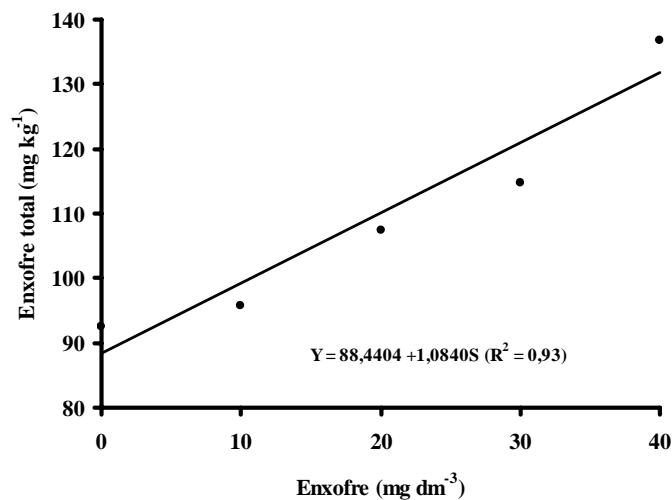


Figura 26 – Teor de enxofre total no solo na presença do capim-Marandu, na ocasião do terceiro corte, em função das doses de enxofre

4.1.4.3 Sulfato no solo sem a presença de plantas

A análise de variância para o teor de sulfato no solo na ausência do capim-Marandu nas amostras de solo coletadas à época do primeiro, segundo e terceiro cortes não revelou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre. Entretanto, respostas significativas foram observadas para as doses individuais de enxofre na ocasião do primeiro, segundo e terceiro cortes.

Os resultados de teores de sulfato nas amostras de solo coletadas na ocasião do primeiro e segundo cortes, em ausência do capim-Marandu, ajustaram-se a modelo linear de regressão (Figuras 27 e 28), enquanto que para as amostras de solo coletadas na ocasião do terceiro corte houve ajuste a modelo quadrático de regressão (Figura 29).

Para as amostras de solo coletadas na ocasião do primeiro, segundo e terceiro cortes uma dose de enxofre maior que a estudada foi responsável pelo teor máximo de sulfato no solo (119,5

mg dm^{-3}) e na ocasião do primeiro, segundo e terceiro cortes houve incremento nos teores de sulfato nas amostras de solo coletadas em ausência do capim-Marandu.

Segundo Raij (1991), a matéria orgânica do solo deve fornecer cada vez menos enxofre para o solo e dessa forma o acúmulo de enxofre no solo ocorre em decorrência das adubações. Como nesse experimento o teor de matéria orgânica no solo era baixo e não existiam plantas para extrair o enxofre fornecido, o acúmulo de sulfato foi favorecido. Também Cantarella e Prochnow (2001) ressaltaram que o sulfato representa a maior fração de enxofre inorgânico nos solo, em geral, prontamente disponível às plantas.

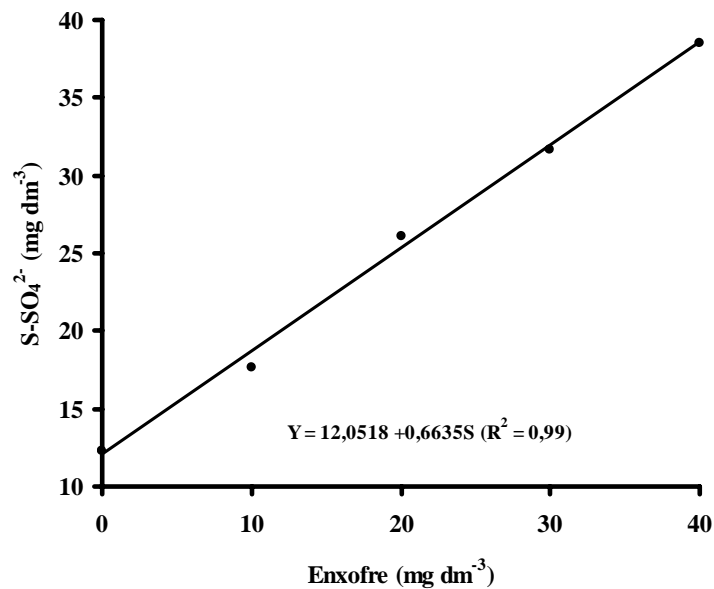


Figura 27 – Teor de sulfato no solo sem a presença do capim-Marandu, na ocasião do primeiro corte, em função das doses de enxofre

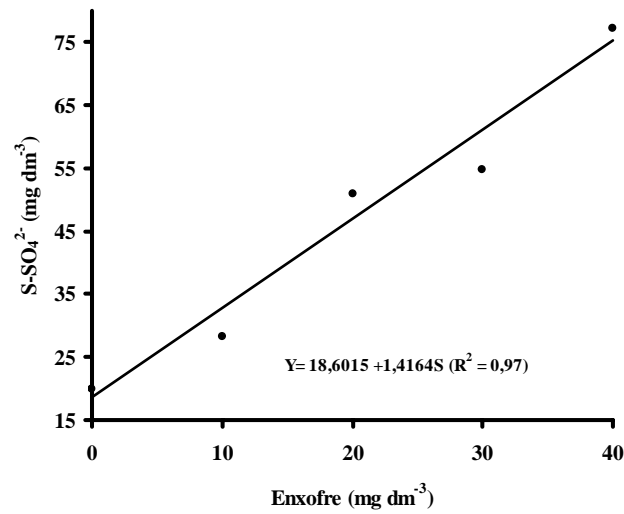


Figura 28 – Teor de sulfato no solo sem a presença do capim-Marandu, na ocasião do segundo corte, em função das doses de enxofre

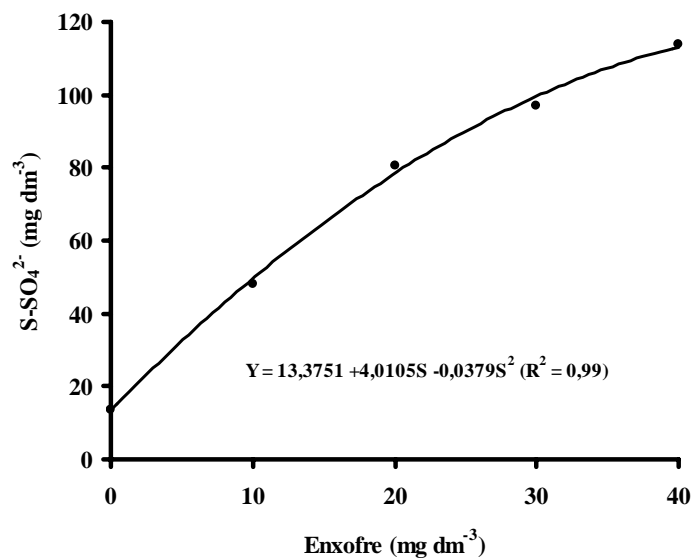


Figura 29 – Teor de sulfato no solo sem a presença do capim-Marandu, na ocasião do terceiro corte, em função das doses de enxofre

4.1.4.4 Sulfato no solo com a presença de plantas

A análise de variância do teor de sulfato no solo, com a presença do capim-Marandu, nas amostras de solo coletadas à época do primeiro, segundo e terceiro cortes não apresentou

significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre. Entretanto respostas significativas foram observadas para as doses individuais de enxofre na ocasião do primeiro (Figura 30), segundo (Figura 31) e terceiro cortes (Figura 32), e para as doses individuais de nitrogênio no segundo corte (Figura 33).

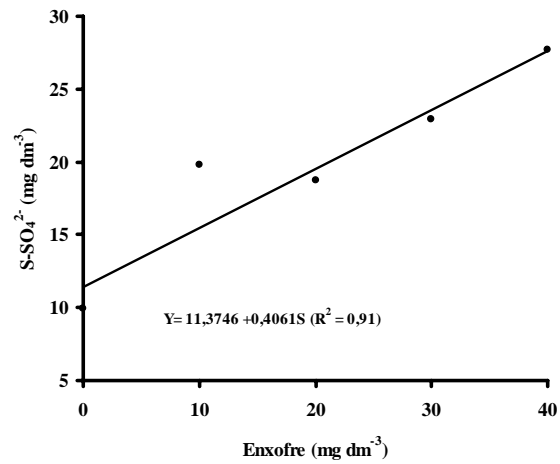


Figura 30 – Teor de sulfato no solo com a presença do capim-Marandu, na ocasião do primeiro corte, em função das doses de enxofre

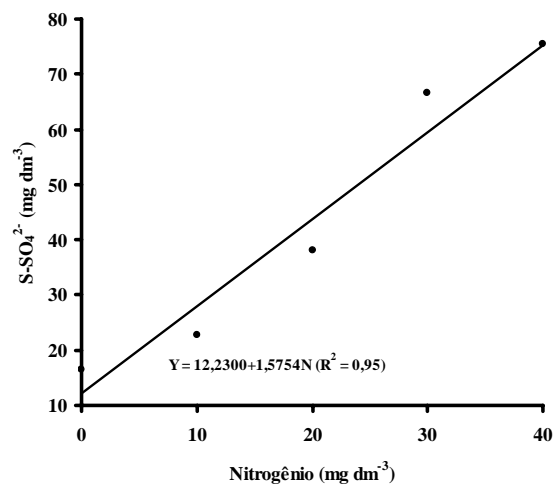


Figura 31 – Teor de sulfato no solo com a presença do capim-Marandu, na ocasião do segundo corte, em função das doses de enxofre

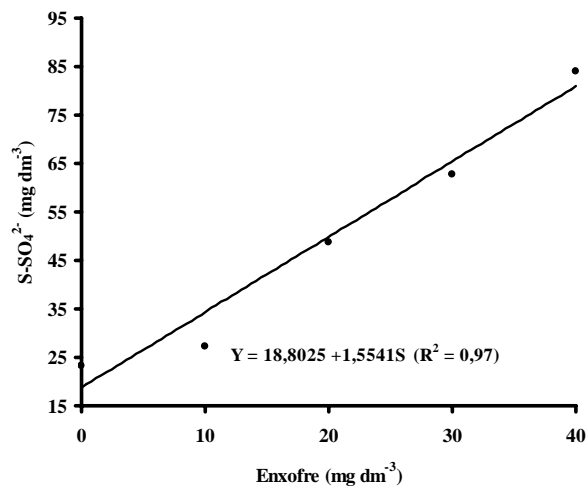


Figura 32 – Teor de sulfato no solo com a presença do capim-Marandu, na ocasião do terceiro corte, em função das doses de enxofre

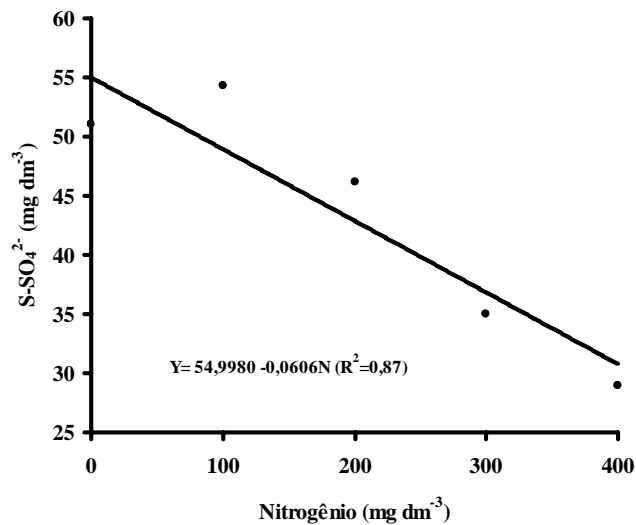


Figura 33 – Teor de sulfato no solo com a presença do capim-Marandu, na ocasião do segundo corte, em função das doses de nitrogênio

Os teores de sulfato no solo com a presença do capim-Marandu na ocasião do primeiro, segundo e terceiro cortes em função das doses de enxofre e no segundo corte em função das doses de nitrogênio se ajustaram a modelo linear de regressão.

No solo com a presença do capim-Marandu, na ocasião do segundo corte, o incremento nas doses de nitrogênio resultou em redução no teor de sulfato no solo. Isto pode ser justificado,

segundo Rajj (1991), pelas relações C:S ou N:S, pois em valores altos dessas relações pode haver imobilização do enxofre mineral. Dessa forma, o fornecimento de nitrogênio pode estar favorecendo a imobilização do enxofre no solo pela falta de equilíbrio entre ambos.

Havlin et al. (2005) enfatizaram que solos na presença de plantas geralmente mineralizam mais enxofre que na sua ausência, devido ao estímulo à atividade microbiana na rizosfera, pela excreção de aminoácidos e açúcares pelas raízes de plantas. Entretanto, no presente trabalho os teores de sulfato na presença de plantas são menores que na ausência de plantas em qualquer um dos cortes, o que pode ser justificado pelos valores de pH, já que esses são maiores em condições de presença de plantas e segundo Havlin et al. (2005) a mineralização de enxofre no solo diminui com o aumento de pH, sendo esta redução proporcional ao aumento do pH.

Bonfim-da-Silva (2005) também observou que o teor de sulfato no solo aumentou em decorrência do incremento nas doses de enxofre, e enfatizou que como o experimento foi conduzido sob condições controladas, o teor de sulfato no solo era decorrente da atividade microbiológica e do fornecimento na adubação.

4.2 Planta

4.2.1 Número de perfilhos e de folhas

4.2.1.1 Número total de perfilhos

A interação entre as doses de nitrogênio e as doses de enxofre não foi significativa para o número total de perfilhos no primeiro crescimento do capim-Marandu, mas foi significativa no segundo e terceiro crescimentos. Respostas significativas foram observadas para as doses individuais de nitrogênio no número de perfilhos no primeiro crescimento do capim, com os resultados ajustando-se ao modelo quadrático de regressão. A dose de nitrogênio de 335,2 mg dm⁻³ foi responsável pelo máximo perfilhamento no primeiro crescimento do capim-Marandu (Figura 34).

A produção de perfilhos aumentando com as doses de nitrogênio, com os resultados ajustando-se ao modelo quadrático de regressão, também foi observada por Batista (2002) ao trabalhar com o fornecimento de nitrogênio em solução nutritiva para o capim-Marandu, por Manarin (2000) com o capim-Mombaça e Lavres Júnior (2001) com o capim-Mombaça.

O nitrogênio e outros fatores ambientais podem influenciar nas taxas de aparecimento de folhas, alongamento e senescência foliar bem como na densidade de perfilhos e tamanho de folhas (CHAPMAN; LEMAIRE, 1993).

As respostas do capim-Mombaça a doses de nitrogênio foram estudadas por Garcez Neto et al. (2002). O nitrogênio interferiu no número total de perfilhos produzidos principalmente na rebrotação e a dose de nitrogênio de 170,5 mg dm⁻³ foi a responsável pela maior produção de perfilhos.

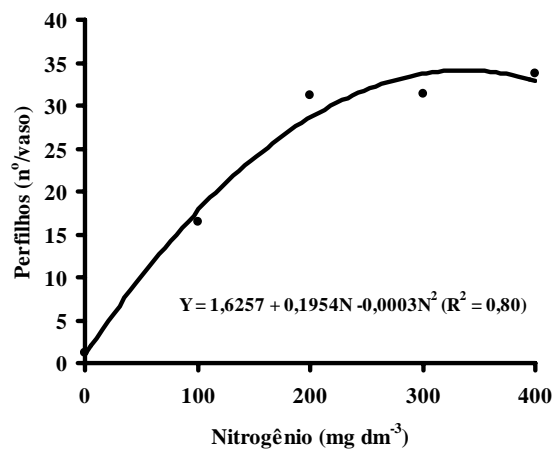


Figura 34 – Número total de perfilhos no primeiro crescimento do capim-Marandu, em função das doses de nitrogênio

Durante o segundo crescimento o máximo perfilhamento do capim-Marandu ocorreu com a dose de nitrogênio de 369,8 mg dm⁻³ associada à dose de enxofre de 39,2 mg dm⁻³, numa relação entre doses de 9,4:1 (Figura 35). Vale ressaltar que em condições de altas doses de enxofre à medida que se aumentavam as doses de nitrogênio ocorria elevação no número de perfilhos, demonstrando que quanto maior o suprimento de enxofre maior será a necessidade de nitrogênio para o perfilhamento do capim.

Esses resultados se assemelham a aqueles observados por Batista (2002) no capim-Marandu na ocasião do segundo crescimento, tendo o capim respondido sempre positivamente às doses de nitrogênio associadas às doses de enxofre. Santos e Monteiro (1999), trabalhando com o capim-Braquiária submetido a doses de enxofre, observaram que o perfilhamento da forrageira foi alterado significativamente pelas doses de enxofre, apenas no segundo crescimento.

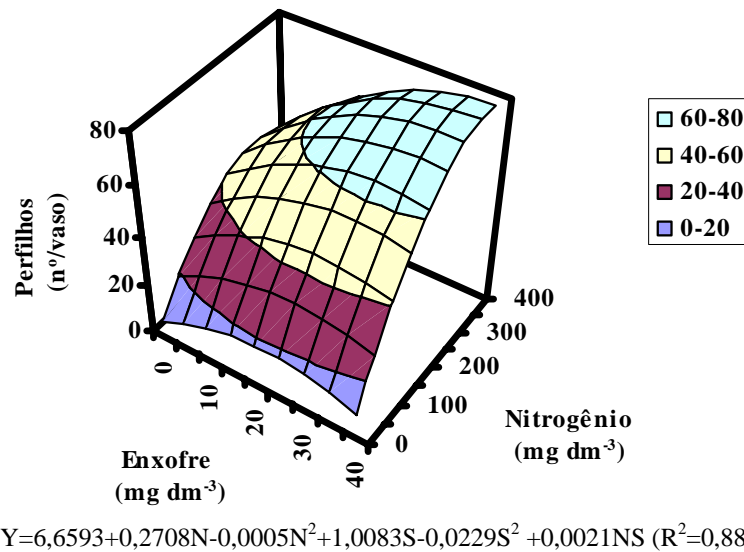


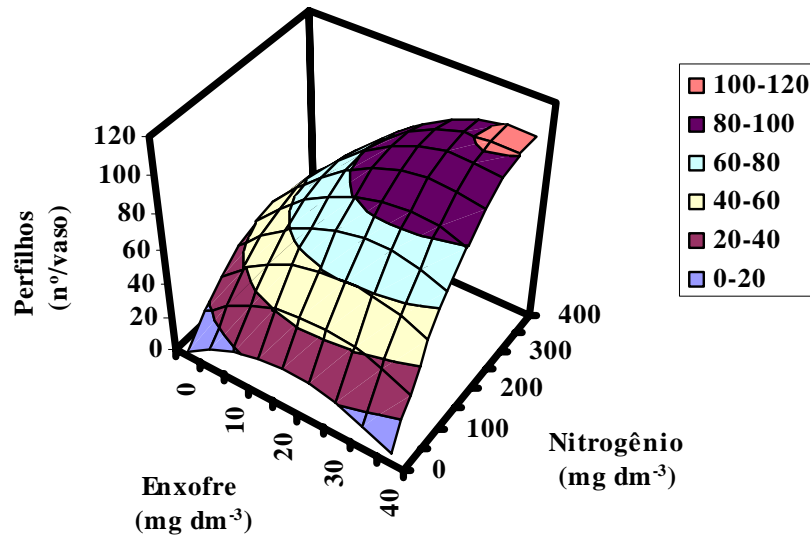
Figura 35 – Número total de perfilhos no segundo crescimento do capim-Marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre

Rodrigues (2002), conduzindo experimento em solo proveniente de pastagem degradada, verificou interação significativa entre as doses de enxofre, nitrogênio e calcário para o capim-Braquiária na ocasião do segundo crescimento. Relatou que as doses de enxofre de 108 e 216 mg kg^{-1} associadas, respectivamente, às doses de nitrogênio de 630 e 1080 mg kg^{-1} resultaram no maior número de perfilhos da gramínea.

O máximo perfilhamento no terceiro crescimento ocorreu na dose de nitrogênio de 369 mg dm^{-3} associada à dose de enxofre de 37,0 mg dm^{-3} , numa relação entre doses de 10:1 (Figura 36). A superfície de resposta revelou um platô formado entre as doses de nitrogênio de 350 a 400 mg dm^{-3} associadas às doses de enxofre de 35 a 40 mg dm^{-3} .

Como já era de se esperar o número de perfilhos no segundo e terceiro crescimentos foi mais elevado que o do primeiro crescimento (2,1 e 5,4 vezes respectivamente). Isto pode ser explicado em razão de, no período inicial de crescimento, a planta concentrar a maior parte de sua energia para o seu estabelecimento, para a formação do seu sistema radicular e da sua parte aérea. No segundo e terceiro períodos de crescimentos, a planta já está estabelecida possui maior volume radicular (que continuou se desenvolvendo após o primeiro crescimento), com capacidade para absorver maior quantidade de nutrientes para ser metabolizado e também pelo

fato de a planta ter sofrido a ação do corte, que acaba promovendo a indução das gemas basais e originando novos perfilhos. Como relatado por Langer (1974), o corte das plantas estimula o perfilhamento, pelo aumento da intensidade luminosa que alcança as gemas basais e pela quebra de dominância apical.



$$Y=2,0735 +0,3218N -0,0007N^2+2,1428S -0,0509S^2 +0,0044NS \quad (R^2=0,89)$$

Figura 36 – Número total de perfilhos no terceiro crescimento do capim-Marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre

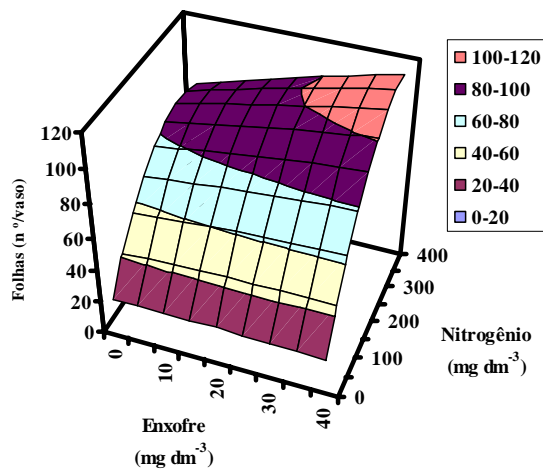
Examinando-se os relatos de Santos e Monteiro (1999) e Batista (2002) com os resultados deste experimento pode-se realçar que a ação do enxofre foi melhorada pela presença do nitrogênio, já que as combinações entre esses dois nutrientes resultaram em benefício para o aproveitamento do enxofre. Esses resultados ressaltam ainda a importância da utilização eficiente do nitrogênio, como já discutido por Alvim et al. (2000), para aumentar a produtividade das gramíneas. Por outro lado, confrontando-se o observado no presente experimento com o relatado por Bonfim-da-Silva (2005), onde o nitrogênio influenciou o número de perfilhos do capim-Braquiária no segundo e terceiro crescimentos, enquanto a interação entre nitrogênio e enxofre era significativa para o primeiro crescimento, fica evidente que em condições de implantação do capim-Marandu, como no caso do presente trabalho, a relação adequada entre o

suprimento de nitrogênio e de enxofre torna-se fundamental para a estabilização deste capim na área.

4.2.1.2 Número total de folhas verdes expandidas

A análise de variância revelou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre para o número total de folhas no primeiro, segundo e terceiro crescimentos do capim-Marandu, ajustando-se ao modelo polinomial de regressão (Figuras 37, 38 e 39).

O maior número total de folhas no primeiro crescimento do capim-Marandu, seria observado em combinações de doses de nitrogênio e de enxofre mais elevadas que as estudadas. O estudo da superfície de resposta demonstrou que em condições da mais alta dose de enxofre (40 mg dm^{-3}) associada a incrementos nas doses de nitrogênio ocorreu aumento na produção de folhas verdes (Figura 37). Nesse crescimento do capim, a produção máxima de folhas foi 120 vezes maior que a mínima e quanto maior o suprimento de enxofre maior a necessidade de nitrogênio pela planta.



$$Y=23,5844 +0,3937N -0,0006N^2 +0,06169S -0,0025S^2 +0,0020NS \quad (R^2=0,94)$$

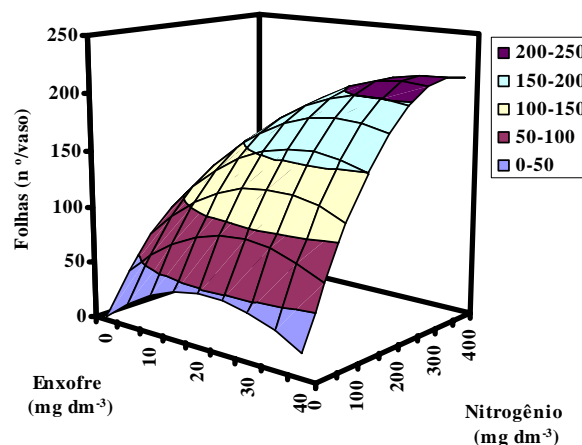
Figura 37 – Produção total de folhas verdes no primeiro crescimento, do capim-Marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre

Interação significativa entre as doses de nitrogênio e de enxofre também foi verificada por Batista (2002) no primeiro crescimento do capim-Marandu. Vale ressaltar que a menor produção

de folhas verdes ocorreu nas combinações de baixas doses de nitrogênio para qualquer das doses de enxofre e à medida que se elevou a dose de nitrogênio ocorreu aumento na produção de folhas.

Essa exigência maior por nitrogênio enfatizou o observado por Ruggieri; Favoretto e Malheiros (1994), Lavres Junior (2001) e Batista (2002), que verificaram ter o incremento das doses de nitrogênio resultado em aumento na produção de folhas e reafirma mais uma vez a necessidade da planta por nitrogênio para a formação de folhas.

A produção máxima de folhas, no segundo crescimento do capim-Marandu, ocorreu na combinação de dose de nitrogênio de 347,8 mg dm⁻³ associada à dose de enxofre de 37,7 mg dm⁻³ (relação entre doses 9,2:1). O estudo da superfície de resposta demonstrou também que, em condições de alta dose de enxofre, à medida em que se incrementaram as doses de nitrogênio ocorreu aumento na produção de folhas do capim (Figura 38).



$$Y=2,1348 +0,7917N -0,0015N^2 +3,9636S -0,0876S^2 +0,0076NS \quad (R^2=0,88)$$

Figura 38 – Produção total de folhas verdes no segundo crescimento do capim-Marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre

A necessidade do equilíbrio no fornecimento de nitrogênio e enxofre torna-se de grande importância para a produção de fotossintetizados pela planta, já que segundo Chapman e Lemaire (1993) o número de folhas por perfilho é componente importante para o índice de área foliar, sendo este o principal fator que influencia a interceptação da luz pelas plantas numa pastagem.

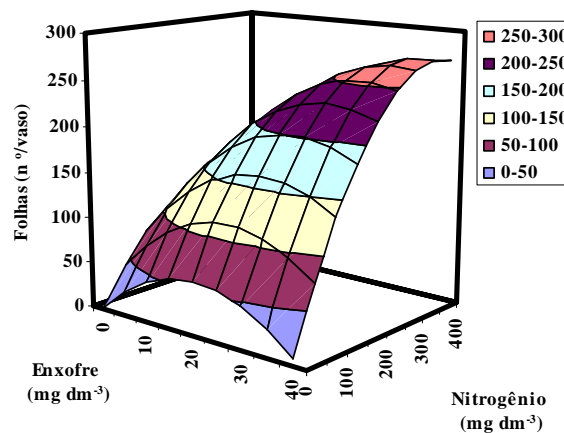
Batista (2002) observou significância para a interação entre doses de nitrogênio e de enxofre para o número de folhas no capim-Marandu, na ocasião do segundo crescimento em

condições de suprimento de nitrogênio e enxofre em solução nutritiva, sendo as respostas maiores observadas em condições de altas doses de nitrogênio para qualquer das doses de enxofre.

O número total de folhas no terceiro crescimento do capim atingiu a produção máxima na dose de nitrogênio de 354,0 mg dm⁻³ associada à dose de enxofre de 38,7 mg dm⁻³ (relação entre doses 9,1:1). O estudo da superfície de resposta demonstrou que em condições da mais alta dose de enxofre (40 mg dm⁻³) o incremento nas doses de nitrogênio promoveu aumento na produção de folhas. Entretanto, na combinação entre a mais alta dose de nitrogênio (400 mg dm⁻³) e de enxofre (40 mg dm⁻³) observou-se a formação de um patamar na produção de folhas, demonstrando mais uma vez a necessidade do equilíbrio entre o suprimento de nitrogênio e de enxofre, principalmente sob manejo intensivo (Figura 39).

Enquanto no presente trabalho observou-se a dependência da relação entre as doses de nitrogênio e de enxofre para o estabelecimento do capim-Marandu, Bonfim-da-Silva (2005) relatou que o capim-Braquiária estabelecido e em recuperação mediante adubação apresentou dependência das doses individuais de nitrogênio e de enxofre para a produção de folhas.

A dose de nitrogênio responsável pelo maior número de folhas no presente experimento foi maior que a dose de nitrogênio (200 mg dm⁻³) observada por Garcez Neto et al. (2002) para o capim-Mombaça



$$Y=1,4702 +0,9230N -0,0021N^2 +5,5427S -0,1349S^2 +0,0139NS \quad (R^2=0,91)$$

Figura 39 – Produção total de folhas verdes no terceiro crescimento do capim-Marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre

4.2.2 Valor SPAD

O valor SPAD avaliado durante o primeiro crescimento do capim-Marandu não apresentou significância para a interação entre nitrogênio e enxofre. Entretanto, respostas significativas foram observadas para as doses individuais de nitrogênio, com os resultados ajustando-se ao modelo quadrático de regressão (Figura 40).

A dose de nitrogênio de 327,2 mg dm⁻³ foi responsável pelo máximo valor SPAD (47,4) no primeiro crescimento do capim-Marandu. O valor SPAD no primeiro crescimento do capim-Marandu diferiu do observado por Mattos (2001) com capim-Braquiária, por Batista (2002) com capim-Marandu e por Bonfim-da-Silva (2005) com capim-Braquiária, que encontraram interação significativa entre as doses de nitrogênio e de enxofre no primeiro crescimento, para o valor SPAD.

O valor SPAD no primeiro crescimento variou de 17,8 a 44,3 entre a não aplicação de nitrogênio e a dose de nitrogênio que proporcionou o máximo valor SPAD. Manarin (2000), trabalhando com respostas do capim-Mombaça a doses de nitrogênio, encontrou valores SPAD variando de 22,1 a 46,9 e Silveira (2005) verificou que o valor SPAD no capim-Tanzânia variou de 30,8 a 48,9 em função das doses de nitrogênio.

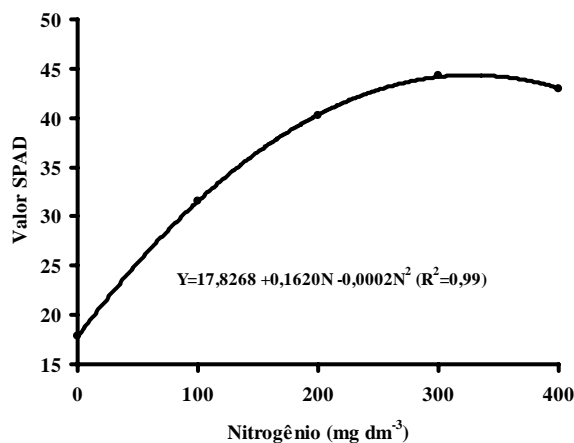


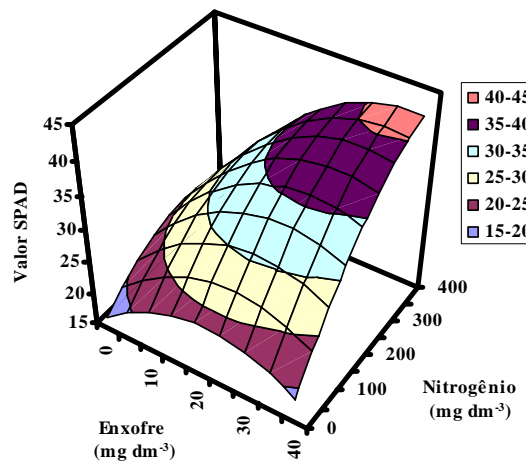
Figura 40 – Valor SPAD durante o primeiro crescimento do capim Marandu, em função das doses de nitrogênio

No segundo e terceiro crescimentos do capim-Marandu o valor SPAD revelou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre, ajustando-se a modelo polinomial de regressão (Figuras 41 e 42).

O máximo valor SPAD no segundo crescimento do capim-Marandu, ocorreria em combinações de dose de nitrogênio mais elevada que a máxima estudada no presente experimento associada à dose de enxofre de $39,8 \text{ mg dm}^{-3}$ (Figura 41). A superfície de resposta demonstrou também que um platô começou a ser formado nas combinações de doses de nitrogênio de cerca de 350 mg dm^{-3} associada à dose de enxofre ao redor de 35 mg dm^{-3} .

No segundo crescimento do capim-Marandu, Batista (2002) observou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre, e que ocorria elevação nos valores de SPAD em razão do aumento na dose de enxofre, até certo limite, associada ao incremento da dose de nitrogênio. Esses resultados reafirmam a necessidade do equilíbrio no suprimento de nitrogênio e enxofre, como verificado por Mattos (2001), que também constatou respostas as doses de nitrogênio e de enxofre para essa variável resposta.

Colozza et al. (1998) encontraram os máximos valores SPAD de 32,7 e 39,7 nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Aruana no primeiro e segundo crescimentos. Para o capim-Mombaça observaram que o valor SPAD máximo foi de 37,6 na ocasião do primeiro e segundo crescimentos.

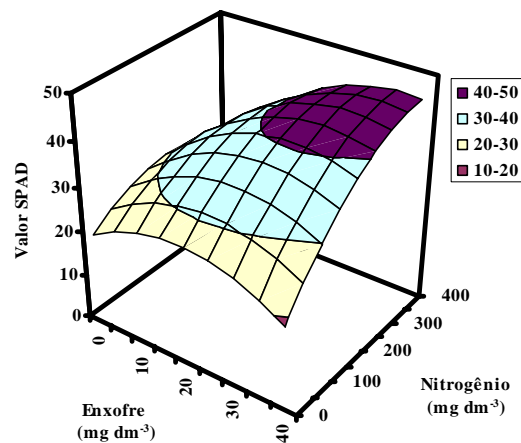


$$Y=16,7056+0,0550N -0,0001N^2 +0,6130S -0,0139S^2 +0,0011NS \quad (R^2=0,82)$$

Figura 41 - Valor SPAD durante o segundo crescimento do capim Marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre

O maior valor SPAD na ocasião do terceiro crescimento ocorreu na dose de nitrogênio de 377,2 mg dm⁻³ associada à dose de enxofre de 35,4 mg dm⁻³ (relação entre doses 10,7:1). Em condições de alta dose de enxofre (40 mg dm⁻³) e não aplicação de nitrogênio, ocorria o mais baixo valor SPAD (18,7) como mostra a Figura 42.

Abreu e Monteiro (1999) relataram que o máximo valor SPAD no capim-Marandu ocorreu nas doses de nitrogênio de 205,0 e 314,5 mg kg⁻¹. Esses mesmos autores ressaltaram que aos 14, 28 e 42 dias de crescimento da forrageira, o valor SPAD variou entre 31, 8 e 14 para a não aplicação de nitrogênio e entre 51, 57 e 46 como máximos valores correspondentes às doses de 228, 239 e 302 mg kg⁻¹, respectivamente.



$$Y=20,4772 +0,0686N -0,0001N^2 +0,6355S -0,0170S^2 +0,0015NS \quad (R^2=0,71)$$

Figura 42 - Valor SPAD durante o terceiro crescimento do capim Marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre

4.2.3 Área foliar total

No primeiro crescimento a área foliar total apresentou significância para as doses individuais de nitrogênio, ajustando-se ao modelo quadrático de regressão (Figura 43). No segundo e terceiro crescimentos foi verificada significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre, com ajuste dos resultados ao modelo polinomial de regressão (Figuras 44 e 45).

A dose de nitrogênio mais elevada que a maior dose aplicada seria necessária para maximizar o valor de área foliar total no primeiro crescimento do capim-Marandu. Marschner

(1995) ressaltou que nitrogênio promove alterações na morfologia das plantas sendo que em condições de alto suprimento de nitrogênio ocorre aumento na área foliar. Chapman e Lemaire (1993) descreveram que o nitrogênio proporciona alongação foliar e a folha ficando mais extensa a área foliar é incrementada.

As respostas para área foliar do presente experimento, em termos de doses de nitrogênio e de enxofre, diferem daqueles observados por Mattos (2001) e Batista (2002). Mattos (2001) observou interação significativa entre as doses de nitrogênio e de enxofre no primeiro crescimento do capim-Braquiária proveniente de ambas as áreas não recentemente adubada e recentemente adubada. Batista (2002) encontrou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre para o capim-Marandu, quando cultivado em solução nutritiva. Isso provavelmente pode estar relacionado ao fato de que o enxofre presente no solo do presente experimento seria suficiente para suprir a necessidade da planta, o que não estaria ocorrendo nos experimentos relatados.

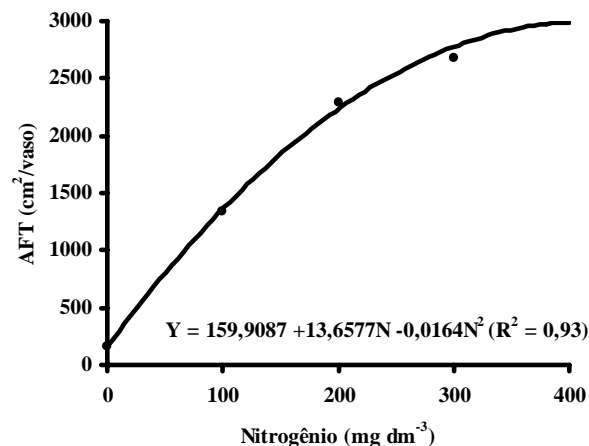


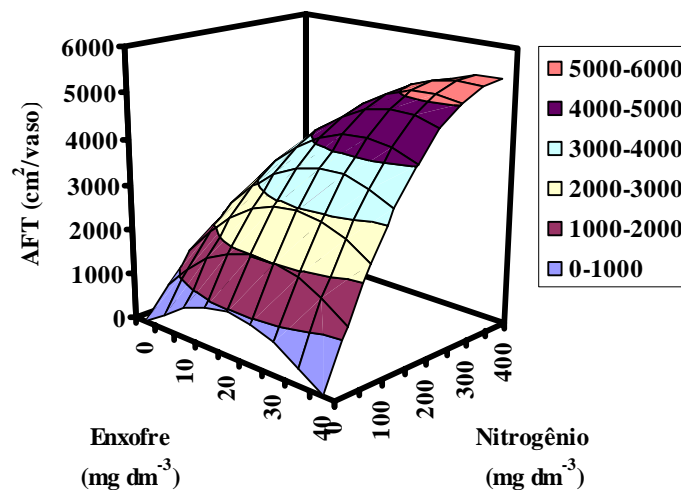
Figura 43 - Área foliar total (AFT) no primeiro corte do capim-Marandu, em função das doses de nitrogênio

Santos Junior e Monteiro (2003) para o capim-Marandu, Lavres Junior et al. (2004) para o capim-Aruana e Silveira (2005) para o capim-Tanzânia reportaram que a área foliar foi significativamente alterada pelas doses de nitrogênio fornecidas em solução nutritiva.

O máximo valor de área foliar total na ocasião do segundo crescimento ocorreu na dose de nitrogênio de 383,7 mg dm⁻³ associada à dose de enxofre de 37,9 mg dm⁻³ (relação entre doses 10:1). O estudo da superfície de resposta demonstrou que doses de nitrogênio acima de 300

mg dm⁻³ associadas às doses de enxofre superiores a 30 mg dm⁻³ resultavam em maior valor de área foliar.

Esses resultados se assemelham àqueles relatados por Batista (2002), que detectou interação significativa entre as doses de nitrogênio e de enxofre no segundo crescimento do capim-Marandu e ressaltou que a área foliar total no segundo crescimento da planta forrageira foi superior à do primeiro corte. Entretanto, esses resultados diferem daqueles descritos por Mattos (2001), que não observou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre no segundo crescimento do capim-Braquiária estabelecido em pasto em degradação e proveniente das áreas não recentemente adubada e recentemente adubada, evidenciando a importância do adequado fornecimento de nitrogênio e de enxofre para a implantação do capim-Marandu.



$$Y = -165,3449 + 17,7923N - 0,03547N^2 + 110,3461S - 2,7132S^2 + 0,2486NS \quad (R^2 = 0,88)$$

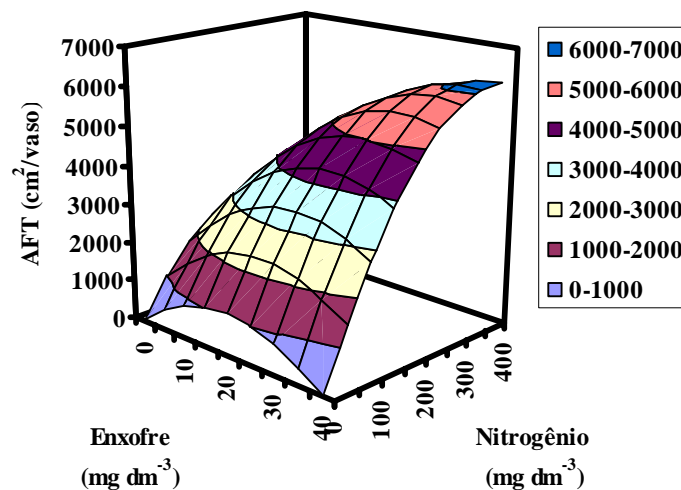
Figura 44 – Área foliar total (AFT) do capim-Marandu, no segundo corte, em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre

Bonfim-da-Silva (2005) também observou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre no capim-Braquiária. Entretanto vale ressaltar que o capim-Braquiária mostrou-se mais exigente em enxofre (45 mg dm⁻³) que o capim-Marandu, enfatizando mais uma vez a necessidade da adequação do fornecimento de nitrogênio e de enxofre para os capins.

A máxima área foliar total do capim-Marandu no terceiro crescimento foi observada na dose de nitrogênio de 375,7 mg dm⁻³ combinada com a de enxofre de 38,8 mg dm⁻³,

numa relação entre doses de 9,7:1. Em condições de ausência de enxofre, doses elevadas de nitrogênio (acima de 250 mg dm⁻³) promovem redução no valor de área foliar. Isto pode ser justificado pelo fato que a deficiência de enxofre promove redução no tamanho e no número de células foliares, que resulta em diminuição da área foliar (MARSCHNER, 1995).

Esses resultados se assemelham àqueles reportados por Mattos (2001), que também observou respostas à aplicação de nitrogênio e de enxofre, relatando efeito significativo do nitrogênio dentro das doses de enxofre de 0, 30 e 60 mg dm⁻³ para o capim-Braquiária proveniente de área não recentemente adubada e significância para as doses de enxofre dentro das doses de nitrogênio de 50, 100 e 200 mg dm⁻³ para o capim-Braquiária proveniente de área recentemente adubada.



$$Y=47,4190 +21,3585N -0,0429N^2 +105,9191S -2,7223S^2 +0,2809NS \quad (R^2=0,80)$$

Figura 45 – Área foliar total (AFT) do capim-Marandu, no terceiro corte, em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre

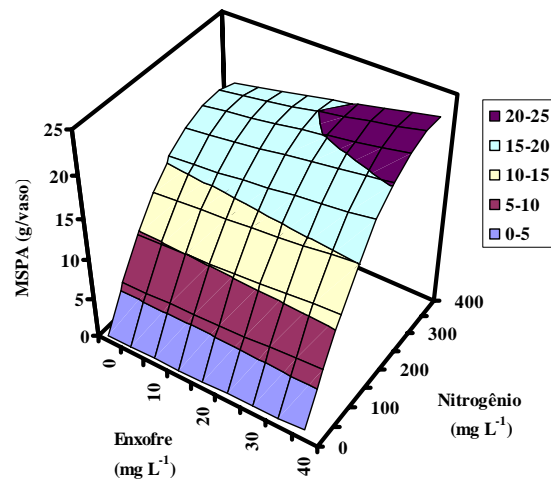
4.2.4 Produção de massa seca da planta

4.2.4.1 Produção de massa seca da parte aérea

A análises de variância revelou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre para a produção de massa seca da parte aérea na ocasião do primeiro, segundo e terceiro cortes do capim-Marandu, com ajuste dos resultados ao modelo polinomial de regressão (Figuras 46, 47 e 48).

Para a produção de massa seca da parte aérea na ocasião do primeiro corte a análise de variância demonstrou a presença de um ponto de sela e dessa maneira o máximo valor de produção de massa seca não pode ser determinado. Entretanto, as produções máximas de massa seca da parte aérea estariam localizadas entre as doses de nitrogênio de 300 a 400 mg dm⁻³ associadas às doses de enxofre de 30 a 40 mg dm⁻³ (Figura 46). Por outro lado, Marques et al. (1995) observaram que a não aplicação de enxofre não interferiu no rendimento total de massa seca da parte aérea da *Brachiaria brizantha* quando cultivada na microregião de Campos da Mantiqueira - MG. Mattos (2001) também observou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e enxofre no primeiro crescimento do capim-Braquiária proveniente de área não recentemente adubada e também de área recentemente adubada. A mais alta produção de massa seca do capim-Braquiária proveniente de área não recentemente adubada foi alcançada mediante o suprimento de nitrogênio de 192 mg dm⁻³ em presença da dose de enxofre de 60 mg dm⁻³. Para o capim-Braquiária proveniente de área recentemente adubada relatou que o nitrogênio fornecido foi mais eficientemente convertido em massa pela forrageira nas doses de enxofre de 30 e 60 mg dm⁻³.

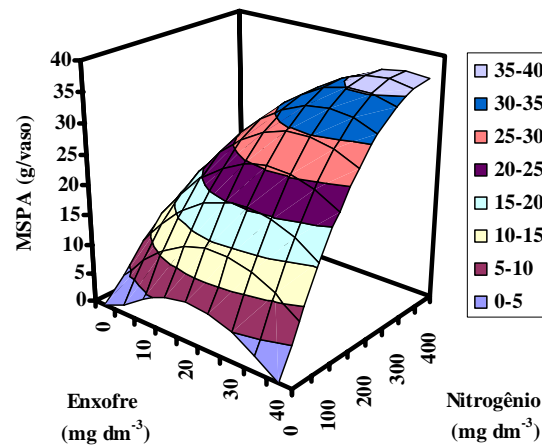
Batista (2002) observou resultados semelhantes para a produção de massa seca da parte aérea no primeiro corte do capim-Marandu e enfatizou que em condições de baixas doses de nitrogênio, mesmo com o incremento das doses de enxofre, a produção de massa seca da parte aérea permanecia constante, mas à medida em que se aumentaram as doses de nitrogênio associadas às doses de enxofre a produção de massa seca foi incrementada. Entretanto, Monteiro et al. (1995) observaram reduções significativas na produção de massa seca do capim-Marandu cultivado em solução nutritiva no tratamento em que se omitiu enxofre, quando comparado com o tratamento completo.



$$Y=0,8957 +0,1040N -0,0002N^2 -0,0040S -0,0004S^2 +0,0003NS \quad (R^2=0,96)$$

Figura 46 – Produção de massa seca da parte aérea (MSPA) do capim-Marandu, na ocasião do primeiro corte, em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre

A máxima produção de massa seca da parte aérea na ocasião do segundo crescimento ocorreu na combinação de doses de nitrogênio de $381,7 \text{ mg dm}^{-3}$ associada à dose de enxofre de $35,7 \text{ mg dm}^{-3}$ (relação entre doses 10,7:1). O estudo da superfície de resposta permitiu observar que em condições de baixa dose de enxofre, ao se incrementar o fornecimento de nitrogênio não ocorria aumento na produção de massa seca da parte, enquanto que em condições de alta dose de enxofre o aumento no suprimento de nitrogênio resultava em elevação na produção de massa seca da parte aérea (Figura 47). Isto demonstra mais uma vez a necessidade do equilíbrio entre o fornecimento de nitrogênio e enxofre.



$$Y = -2,0501 + 0,1239N - 0,0002N^2 + 0,8404S - 0,0202S^2 + 0,0016NS \quad (R^2 = 0,92)$$

Figura 47 – Produção de massa seca da parte aérea do capim-Marandu, na ocasião do segundo corte, em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre

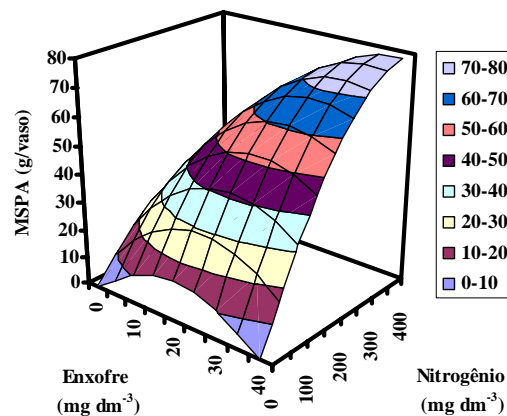
Na ocasião do terceiro corte, a máxima produção de massa seca da parte aérea ocorreria em uma dose de nitrogênio mais elevada que a máxima estudada no presente experimento ($415,3 \text{ mg dm}^{-3}$) associada à dose de enxofre de $39,3 \text{ mg dm}^{-3}$. O estudo da superfície de resposta também revelou que em condições de altas doses de enxofre (25 a 40 mg dm^{-3}) o aumento na produção de massa seca pode ser todo creditado ao suprimento de nitrogênio (Figura 48).

A produção de massa seca no terceiro corte foi maior em relação ao primeiro e segundo cortes, efeito que pode ser atribuído à necessidade maior de energia no primeiro crescimento para o desenvolvimento e formação do sistema radicular e da estrutura da parte aérea. No segundo e terceiro crescimentos, como a planta já estava com seu sistema radicular formado, a maior parte da energia foi destinada para o desenvolvimento da parte aérea.

A importância do suprimento com nitrogênio para o capim-Marandu também foi ressaltada por Abreu e Monteiro (1999) que observaram que as produções de massa seca da parte aérea do capim-Marandu, avaliadas aos 14, 28 e 42 dias do crescimento inicial variaram significativamente com as doses de nitrogênio e as máximas produções foram obtidas nas doses de 140, 152 e 190 mg kg^{-1} . Manarin (2000) relatou que a produção de massa seca da parte aérea do capim-Mombaça variou com as doses de nitrogênio aplicadas em solução nutritiva aos 29 dias após o transplante das mudas e aos 26 dias após o primeiro corte. Oliveira et al. (2005) revelaram

que a combinação entre doses de nitrogênio de 210 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e de enxofre de 230 kg ha⁻¹ ano⁻¹ proporcionou produção semelhante ao tratamento com nitrogênio de 210 kg ha⁻¹ ano⁻¹ na não aplicação de enxofre.

A significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre observada nos três cortes do capim-Marandu enfatizou o descrito por Raij (1991), que plantas deficientes em enxofre apresentaram crescimento lento, mesmo havendo suprimento adequado de nitrogênio.



$$Y = -1,5376 + 0,2286N - 0,0005N^2 + 1,6322S - 0,0410S^2 + 0,0038NS \quad (R^2 = 0,89)$$

Figura 48 – Produção de massa seca da parte área (MSPA) do capim-Marandu, na ocasião do terceiro corte, em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre

4.2.4.2 Produção de massa seca de raízes

A produção de massa seca de raízes não apresentou interação significativa entre doses de nitrogênio e de enxofre. Entretanto respostas significativas foram observadas para as doses individuais de nitrogênio (Figura 49).

A produção de massa seca de raízes apresentou ajuste ao modelo quadrático, sendo a dose de nitrogênio de 244,1 mg dm⁻³ responsável pelo máximo valor. Batista (2002) observou resultado semelhante para a produção de massa seca de raízes quanto ao suprimento de nitrogênio fornecido na solução nutritiva. Santos Júnior (2001) encontrou respostas significativas às doses de nitrogênio e doses elevadas resultaram na máxima produção de massa seca de raízes do capim-Marandu.

Manarin (2000) revelou que a produção de massa seca das raízes do capim-Mombaça aos 55 dias após o transplante das mudas variou com as doses de nitrogênio fornecidas em solução nutritiva. Santos e Monteiro (1999) verificaram incrementos na produção de massa seca de raízes

do capim-Braquiária à medida que aumentavam as doses de enxofre na solução nutritiva. Colozza (2000) observou que a produção de massa seca de raízes do capim-Aruana variou em função das doses de nitrogênio, sendo a máxima produção de raízes observada na dose de nitrogênio de 265 mg kg⁻¹.

Bonfim-da-Silva (2005) relatou que a aplicação de nitrogênio na forma de nitrato de amônio na recuperação de pastagem de capim-Braquiária em degradação proporcionou aumento na produção de massa seca de raízes

Na ausência de fornecimento de nitrogênio a produção de raízes representou aproximadamente 3,4% da máxima. Isto demonstra a importância de uma planta estar bem suprida em nitrogênio para possuir sistema radicular bem desenvolvido. Brower (1962) relacionou isto aos mecanismos de crescimento radicular, que estão ligados com o acúmulo de carboidratos na ausência de nitrogênio, tanto na parte aérea como nas raízes.

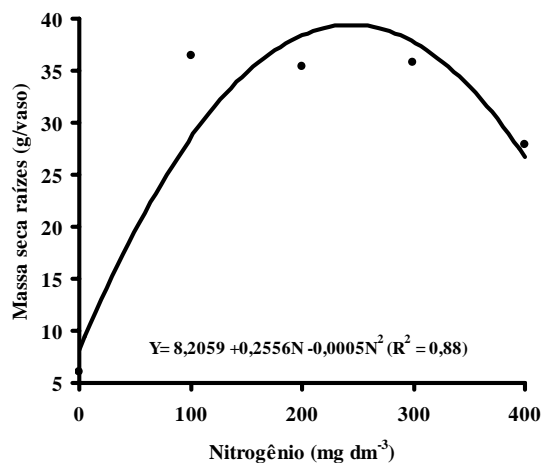


Figura 49 – Produção de massa seca de raízes após o terceiro corte do capim-Marandu, em função das doses de nitrogênio

4.2.5 Comprimento total e superfície total do sistema radicular

A interação entre doses de nitrogênio e de enxofre não foi significativa para o comprimento total do sistema radicular. Entretanto, foram observadas respostas significativas apenas para as doses individuais de nitrogênio (Figura 50), com ajuste dos resultados ao modelo quadrático de regressão. Para a superfície total do sistema radicular a análise de variância

demonstrou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre, ajustando-se os resultados ao modelo polinomial (Figura 51).

O comprimento máximo do sistema radicular ocorreu na dose de nitrogênio de 244,1 mg dm⁻³ e o comprimento máximo foi 3,7 vezes maior que o menor comprimento verificado nesse experimento. Isto demonstra que altas doses de nitrogênio não são adequadas para o máximo comprimento radicular. Batista (2002) e Santos Junior (2001) também observaram que doses de nitrogênio eram responsáveis pelos maiores valores de comprimento radicular do capim-Marandu.

Bonfim-da-Silva (2005), quando estudou combinações de doses de nitrogênio e de enxofre, também constatou que apenas as doses individuais de nitrogênio foram responsáveis pelo aumento no comprimento radicular do capim-Braquiária, sendo a dose de nitrogênio de 262 mg dm⁻³ a responsável pelo máximo valor, dose essa próxima à observada no presente experimento.

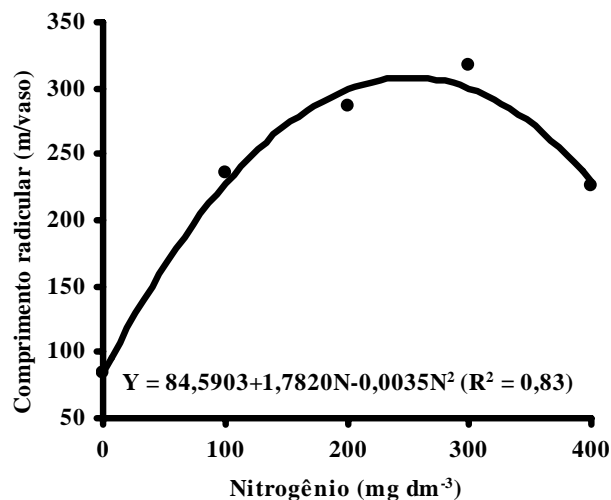
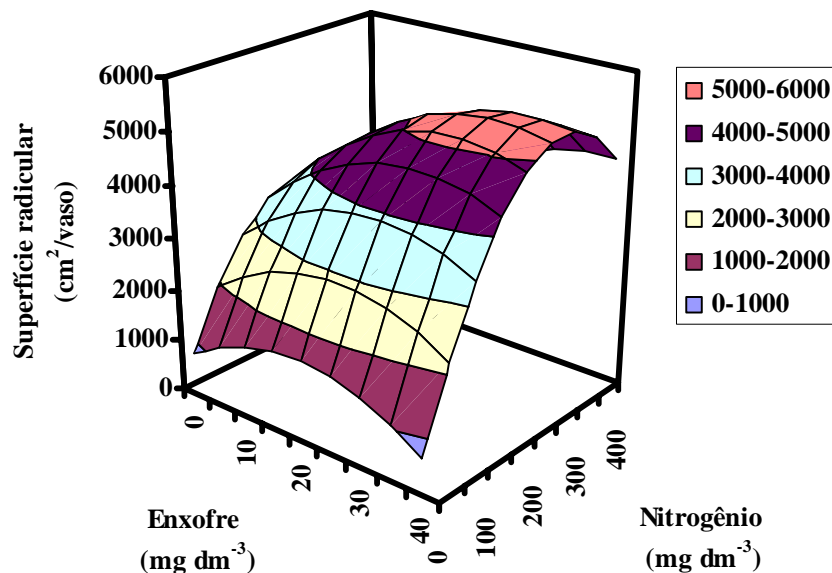


Figura 50 – Comprimento total do sistema radicular após o terceiro crescimento, do capim-Marandu, em função das doses de nitrogênio

A máxima superfície do sistema radicular do capim-Marandu ocorreu na dose de nitrogênio de 263,7 mg dm⁻³ associada à dose de enxofre de 31,8 mg dm⁻³. Em condições de altas doses de nitrogênio e de enxofre ocorreu redução na área do sistema radicular, ressaltando portanto a importância do suprimento adequado de nitrogênio e de enxofre. Por sua vez, Santos

Júnior (2001), estudando as respostas do capim-Marandu ao suprimento de nitrogênio em solução nutritiva e idades de crescimento, verificou que os máximos valores de superfície radicular do capim-Marandu corresponderam às doses de nitrogênio de 200; 195; 217; 259 e 312 mg L⁻¹, nas idades de crescimento de 21, 28, 35, 42 e 49 dias, respectivamente.

Essa resposta do capim-Marandu às combinações de doses de nitrogênio e de enxofre difere daquela observada por Batista (2002) com o capim-Marandu e Bonfim-da-Silva (2005) com o capim-Braquiária que relataram ser o nitrogênio, isoladamente, o responsável por alterações na superfície radicular do capim.



$$Y=845,4381 +24,8789N -0,0590N^2 +77,8390S -2,0418S^2 +0,1967NS \quad (R^2=0,56)$$

Figura 51 – Superfície total do sistema radicular após o terceiro crescimento do capim-Marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre

4.2.6 Consumo de água

A interação entre doses de nitrogênio e de enxofre não foi significativa para o consumo de água no primeiro crescimento do capim-Marandu. Entretanto, respostas significativas foram observadas para as doses individuais de nitrogênio, com ajuste dos resultados a modelo quadrático de regressão (Figura 52). Para o segundo e terceiro crescimentos observou-se significância para a interação entre as doses de nitrogênio e as doses de enxofre, com os resultados ajustando-se ao modelo polinomial de regressão (Figuras 53 e 54).

A dose de nitrogênio de 308,6 mg dm⁻³ foi responsável pelo máximo consumo de água (8,8 L/vaso) pelas plantas no primeiro crescimento da implantação do capim-Marandu. Bonfim-da-Silva (2005), realizando adubações para recuperar o capim-Braquiária em degradação, observou interação significativa entre as doses de nitrogênio e de enxofre com o consumo máximo de água (9,7 L/vaso) ocorrendo nas doses de 302 mg dm⁻³ para nitrogênio e de 39 mg dm⁻³ para enxofre.

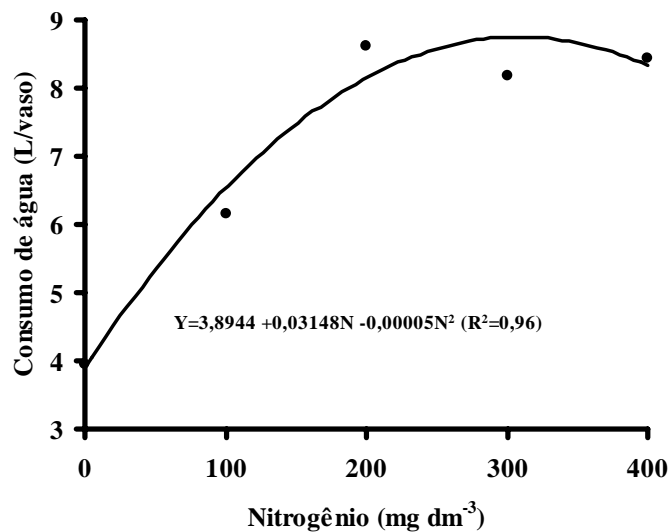
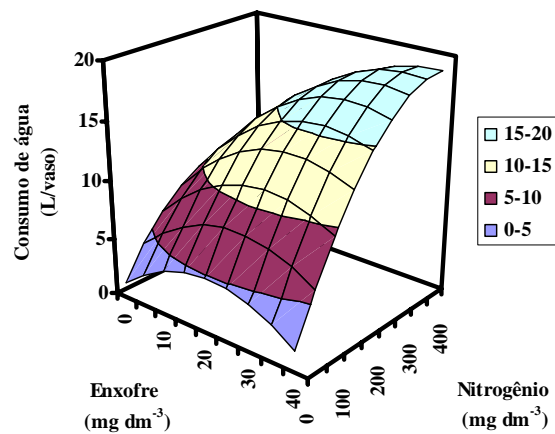


Figura 52 – Consumo total de água no primeiro crescimento do capim-Marandu em função das doses de nitrogênio

Para o consumo de água no segundo crescimento do capim-Marandu na ocasião do segundo crescimento o máximo valor foi observado na combinação entre as doses de nitrogênio de 377,0 mg dm⁻³ e de enxofre de 37,0 mg dm⁻³ (relação entre doses 10:1). Ocorreu um platô entre as combinações de doses de nitrogênio de 350 a 400 mg dm⁻³ associadas às doses de enxofre de 35 a 40 mg dm⁻³ (Figura 53).

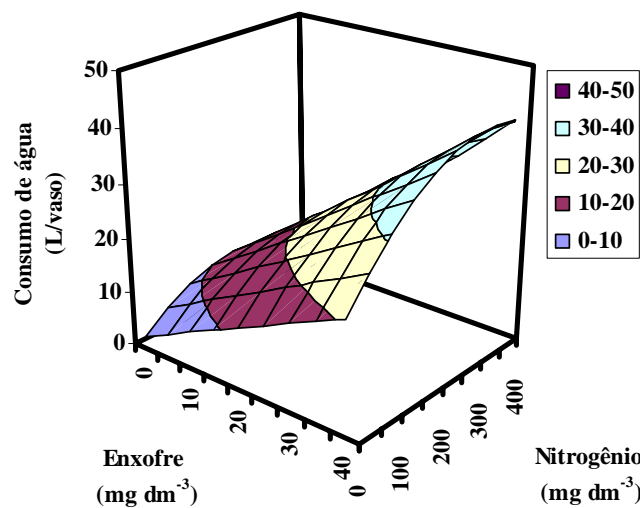
O maior consumo de água no terceiro crescimento do capim-Marandu, ocorreu na dose de nitrogênio de 336,9 mg dm⁻³ associada à dose de enxofre 40,2 mg dm⁻³ numa relação entre doses de 8,3:1). Para uma mesma dose de nitrogênio o consumo de água pelo capim-Marandu aumentou à medida em que se elevou a dose de enxofre (Figura 54). Entretanto, variando-se o suprimento de nitrogênio para uma mesma dose de enxofre o mesmo não foi observado,

demonstrando ser o consumo de água do capim-Marandu dependente do fornecimento de enxofre, embora haja a necessidade da relação adequada entre o suprimento de nitrogênio e de enxofre.



$$Y=1,3509 +0,0593N -0,0001N^2 +0,33223S -0,0080S^2 +0,0007NS \quad (R^2=0,88)$$

Figura 53 - Consumo total de água no segundo crescimento do capim-Marandu em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre



$$Y=2,5526 +0,0761N -0,0002N^2 +0,4644S -0,0103S^2 +0,0010NS \quad (R^2=0,89)$$

Figura 54 - Consumo total de água no terceiro crescimento do capim-Marandu em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre

O consumo de água no presente trabalho mostrou-se mais baixo no primeiro corte (8,8 L/vaso) em relação aos valores médios dos demais cortes (20,6 e 21,1 L/vaso). Os resultados do presente trabalho diferem daqueles observados por Bonfim-da-silva (2005), onde relatou interação significativa entre as doses de nitrogênio e de enxofre (302 e 39 mg dm⁻³ respectivamente) no terceiro crescimento e respostas significativas apenas para as doses de nitrogênio durante o primeiro e o segundo crescimentos (347 e 281 mg dm⁻³ respectivamente).

4.2.7 Eficiência no uso da água

A análise de variância revelou significância da interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre para a eficiência no uso de água na ocasião do segundo crescimento do capim-Marandu, com os resultados ajustando-se a modelo polinomial de regressão (Figura 56). No entanto, para a eficiência no uso de água na ocasião do primeiro e terceiro crescimentos foi verificada significância apenas para as doses de nitrogênio (Figuras 55 e 57), com ajuste dos resultados a modelo quadrático de regressão.

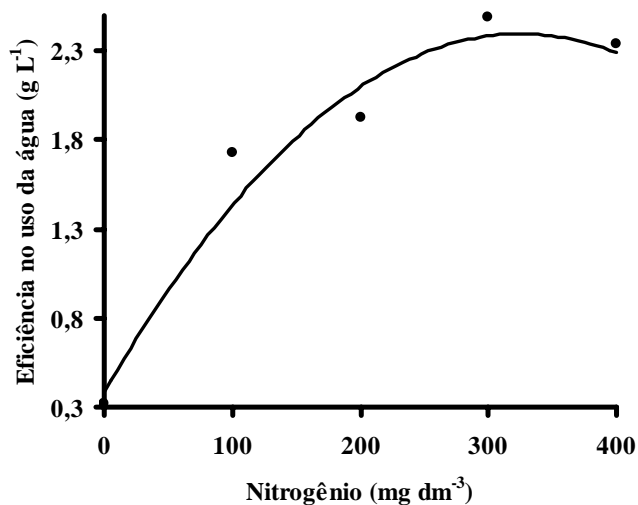
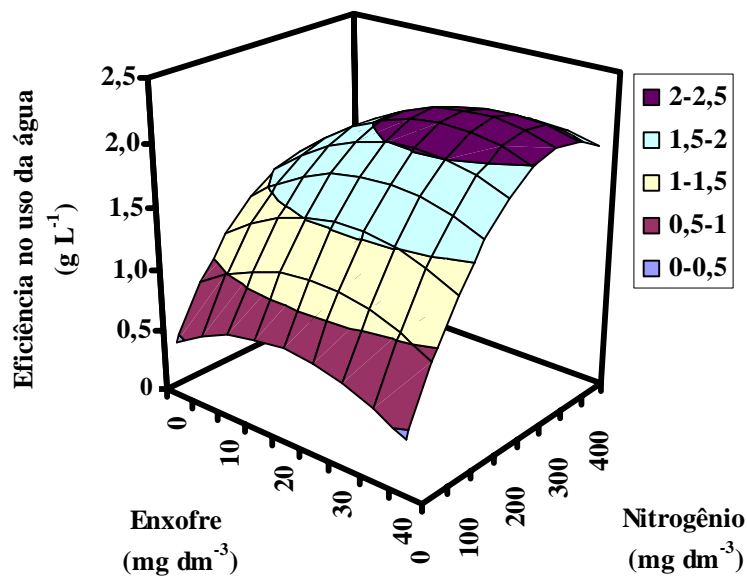


Figura 55 – Eficiência no uso da água no primeiro crescimento do capim-Marandu em função das doses de nitrogênio e de enxofre

Na ocasião do primeiro crescimento o maior valor de eficiência no uso da água (2,4 g L⁻¹), do capim-Marandu, foi observado na dose de nitrogênio de 325,3 mg dm⁻³ (Figura 55). A

eficiência máxima no uso da água ($1,95 \text{ g L}^{-1}$) no segundo crescimento do capim-Marandu foi observada na combinação entre doses de nitrogênio de $295,0 \text{ mg dm}^{-3}$ e de enxofre de $27,8 \text{ mg dm}^{-3}$ (relação entre doses 4,8:1). Em condições de baixas doses de nitrogênio (0 a 50 mg dm^{-3}) associadas a altas ou baixas doses de enxofre ocorria baixa eficiência no uso da água. Todavia, para qualquer uma das doses de enxofre, à medida em que se incrementavam as doses de nitrogênio ocorria aumento na eficiência no uso da água pelo capim (Figura 56). Esses resultados demonstram a importância da adequação das doses de nitrogênio e de enxofre para melhor utilização da água pelo capim.



$$Y=0,4562+0,0087N-0,00002N^2+0,0309S-0,0008S^2+0,00004NS \quad (R^2=0,87)$$

Figura 55 – Eficiência no uso da água no segundo crescimento do capim-Marandu em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre

Para a eficiência no uso da água no terceiro crescimento do capim-Marandu, o máximo valor ($3,6 \text{ g L}^{-1}$) foi observado na dose de nitrogênio de $342,0 \text{ mg dm}^{-3}$. Essa maior exigência em nitrogênio em relação aos demais cortes pode estar relacionada ao crescimento vegetativo, que exige maior disponibilidade de nitrogênio para a formação de perfilhos e conseqüentemente folhas (Figura 56). Essa alteração na eficiência no uso da água em decorrência do fornecimento de nitrogênio também foi observada por Pieterse; Rethman e Bosch (1997), que relataram

aumento na eficiência no uso da água em consequência da elevação no fornecimento de nitrogênio para o *Panicum maximum* cv. Vencedor.

Comportamento diferente em relação às combinações de doses de nitrogênio e de enxofre, foi observado por Bonfim-da-Silva (2005), onde a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre foi significativa para o primeiro crescimento e apenas as doses de nitrogênio para os demais crescimentos. No primeiro crescimento do capim, as doses de nitrogênio de 304 mg dm⁻³ e de enxofre de 25 mg dm⁻³ foram responsáveis pela eficiência máxima no uso da água e no segundo e terceiro crescimentos isto ocorreu com as doses de nitrogênio de 317 e 305 mg dm⁻³, respectivamente. Entretanto essas diferenças podem ser justificadas, segundo Oliveira et al., (2003), pelo fato de espécies variarem quanto à eficiência na utilização da água absorvida no processo de fotossíntese, diminuindo a necessidade de manutenção dos estômatos abertos.

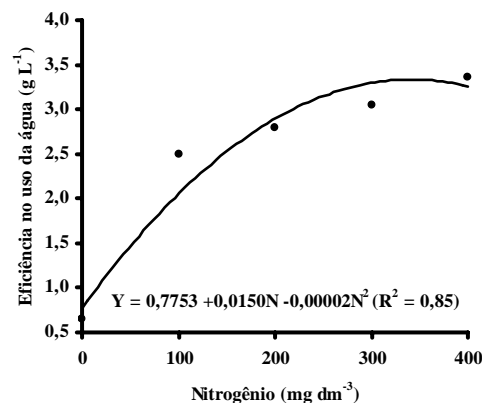


Figura 56 – Eficiência no uso da água no terceiro crescimento do capim-Marandu em função das doses de nitrogênio

4.3 Concentração de nitrogênio e enxofre no capim-Marandu

4.3.1 Concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas

Para a concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas, não se observou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre no primeiro e segundo cortes do capim, mas significância foi constatada apenas para as doses individuais de nitrogênio (Figuras 57 e 58). Entretanto para a concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas, na ocasião do terceiro corte, observou-se significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre (Figura 59).

A concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas colhidas no primeiro corte, em função do fornecimento de nitrogênio, apresentou ajuste à equação de primeiro grau (Figura 57). O maior valor da concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas foi $33,3 \text{ g kg}^{-1}$ e ocorreu na dose de nitrogênio de 400 mg dm^{-3} . Resultados semelhantes de concentração de nitrogênio ($33,6$ a $39,9 \text{ mg kg}^{-1}$) nas lâminas de folhas recém-expandidas foram relatados por Abreu e Monteiro (1999) aos 14 dias do primeiro crescimento do capim-Marandu, em função da adubação com nitrogênio.

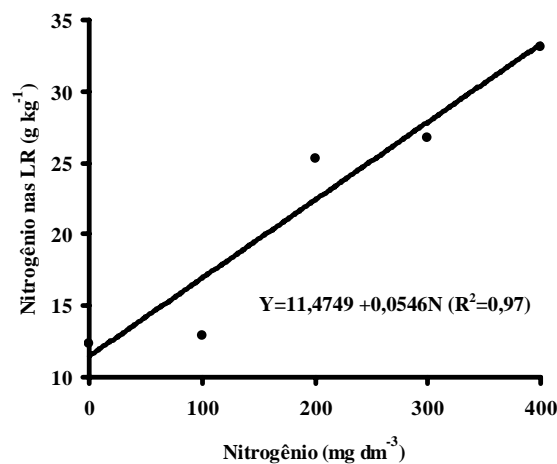


Figura 57 – Concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) coletadas no primeiro corte do capim-Marandu, em função das doses de nitrogênio

No material coletado no primeiro corte do capim-Marandu, a concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas na dose mais elevada de nitrogênio (400 mg dm^{-3}) foi 2,7 vezes mais elevada que na ausência de aplicação de nitrogênio. Embora Bonfim-da-Silva (2005) tenha encontrado concentrações menores de nitrogênio ($9,0$ a $25,4$) nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Braquiária por ocasião do primeiro corte, a diferença entre a maior e a menor concentração se assemelha à observada no presente trabalho (2,8 vezes).

Mattos (2001), trabalhando com cilindros de capim-Braquiária provenientes de área não recentemente adubada, também relatou que a concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas no primeiro corte apresentou significância para as doses de nitrogênio, ajustando-se à equação de primeiro grau e variando de $12,2$ a 30 g kg^{-1} da mais baixa até a mais elevada dose de nitrogênio, respectivamente. O capim-Braquiária proveniente dos cilindros da

área recentemente adubada com nitrogênio e enxofre também apresentou respostas apenas às doses de nitrogênio, variando de 11,5 a 18,0 g kg⁻¹.

Batista (2002), ao avaliar a concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas no capim-Marandu submetido a combinações de doses de nitrogênio e de enxofre em solução nutritiva, também verificou resposta apenas às doses de nitrogênio na ocasião do primeiro corte e que o valor mais elevado de concentração de nitrogênio nessas lâminas foliares ocorria em condições de dose elevada de nitrogênio.

A concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas amostradas no segundo corte do capim-Marandu apresentou ajuste à equação de primeiro grau, sendo a maior concentração de nitrogênio 28 g kg⁻¹ (Figura 58). Nesta ocasião a concentração de nitrogênio foi 1,8 vezes mais elevada na dose de 400 mg dm⁻³ (dose mais elevada) em relação ao não fornecimento de nitrogênio. Resultados semelhantes foram observados por Bonfim-da-Silva (2005).

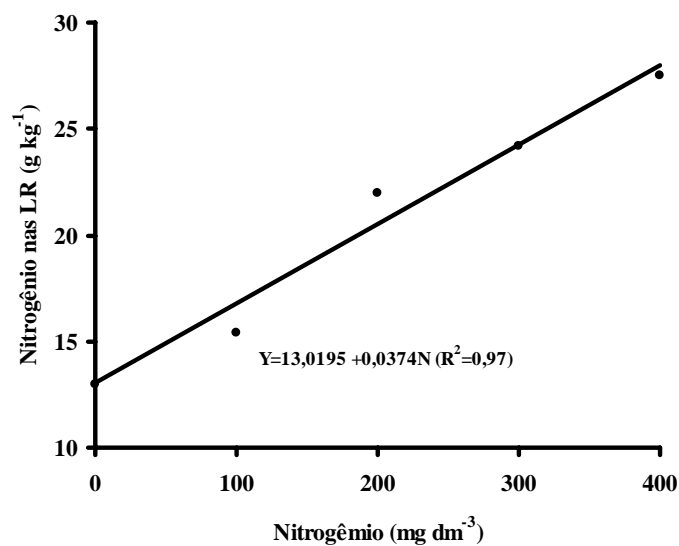
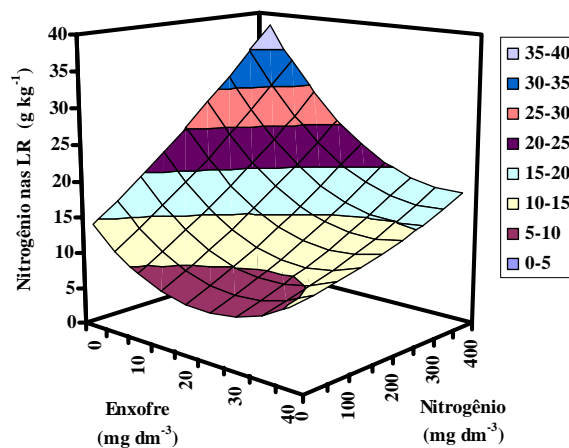


Figura 58 – Concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) coletadas no segundo corte do capim-Marandu, em função das doses de nitrogênio

Esses resultados observados no primeiro e segundo cortes ressaltam o relatado por Whitehead (1995), que quando uma dose muito baixa de fertilizante nitrogenado é aplicada para uma gramínea que está seriamente deficiente em nitrogênio, geralmente verifica-se pouca ou nenhuma mudança na concentração de nitrogênio. Entretanto, quando uma dose elevada de

nitrogênio é aplicada, a concentração do nutriente no tecido vegetal aumenta, demonstrando que quanto maior o suprimento de nitrogênio maior será a sua concentração no tecido vegetal. Ressaltando segundo Abreu e Monteiro (1999) que a avaliação do estado nutricional das plantas torna-se fundamental para possibilitar uma concentração adequada para a planta, sem que haja exageros.

Os resultados da concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas no terceiro corte do capim-Marandu ajustaram-se ao modelo polinomial de regressão. A combinação entre as doses de nitrogênio e de enxofre que seria responsável pela mínima concentração de nitrogênio no tecido vegetal estava fora do intervalo das doses estudadas. A concentração de nitrogênio nesse tecido vegetal variou de 14,4 a 38,3 g kg⁻¹ (Figura 59).



$$Y=14,3598 +0,0495N +0,00003N^2 -0,6505S +0,0138S^2 -0,0010NS \quad (R^2=0,78)$$

Figura 59 – Concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) coletadas no terceiro corte do capim-Marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre

Para uma mesma dose de nitrogênio, com o aumento na dose de enxofre, a concentração de nitrogênio no tecido vegetal permaneceu constante. Entretanto para uma mesma dose de enxofre o aumento nas doses de nitrogênio promoveu aumento na concentração de nitrogênio.

Na Figura 59 pode-se notar que as mais baixas concentrações de nitrogênio encontram-se em condições de baixas doses de nitrogênio, para qualquer das doses de enxofre, enquanto que as

mais altas concentrações foram observadas em condição de alta dose de nitrogênio (350 a 400 mg dm⁻³), para qualquer das doses de enxofre.

Os resultados do presente experimento diferem daqueles observados por Mattos (2001) e Bonfim-da-Silva (2005). Mattos (2001), ao estudar a concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas em função do suprimento de nitrogênio e de enxofre com capim-Braquiária proveniente de área não recentemente adubada e também de área recentemente adubada, verificou por ocasião do terceiro corte respostas apenas às doses de nitrogênio, onde em condições de área não recentemente adubada a dose de nitrogênio de 129 mg dm⁻³ foi a que proporcionou a máxima concentração de nitrogênio (28 g kg⁻¹) e em condições de área recentemente adubada a dose de nitrogênio de 130 mg dm⁻³ proporcionou a máxima concentração de nitrogênio (36 g kg⁻¹). Bonfim-da-Silva (2005), na ocasião do terceiro corte, também encontrou respostas significativas apenas para as doses de nitrogênio e essas também promoveram aumento na concentração de nitrogênio no tecido vegetal de 13,9 a 31,0 g kg⁻¹.

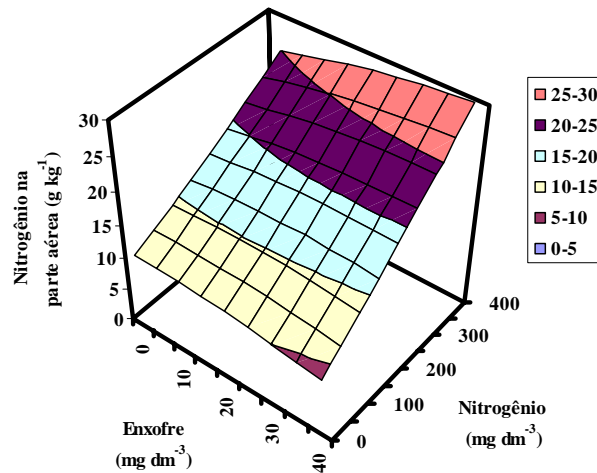
As plantas superiores adquirem o nitrogênio de que necessitam basicamente como nitrato ou amônio (MARSCHNER, 1995). Os teores de nitrato nas amostras de solo correspondentes aos três cortes refletiram-se na concentração do nitrogênio na parte aérea, já que doses baixas de nitrogênio resultavam em menores concentrações de nitrogênio na ocasião dos três cortes.

4.3.2 Concentração de nitrogênio na parte aérea

A concentração de nitrogênio na parte aérea coletada no capim-Marandu apresentou interação significativa entre as doses de nitrogênio e de enxofre, no primeiro corte. Para o segundo corte foram observadas respostas significativas apenas para as doses de nitrogênio, enquanto que para o terceiro corte significância foi observada para as doses individuais de nitrogênio e de enxofre.

No capim colhido no primeiro corte, a concentração de nitrogênio ajustou-se ao modelo polinomial de regressão e devido à ocorrência de um ponto de sela os valores máximos ou mínimos de concentrações de nitrogênio não puderam ser determinados (Figura 60). No entanto, em condições de baixo a médio suprimento de nitrogênio (0 a 200 mg dm⁻³) à medida que se elevaram às doses de enxofre ocorreu redução na concentração de nitrogênio no tecido vegetal. Por outro lado, doses elevadas de nitrogênio (300 a 400 mg dm⁻³) exigem maiores quantidades de enxofre para que a máxima concentração de nitrogênio no tecido vegetal seja alcançada, de

maneira que nessas doses à medida que se aumentaram às doses de enxofre ocorreu aumento na concentração de nitrogênio.



$$Y=11,3709 +0,0291N +0,00001N^2 -0,0025S -0,0016S^2+0,0004NS \quad (R^2=0,83)$$

Figura 60 – Concentração de nitrogênio na parte aérea coletada no primeiro corte do capim-Marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre

A maior concentração de nitrogênio na parte aérea do capim coletado no primeiro corte ocorreu em combinações de dose de nitrogênio de 400 mg dm⁻³ associada a doses de enxofre de 35 a 40 mg dm⁻³. A faixa de maior concentração de nitrogênio (20 a 30 g kg⁻¹) encontrava-se em doses de nitrogênio superiores a 250 mg dm⁻³, associadas a doses de enxofre mais elevadas que 10 mg dm⁻³. Bonfim-da-Silva (2005) relatou que a concentração de nitrogênio na parte aérea do capim-Braquiária no primeiro corte respondeu apenas às doses de nitrogênio, com variação de 7,0 a 21,0 g kg⁻¹.

Para o segundo corte, a concentração de nitrogênio na parte aérea ajustou-se a modelo linear de regressão, e à medida que se elevou a dose de nitrogênio ocorreu aumento na concentração de nitrogênio no tecido vegetal (Figura 61). Na ocasião do segundo corte a concentração de nitrogênio no tecido vegetal ajustou-se a modelo linear para as doses individuais de nitrogênio. Esses resultados diferem daqueles observados por Faquin et al. (1995), onde a omissão de nitrogênio para o capim-Marandu promoveu concentração elevada desse nutriente na parte aérea. Entretanto esses resultados corroboram com aqueles observados por Bonfim-da-Silva (2005) na recuperação do capim-Braquiária.

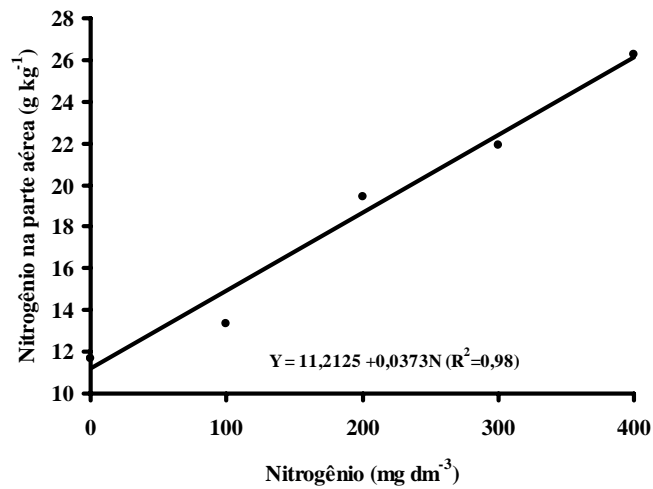


Figura 61 – Concentração de nitrogênio na parte aérea coletada no segundo corte do capim-Marandu, em função das doses de nitrogênio

Na parte aérea do terceiro corte do capim-Marandu as respostas da concentração de nitrogênio diferiram de acordo com o nutriente fornecido. Para o fornecimento de nitrogênio, à medida que se aumentaram as doses ocorreu aumento da concentração de nitrogênio na parte aérea (Figura 62), enquanto para o enxofre à medida que se elevaram as doses fornecidas verificou-se redução da concentração de nitrogênio no tecido vegetal (Figura 63).

Campos (2004), ao estudar a fertilização com sulfato de amônio em um solo sob pastagem, observou que a concentração de nitrogênio na parte aérea do capim-Braquiária respondeu linearmente às doses de nitrogênio. Bonfim-da-Silva (2005) também verificou respostas às doses de nitrogênio, com aumento na concentração de nitrogênio na parte aérea com o aumento das doses de nitrogênio, mas para as doses de enxofre essas respostas não foram observadas.

Oliveira et al. (2005) revelaram que na recuperação do capim-Marandu em degradação houve aumento na concentração de nitrogênio na parte aérea à medida que ocorreu elevação no fornecimento de nitrogênio.

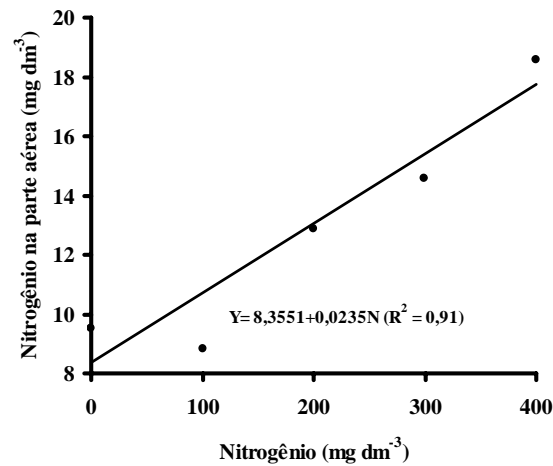


Figura 62 – Concentração de nitrogênio na parte aérea do capim-Marandu, na ocasião do terceiro corte, em função das doses de nitrogênio

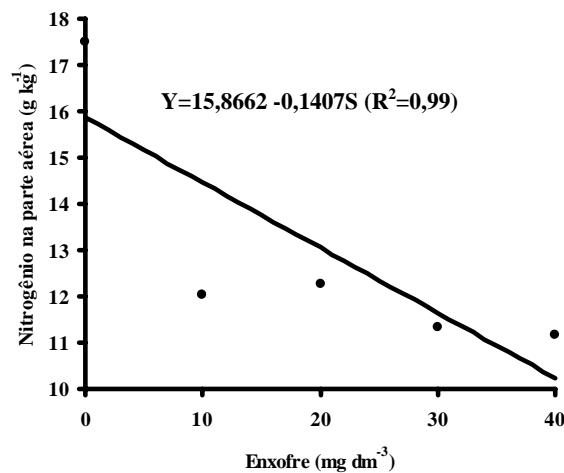


Figura 63 – Concentração de nitrogênio na parte aérea do capim-Marandu, na ocasião do terceiro corte, em função das doses de enxofre

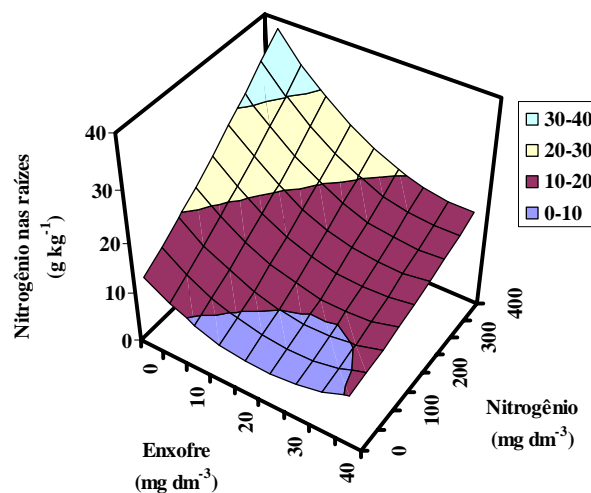
4.3.3 Concentração de nitrogênio nas raízes

Para a concentração de nitrogênio no tecido radicular observou-se interação significativa entre as doses de nitrogênio e de enxofre e os resultados ajustaram-se a modelo de regressão polinomial (Figura 64).

A concentração de nitrogênio nas raízes teria valor mínimo em combinações de doses de nitrogênio e de enxofre fora do intervalo das doses estudadas. Bonfim-da-Silva (2005) relatou que o capim-Braquiária respondeu apenas às doses de nitrogênio aplicadas no solo.

Na Figura 64 pode-se notar que para uma mesma dose de nitrogênio, à medida que se aumentou o fornecimento de enxofre a concentração de nitrogênio permaneceu constante, mas que para uma mesma dose de enxofre a elevação no fornecimento de nitrogênio promoveu aumento na concentração de nitrogênio no tecido radicular.

Batista (2002), trabalhando com as respostas do capim-Marandu a combinações de doses de nitrogênio e de enxofre em solução nutritiva, observou interação significativa entre as doses de nitrogênio e de enxofre e aumento na concentração de nitrogênio no tecido radicular em função das doses de nitrogênio.



$$Y=14,3598 +0,0495N +0,00003N^2 -0,6505S +0,0138S^2 -0,0010NS (R^2=0,78)$$

Figura 64 – Concentração de nitrogênio nas raízes do capim-Marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre

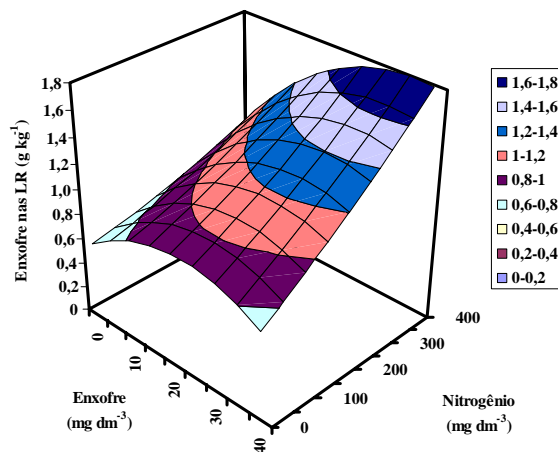
No presente experimento a maior concentração de nitrogênio nas raízes foi 5,7 vezes maior que a mínima concentração. Santos (1997), em estudo com o capim- Braquiária em função das doses de nitrogênio, verificou aumento de 2,0 vezes. Manarim (2000) para o capim-Mombaça em função das doses de nitrogênio relatou aumento de 2,3 vezes. Lavres Júnior (2001) para o capim-Mombaça em função das doses de nitrogênio e potássio observou aumento de 2,4 vezes.

Bonfim-da-silva (2005) para o capim-Braquiária em função das doses de nitrogênio encontrou aumento de 1,4 vezes com o capim-Braquiária.

4.3.4 Concentração de enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas

A análise de variância mostrou significância da interação entre as doses de nitrogênio e as doses de enxofre, em termos da concentração de enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas coletadas no primeiro, segundo e terceiro cortes do capim-Marandu.

A concentração de enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas, por ocasião do primeiro corte, teve a ocorrência de um ponto de sela, e portanto os pontos de máximo ou de mínimo não puderam ser determinados. Em condições de doses elevadas de nitrogênio (350 a 400 mg dm⁻³) associadas às doses intermediárias a altas de enxofre (20 a 40 mg dm⁻³) ocorria a mais alta concentração de enxofre nesse tecido vegetal (Figura 65).



$$Y=0,6109 +0,0006N +0,000001N^2 +0,0265S -0,0006S^2 +0,00004NS \quad (R^2=0,72)$$

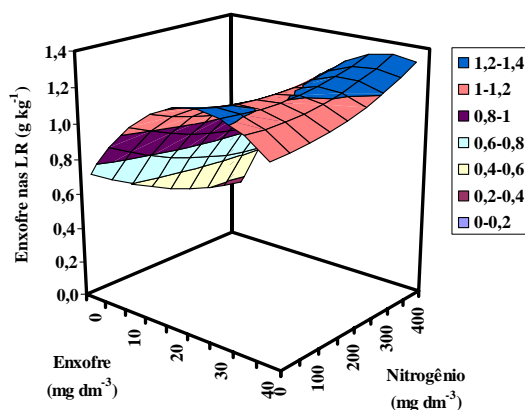
Figura 65 – Concentração de enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas coletadas no primeiro corte do capim-Marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre

No primeiro corte, em condição de baixo suprimento de nitrogênio (0 a 150 mg dm⁻³) o aumento das doses de enxofre de 0 a 25 mg dm⁻³ promoveu aumento da concentração de enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas, mas a partir deste ponto (25 mg dm⁻³) o aumento no fornecimento de enxofre promoveu redução na concentração de enxofre, evidenciando a necessidade da relação adequada entre as doses de nitrogênio e de enxofre para o capim. Batista

(2002) ressaltou que, em condições de combinações de altas doses de nitrogênio para qualquer das doses de enxofre, ocorria a mais elevada concentração de enxofre.

Santos (1997) revelou que o fornecimento de altas doses de enxofre promoveu redução na concentração desse nutriente nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Braquiária. Rodrigues (2002), ao estudar a concentração de enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Marandu na ocasião do primeiro corte, encontrou variação na concentração desse nutriente à medida que aumentava as doses de nitrogênio, com maiores concentrações em condições de baixa dose.

Na ocasião do segundo e terceiro cortes do capim-Marandu a ocorrência de ponto de sela não permitiu a determinação da combinação entre as doses de nitrogênio e de enxofre que seria responsável pela maior ou menor concentração de enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas. No segundo corte para uma mesma dose de nitrogênio, sendo esta alta ou baixa (0 a 400 mg dm^{-3}), o aumento no fornecimento de enxofre até a dose de 30 mg dm^{-3} promoveu aumento na concentração de enxofre no tecido vegetal, mas a partir daí ocorreu redução na concentração de enxofre (Figura 66). Batista (2002) relatou que a concentração de enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas era mais elevada em combinações de altas doses de nitrogênio e de enxofre.

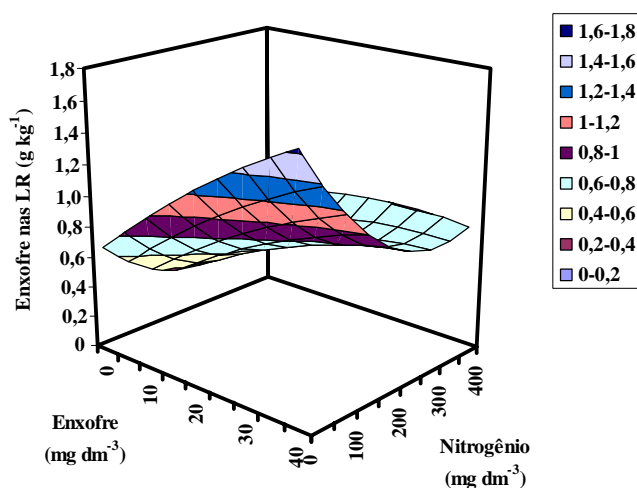


$$Y=0,7355 -0,0016N +0,000002N^2 +0,0399S -0,0008S^2 +0,00004NS \quad (R^2=0,56)$$

Figura 66 – Concentração de enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas coletadas no segundo corte do capim-Marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre

Para uma mesma dose de enxofre, o aumento na dose de nitrogênio promoveu aumento nas concentrações de enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas até um determinado ponto (dose de nitrogênio de 150 mg dm⁻³), e a partir dessa dose a redução nessa concentração foi observada. Dessa forma um platô foi observado entre as combinações de doses de nitrogênio de 100 a 250 mg dm⁻³ e de enxofre de 25 a 30 mg dm⁻³.

No terceiro corte, em condições de baixa dose de nitrogênio (0 a 50 mg dm⁻³) o aumento no fornecimento de enxofre a partir da dose de enxofre de 15 mg dm⁻³ promoveu aumento nessa concentração de enxofre nesse tecido vegetal (Figura 67). Os resultados evidenciaram, mais uma vez, que a elevação das doses de nitrogênio, quando o suprimento de enxofre não é suficiente para atender a demanda da planta e formar uma relação entre doses adequada, não se faz necessário.



$$Y = 0,6890 - 0,0035N + 0,000009N^2 + 0,0304S - 0,0002S^2 - 0,00005NS \quad (R^2 = 0,59)$$

Figura 67 – Concentração de enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas coletadas no terceiro corte do capim-Marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre

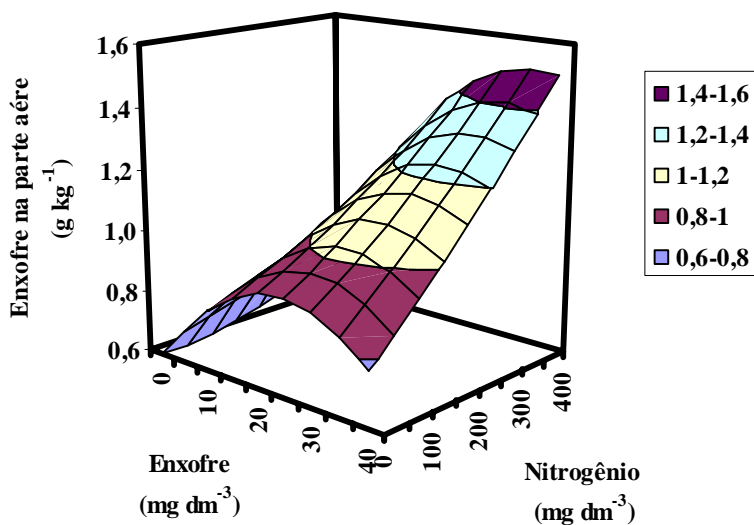
Bonfim-da-Silva (2005), ao pesquisar a utilização de nitrogênio e de enxofre na recuperação de pastagem de capim-Braquiária em degradação, relatou que a concentração de enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas respondeu apenas às doses de enxofre na ocasião do primeiro e segundo cortes.

4.3.5 Concentração de enxofre na parte aérea

A análise de variância da concentração de enxofre na parte aérea do capim-Marandu apresentou interação significativa entre as doses de nitrogênio e de enxofre para o material vegetal colhido na ocasião do primeiro e terceiro cortes da gramínea. Para o segundo corte, foram observadas respostas significativas às doses individuais de nitrogênio e de enxofre.

Na ocasião do primeiro corte, a concentração de enxofre na parte aérea ajustou-se ao modelo polinomial de regressão, e devido à ocorrência de ponto de sela, a concentração máxima ou mínima não pode ser determinada. A faixa de concentração máxima de enxofre na parte aérea ocorreu entre as combinações de doses de nitrogênio de 350 a 400 mg dm⁻³ associadas às doses de enxofre de 25 a 40 mg dm⁻³.

No primeiro corte, para uma mesma dose de nitrogênio, à medida em que se elevou a dose de enxofre ocorreu aumento na concentração de enxofre na parte aérea do capim-Marandu e, para uma mesma dose de enxofre, o aumento no suprimento de nitrogênio promoveu aumento na concentração de enxofre (Figura 68).



$$Y = 0,5802 + 0,0002N + 0,0000007N^2 + 0,0276S - 0,0006S^2 + 0,00003NS \quad (R^2=0,57)$$

Figura 68 – Concentração de enxofre na parte aérea coletada no primeiro corte do capim-Marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre

No segundo corte do capim, as concentrações de enxofre na parte aérea ajustaram-se ao modelo linear de regressão tanto para as doses de nitrogênio como para as de enxofre (Figura 69 e 70). O fornecimento de nitrogênio mostrou efeito inverso na concentração de enxofre na parte

aérea, o que pode ser devido a efeito de diluição. Para o fornecimento de enxofre, à medida em que se aumentaram as doses ocorreu aumento na concentração de enxofre no tecido vegetal, o que também já havia sido observado por Moreira, Darvalho e Evangelista (1997), em razão da aplicação de doses de gesso (0; 25; 50 e 100 mg dm⁻³).

Braga (2001) também ressaltou que a concentração de enxofre no capim-Mombaça sofreu influência das doses de nitrogênio aplicadas. A dose de nitrogênio de 250 kg ha⁻¹ foi a que resultou na mais baixa concentração de enxofre (1,4 g kg⁻¹), enquanto que as plantas adubadas com nitrogênio de 0 e 500 kg ha⁻¹ apresentaram concentração de 1,7 e 1,6 g kg⁻¹, de enxofre, respectivamente.

Campos (2004) relatou que, para o capim-Braquiária, a ausência de aplicação de nitrogênio aos 71 dias após o nivelamento da altura do capim, a concentração de enxofre na parte aérea foi adequada para o desenvolvimento da planta.

Oliveira et al. (2005), trabalhando com a recuperação do capim-Marandu em Neossolo Quartzarênico em função de doses de nitrogênio e de enxofre, observaram que nos tratamentos sem enxofre, a concentração desse nutriente na parte aérea ficou próxima a 0,8 g kg⁻¹, enquanto que as fertilizações com enxofre promoveram valores mais altos, mas não ultrapassaram 1,7 g kg⁻¹.

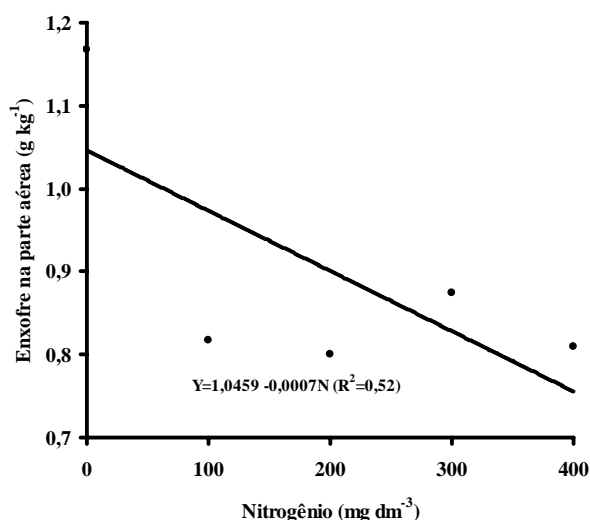


Figura 69 – Concentração de enxofre na parte aérea coletada no segundo corte do capim-Marandu, em função doses de nitrogênio

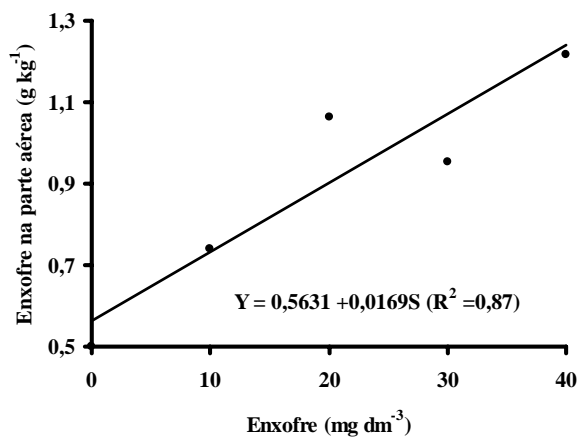
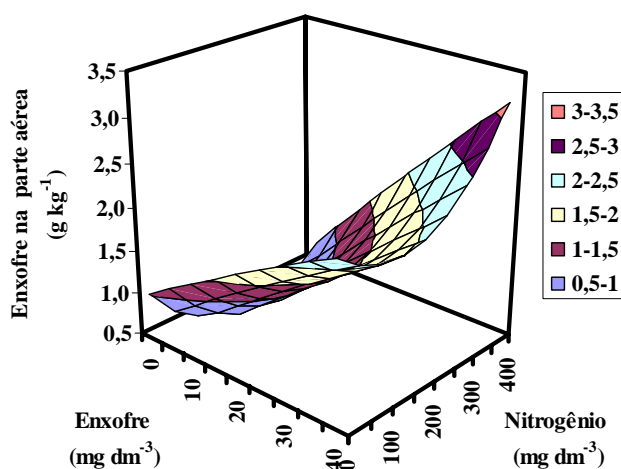


Figura 70 – Concentração de enxofre na parte aérea coletada no segundo corte, do capim-Marandu, em função doses de enxofre

No segundo corte do capim-Braquiária, Bonfim-da-Silva (2005) também encontrou resposta linear ao suprimento de enxofre, sendo que a maior concentração de enxofre na parte aérea ($2,3 \text{ g kg}^{-1}$) foi observada em condição de alta dose de enxofre no solo.

No terceiro corte, as concentrações de enxofre na parte aérea ajustaram-se ao modelo polinomial de regressão e a ocorrência de ponto de sela impossibilitou a determinação da concentração máxima ou mínima. Em condições de baixas doses de nitrogênio ($0 \text{ a } 50 \text{ mg dm}^{-3}$) o aumento nas doses de enxofre refletia em mais elevadas concentrações de enxofre no tecido vegetal. Para uma mesma dose de enxofre, o aumento nas doses de nitrogênio promovia aumento acentuado nas concentrações de enxofre, sendo as maiores concentrações observadas nas combinações de doses de nitrogênio de 400 mg dm^{-3} e de enxofre de 40 mg dm^{-3} (Figura 71).



$$Y = 1,0327 - 0,0076N + 0,00002N^2 + 0,3631S - 0,00009S^2 - 0,00007NS \quad (R^2=0,75)$$

Figura 71 – Concentração de enxofre na parte aérea coletada no terceiro corte do capim-Marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre

4.3.6 Concentração de enxofre nas raízes

Na análise de variância para a concentração de enxofre nas raízes do capim-Marandu, não se observou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e as de enxofre. Entretanto observou-se significância para as doses individuais de nitrogênio e para as de enxofre, com os resultados tendo ajuste a modelo quadrático de regressão para respostas ao nitrogênio e a modelo linear para respostas ao enxofre.

A dose de nitrogênio responsável pela mínima concentração de enxofre nas raízes ($1,0 \text{ g kg}^{-1}$) foi de $271,9 \text{ mg dm}^{-3}$ (Figura 72). Para as doses de enxofre, à medida que se aumentaram às doses de enxofre ocorreu aumento da concentração de enxofre nas raízes (Figura 73). Esses resultados se assemelham com os observados por Batista (2002), onde a concentração de enxofre nas raízes variou apenas em função das doses de nitrogênio e o aumento nas doses de nitrogênio promoveu redução na concentração de enxofre no tecido vegetal.

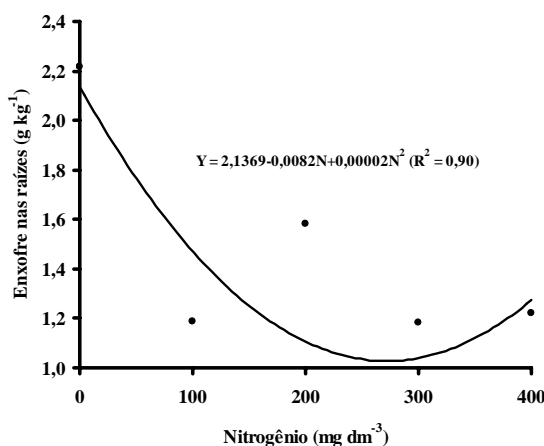


Figura 72 – Concentração de enxofre nas raízes coletadas após o terceiro corte do capim-Marandu, em função das doses de nitrogênio

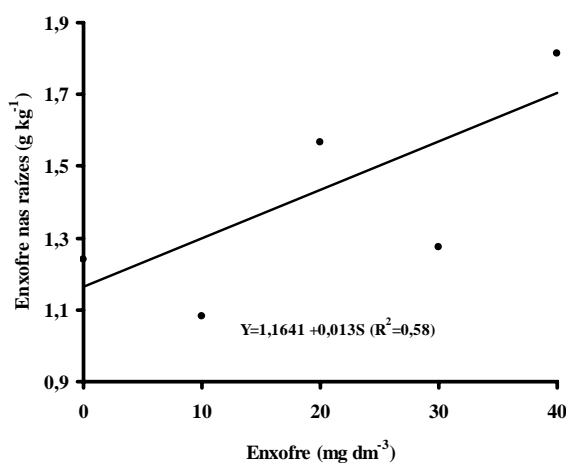


Figura 73 – Concentração de enxofre nas raízes coletadas após o terceiro corte do capim-Marandu, em função das doses de enxofre

Bonfim-da-Silva (2005) encontrou respostas do capim-Braquiária em termos de suprimento de nitrogênio e a dose de nitrogênio de 260 mg dm^{-3} responsável pela máxima concentração de enxofre nas raízes.

4.4 Relação N:S no capim-Marandu

4.4.1 Relação N:S nas lâminas de folhas recém-expandidas

Para a relação N:S nas lâminas de folhas recém-expandidas na ocasião do primeiro corte não foi verificada significância da interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre, bem como

para os efeitos das doses individuais de nitrogênio ou de enxofre. Respostas diferentes foram observadas na ocasião do segundo e terceiro cortes, já que em ambos a relação N:S nessas lâminas foliares mostrou significância para as doses de nitrogênio e de enxofre.

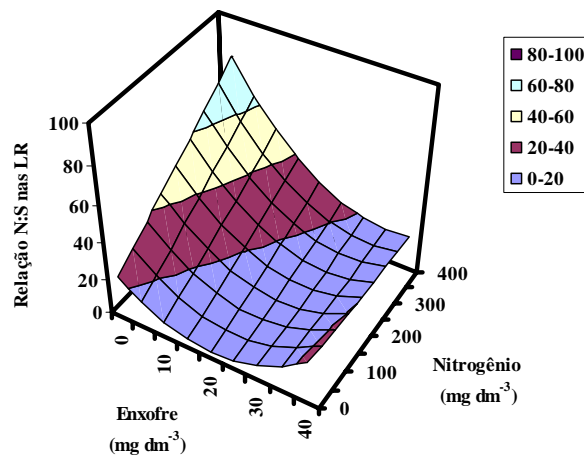
Para o primeiro corte do capim-Braquiária, Santos (1997) revelou que a relação N:S nas lâminas de folhas recém-expandidas apresentou alta variação (20,5 vezes) entre os mais altos e mais baixos valores de relação N:S, em função das doses de enxofre. Batista (2002) não observou interferências das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre bem como das doses individuais desses dois nutrientes na relação N:S no primeiro corte do capim-Marandu.

No material coletado no segundo corte, as relações N:S nas lâminas de folhas recém-expandidas ajustaram-se ao modelo polinomial de regressão, mas devido à ocorrência de ponto de sela a relação máxima ou mínima não pode ser determinada.

Em condições de alto suprimento de nitrogênio (400 mg dm^{-3}), para qualquer uma das doses de enxofre foram observadas as máximas relações N:S (80:1) como observado na Figura 74, evidenciando que o incremento na dose de nitrogênio requer aumento também na dose de enxofre, a fim de garantir o equilíbrio desses dois nutrientes na planta (Malavolta, 1986). Na ausência de aplicação do nitrogênio, para qualquer uma das doses de enxofre as menores relações eram observadas (24:1). Essas relações de 80:1 e 24:1 estão muito acima da indicada como adequada para gramíneas forrageiras por Dijkshoorn e Van Wijk (1967), que propuseram a relação de 13,7:1 para gramíneas em geral.

Na Figura 74 pode ser verificado que, para uma mesma dose de nitrogênio, à medida em que se elevavam às doses de enxofre os valores da relação N:S eram constantes, e para uma mesma dose de enxofre à medida em que se elevavam as doses de nitrogênio ocorreu aumento na relação N:S. Isso enfatiza que as plantas forrageiras com deficiência de nitrogênio apresentam baixas respostas à aplicação de enxofre (SANTOS, 1997).

Batista (2002) relatou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre na relação N:S nas lâminas de folhas recém-expandidas, na ocasião do segundo corte, ao mesmo tempo em que ocorreu ponto de sela. A relação N:S observada nas lâminas de folhas recém-expandidas na ocasião do segundo corte apresentou variação de 2,8:1 a 37,2:1.



$$Y=24,2468 +0,1284N +0,00003N^2 -1,9979S +0,0495S^2 -0,0038NS \quad (R^2=0,85)$$

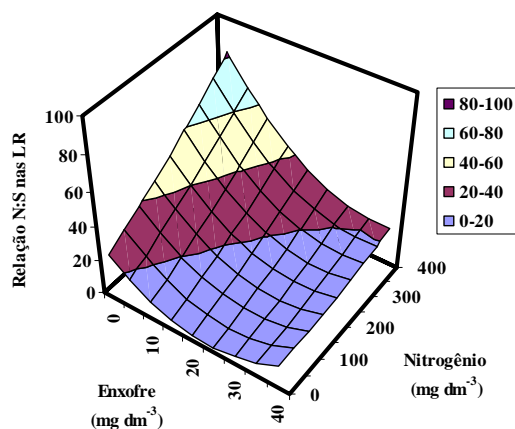
Figura 74 – Relação nitrogênio:enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) coletadas no segundo corte do capim-Marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre

Santos (1997) relatou que a relação N:S nas lâminas de folhas recém-expandidas variou de 10:1 a 12:1 em condições de doses medianas de enxofre, enquanto que Bonfim-da-Silva (2005) não encontrou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre, bem como respostas significativas às doses individuais de nitrogênio e de enxofre.

Os valores da relação N:S nas lâminas de folhas recém-expandidas amostradas no terceiro corte do capim ajustaram-se ao modelo polinomial de regressão. A mínima relação N:S seria observada em combinação entre doses de nitrogênio e de enxofre fora do intervalo de doses estudadas.

Para uma mesma dose de nitrogênio, à medida em que se elevou a dose de enxofre, a relação N:S permaneceu constante (Figura 75). Entretanto para mesma dose de enxofre, à medida em que se incrementou o suprimento de nitrogênio ocorreu aumento na relação N:S. Os maiores valores de relação N:S (82:1) foram observados em condições de alta dose de nitrogênio (400 mg dm⁻³) para qualquer uma das doses de enxofre, enquanto que os menores valores foram observados em condições de ausência de aplicação de nitrogênio, para qualquer uma das doses de enxofre. Segundo Conley; Paparozzi e Stroup (2002) quando a concentração de nitrogênio nas

folhas é baixa, as plantas não metabolizam nutrientes eficientemente e dessa forma não fazem o uso eficiente do enxofre presente no tecido vegetal.



$$Y=26,709202 +0,1155N +0,00006N^2 -2,0178S +0,0426S^2 -0,0030NS \quad (R^2=0,74)$$

Figura 75 – Relação nitrogênio:enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) coletadas no terceiro corte do capim-Marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre

O valor elevado da relação N:S (82:1) nas lâminas de folhas recém-expandidas demonstra uma possível deficiência de enxofre, devido ao excesso de nitrogênio. Bonfim-da-Silva (2005) relatou que apenas as doses de nitrogênio influenciaram a relação N:S nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Marandu na ocasião do terceiro corte, sendo a dose de 394,8 mg dm⁻³ a responsável pela relação máxima (16:1).

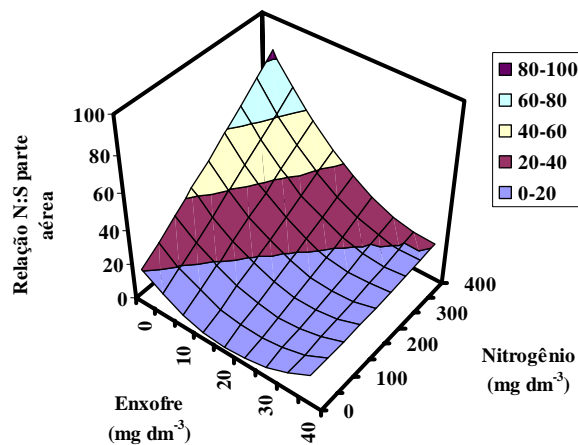
Esses resultados evidenciam a importância da folha diagnóstica para a análise do tecido vegetal e resolve problemas apontados por Parsricha e Fox (1993) pois segundo esses embora a relação nitrogênio:enxofre tenha sido usada sucessivamente para diagnose da necessidade de enxofre sob ampla faixa de suprimento de enxofre, flutuações consideráveis nessa proporção têm sido frequentemente relatadas, devido ao fato do enxofre ser imóvel na planta e folhas velhas acumularem mais enxofre que folhas novas.

4.4.2 Relação N:S na parte aérea

Na ocasião do primeiro e terceiro cortes a análise de variância não mostrou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e as doses de enxofre. Respostas significativas

também não foram observadas para as doses individuais de nitrogênio e de enxofre, em termos das plantas coletadas na ocasião do primeiro e terceiro cortes. No entanto verificou-se significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de enxofre para a relação N:S na parte aérea colhida no segundo corte do capim-Marandu.

Na ocasião do segundo corte, os resultados ajustaram-se ao modelo polinomial de regressão e a ocorrência de um ponto de sela não possibilitou a determinação da relação máxima ou mínima. Bonfim-da-Silva (2005) relatou que o capim-Braquiária respondeu apenas às doses de nitrogênio sendo que a maior dose de nitrogênio (400 mg dm^{-3}) resultou em relação N:S de 14:1 (Figura 76).



$$Y=20,1872 +0,1473N +0,00003N^2 -1,6593S +0,0697S^2 -0,0038NS \quad (R^2=0,73)$$

Figura 76 – Relação nitrogênio:enxofre na parte aérea coletada no segundo corte do capim-Marandu, em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre

Para uma mesma dose de nitrogênio, à medida que se elevavam as doses de enxofre ocorria redução na relação N:S na parte aérea na ocasião do segundo corte do capim, enquanto que para uma mesma dose de enxofre o aumento na dose de nitrogênio promovia redução nessa relação, ressaltando mais uma vez a importância de se garantir o equilíbrio desses nutrientes na planta, como já mencionado por Malavolta (1986).

O uso de proporções entre os nutrientes tem sido proposto para aumentar a precisão de análise no tecido por minimizar os efeitos da amostragem de parte da planta, idade do tecido, taxa de crescimento e outros fatores (DUKE; REISENAUER, 1986).

A relação N:S adequada para capins está na faixa de 13:1 a 14:1 (WERNER; MONTEIRO, 1988). No presente estudo essa relação foi verificada mediante as combinações de doses de nitrogênio de 150 a 200 mg dm⁻³ com doses de enxofre de 30 a 35 mg dm⁻³.

A necessidade do equilíbrio entre o fornecimento de nitrogênio e de enxofre foi ressaltada por Oliveira et al. (2005), ao estudarem a recuperação de capim-Marandu em degradação em função das doses de nitrogênio e de enxofre. Para os tratamentos que não receberam aplicação de enxofre a relação N:S foi superior a 16,5:1, ou seja houve falta de enxofre no sistema, enquanto que os tratamentos que receberam enxofre apresentaram relações inferiores a 16,8:1 denotando fornecimento suficiente de enxofre em relação às doses de nitrogênio.

4.4.3 Relação N:S nas raízes

A análise de variância da relação N:S nas raízes coletadas após o terceiro corte do capim-Marandu não revelou significância para a interação entre doses de nitrogênio e de enxofre, mas respostas significativas foram observadas para as doses individuais de nitrogênio e de enxofre.

Os resultados da relação N:S nas raízes ajustaram-se ao modelo linear de regressão, tanto nas respostas ao nitrogênio quanto ao enxofre. À medida que se elevava o fornecimento de nitrogênio na adubação ocorreu aumento na relação N:S nas raízes (Figura 77). O aumento nas doses de enxofre resultou em redução na relação N:S (Figura 78).

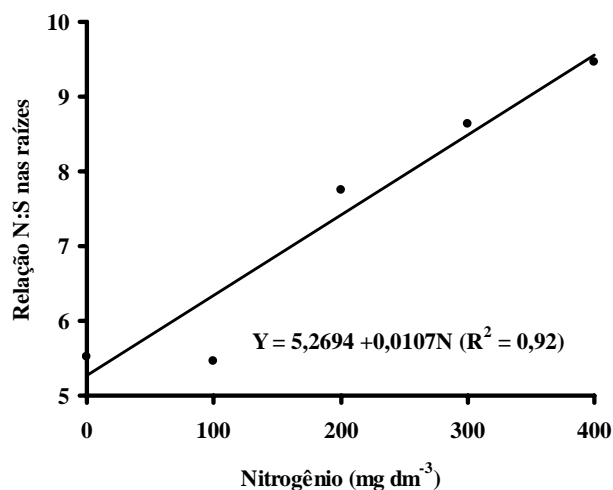


Figura 77 – Relação nitrogênio:enxofre nas raízes coletadas após o terceiro corte do capim-Marandu, em função das doses de nitrogênio

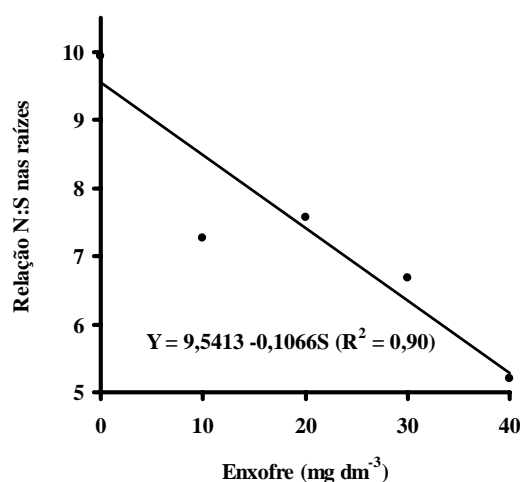


Figura 78 – Relação nitrogênio:enxofre nas raízes coletadas no terceiro corte do capim-Marandu, em função das doses de enxofre

A relação N:S nas raízes, em função do fornecimento de nitrogênio, variou de 5,3:1 a 9,5:1. Essas relações são mais amplas que aquelas encontradas por Bonfim-da-Silva (2005) para o capim-Braquiária, cujos valores variaram de 3,2:1 a 5,4:1, da menor para a maior dose de nitrogênio.

4.5 Sintomas de carência de nitrogênio e enxofre

A dependência da adequada relação entre o fornecimento de nitrogênio e de enxofre pode ser observada pelos sintomas visuais de deficiência desses dois nutrientes apresentados pelo capim-Marandu (Figura 79). Em condições de não aplicação de nitrogênio e alta dose de enxofre (40 mg dm⁻³), as lâminas de folhas maduras apresentaram clorose generalizada, indicando deficiência de nitrogênio, que pode ser comprovada mais tarde com os resultados da análise foliar. Além disso, ao longo do período experimental verificou-se redução no crescimento vegetativo da planta com reflexo no perfilhamento e na produção de folhas (Figura 80a).

Na ausência do fornecimento de enxofre e com altas doses de nitrogênio (400 mg dm⁻³), observou-se clorose generalizada nas folhas emergentes (Figura 80b), fato que também pode ser comprovado mais tarde com a análise do tecido foliar.

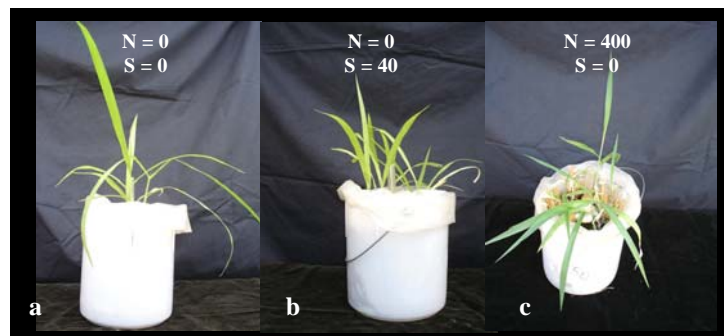


Figura 79 – Plantas em condições de não aplicação de nitrogênio e de enxofre (a); não aplicação de nitrogênio e dose elevada de enxofre (b) e doses elevadas de nitrogênio e ausência de aplicação de enxofre (c)

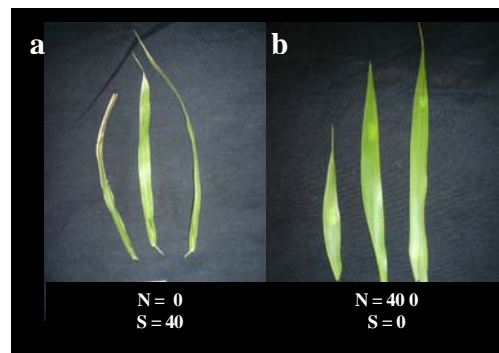


Figura 80 - Lâminas de folhas velhas demonstrando a deficiência de nitrogênio em condições de não aplicação de nitrogênio e alto suprimento de enxofre (a) e folhas emergentes demonstrando a deficiência de enxofre em condição de alta dose de nitrogênio e não aplicação de enxofre de enxofre (b)

As Figuras 81a e 81b demonstram que a não aplicação de nitrogênio e de enxofre bem como o fornecimento moderado de ambos nutrientes resultou em menor produção de folhas e de perfilhos pelo capim-Marandu, resultando em queda na produção de massa seca da parte aérea. Entretanto as Figuras 81d e 81e mostraram que em condições de elevadas doses de nitrogênio (300 e 400 mg dm^{-3}) e de enxofre (30 e 40 mg dm^{-3}) ocorreu acamamento das folhas. do capim, revelando a necessidade da adequação no fornecimento desses nutrientes para o capim.

O suprimento de nitrogênio e de enxofre também interferiu no crescimento radicular do capim-Marandu, ficando evidente que doses de nitrogênio de 400 mg dm^{-3} e de enxofre de 40

mg dm^{-3} não beneficiaram o crescimento radicular (Figura 82b), assim como a não aplicação desses dois nutrientes resultou em menor produção de raízes (Figura 82a).

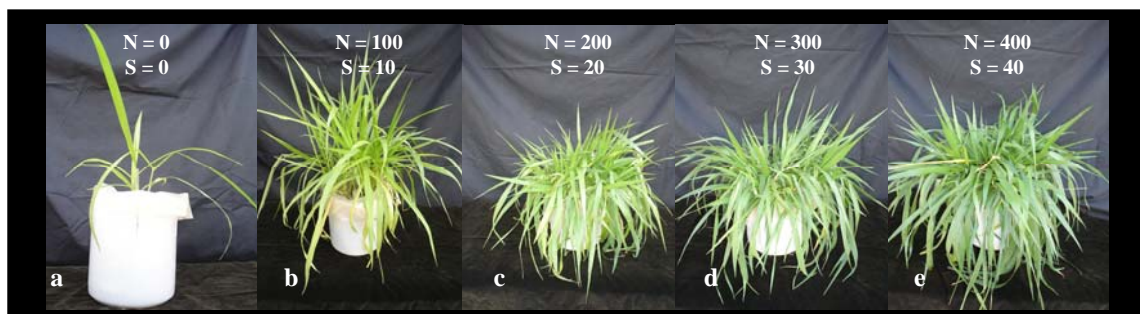


Figura 81 – Plantas apresentando sintomas de deficiência de nitrogênio (a e b) e de enxofre (a, b e c) e acamamento das folhas do capim– Marandu (d e e)



Figura 82 – Raízes do capim-Marandu em condições de: ausência de aplicação de nitrogênio e de enxofre (a) e doses de nitrogênio de 400 mg dm^{-3} e de enxofre de 40 mg dm^{-3} (e)

5 CONCLUSÕES

Na implantação do capim-Marandu é fundamental o fornecimento adequado de nitrogênio para o crescimento inicial da planta e um adequado estabelecimento da pastagem;

Quando o nitrogênio é fornecido em quantidade apreciável, é necessário cuidar do fornecimento de enxofre para a maximização dos parâmetros de produção do capim-Marandu, bem como para o valor SPAD, a concentração de nitrogênio e de enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas e parte aérea, para a relação N:S na parte aérea;

O valor SPAD reflete diretamente a concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim;

O fornecimento de nitrogênio de no mínimo 330 mg dm^{-3} é necessário para maximizar o valor SPAD, o consumo de água, a eficiência no uso da água e a concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas e na parte aérea do capim-Marandu;

O nitrogênio é determinante para a maximização da massa seca de raízes, do comprimento do sistema radicular, da relação nitrogênio e enxofre no sistema radicular do capim-Marandu e dos teores de nitrato e amônio no solo com o capim-Marandu;

O enxofre é responsável pelo aumento da concentração de enxofre na parte aérea e no sistema radicular do capim-Marandu e dos teores de sulfato e enxofre total no solo com o capim-Marandu;

A relação adequada entre as combinações de doses de nitrogênio e de enxofre para a maximização das características produtivas do capim-Marandu encontra-se no intervalo entre doses de 8:1 a 11:1;

Para a maximização dos teores de matéria orgânica, nitrato e amônio no solo com a presença do capim-Marandu é necessário o fornecimento de nitrogênio de, no mínimo, 245 mg dm^{-3} .

REFERÊNCIAS

- ABREU, J.B.R.; MONTEIRO, F.A. Produção e nutrição do capim–Marandu em função de adubação nitrogenada e estádios de crescimento. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 56, p. 137-146, 1999.
- ALCÂNTARA, P.B.; BUFARAH, G. **Plantas forrageiras gramíneas e leguminosas**. São Paulo: Nobel, 1992. 150 p.
- ALVIM, M.J.; XAVIER, D.F.; VERNEQUE, R.S.; BOTREL, M.A. Resposta do Tifton 68 a doses de nitrogênio e a intervalos de cortes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p.1875-1882, 2000.
- ANDRADE, J.B.; FERRARI JÚNIOR, E.F.; HENRIQUE, W. Efeito das adubações nitrogenadas e potássica na produção e no valor nutritivo do feno de capim-Colonião. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 48, p. 93-99, 1991.
- BARROS, C.O. **Produção e qualidade da forragem do capim–Tanzania estabelecido com milho, sob três doses de nitrogênio**. 2000. 72 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.
- BATISTA, K. **Respostas do capim-Marandu a combinações de doses de nitrogênio e enxofre**. 2002. 91 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- BEATON, J.D.; BURNS, G.R.; PLATOU, J. **Determination of sulphur in soils and plant material**. Washington: The Sulphur Institute, 1968. 56p. (Technical Bulletin, 14).
- BETTANY, J.R.; STEWART, J.W.B.; HASTEAD, E.H. Sulfur fractions and carbon, nitrogen and sulfur relationships in grassland, forest and associated transitional soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Chicago, v. 37, p. 915-918, 1973.
- BLANCHARD, R.W. Measurement of sulfur in soil and plants. In: TABATABAI, M.A. **Sulfur in agriculture**. Madison: ASA; CSSA; SSSA, 1986. chap. 17, p. 455-486.
- BONFIM-DA-SILVA, E M. **Níveis críticos de fósforo para *Brachiaria brizantha* (Hochst ex A. Rich.) Stapf. cv. Marandu em Solos de referência da Zona da Mata de Pernambuco**. 2002. 57 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2002.
- BONFIM-DA-SILVA, E.M. **Nitrogênio e enxofre na recuperação de pastagem de capim-Braquiária em degradação em Neossolo Quartzarênico com expressiva matéria orgânica**. 2005. 123p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

- BRAGA, G.J. **Resposta do capim–Mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) a doses de nitrogênio e intervalos de corte.** 2001. 121 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2001.
- BREMNER, J.M. Nitrogen total. In: BARTELS, J.M. **Methods of soil analysis: chemical methods.** Madison: SSSA, 1996. chap.37, p. 1085-1121. (SSSA. Book Series, 5).
- BROUWER, R. Nutritive influences on the distribution of dry matter in the plant. **Netherland Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 10, p. 342-399, 1962.
- CAMPOS, A.X. **Fertilização com sulfato de amônio na cultura do milho em um solo do cerrado de Brasília sob pastagem de *Brachiaria decumbens*.** 2004. 199 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- CANTARELLA, H.; PROCHNOW, L.I. Determinação de sulfatos em solos. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. cap. 14, p. 225-230.
- CANTARELLA, H.; ABREU, C.A.; BERTON, R.S. Fornecimento de nutrientes pela matéria orgânica do solo. In: ENCONTRO SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO: PROBLEMAS E SOLUÇÕES, 1992, Botucatu. **Anais ...** Botucatu: FCA, 1982. p. 63-122.
- CARVALHO, M.C.S. **Práticas de recuperação de uma pastagem degradada e seus impactos em atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo.** 1999. 103 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.
- CECATO, U.; JOBIM, C.C.; REGO, A.; LENZI, A. Sistema radicular – componente esquecido das pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 2., 2004, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2004. p. 158-207.
- CHAPMAN, D.F.; LAMAIRE, G. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 17., 1993, Palmerston North. **Proceedings ...** Palmerston North: New Zealand Grassland Association, 1993. p. 95-104.
- COLOZZA, M.T. **Rendimento e diagnose foliar dos capins Aruana e Mombaça cultivados em Latossolo Vermelho – Amarelo adubado com doses de nitrogênio.** 1998. 127 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
- COLOZZA, M.T.; KIEHL, J.C.; WERNER, J.C.; SCHAMMASS, E.A. Respostas de *Panicum maximum* cv. Aruana a doses de nitrogênio. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 57, p. 21-32, 2000.

CONLEY, M.E.; PAPAROZZI, E.T.; STROUP, W.W. Leaf anatomical and nutrient concentration responses to nitrogen and sulfur applications in poinsettia. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 25, p. 1773-1791, 2002.

COSTA, B.M. Degradação das pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 5., 1978, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1980. p. 5-7.

COSTA, M.N.X. **Influência de épocas e doses de adubação nitrogenada na produção estacional de dois capins**. 1999. 63 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

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

CUNHA, M.A.D.; LEITE, G.G.; DIOGO, J.M.S.; VIVALDI, L.J. Características morfológicas do *Paspalum citratum* cv. Pojuca submetido ao pastejo rotacionado. Dinâmica de perfilhamento e alongação de folhas. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, p. 935-940, 2001.

DIJKSHOORN W.; LAMPE J.E.M. A method of diagnosing the sulphur nutrition status of herbage. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 13, p. 227-241, 1960.

DIJKSHOORN, W.; WIJK, A.L.van. The sulphur requirements of plants as evidence by the sulphur-nitrogen ratio in the organic matter. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 26, p. 129-157, 1967.

DUKE, S.H.; REISENAUER, H.M. Roles and requirements of sulfur in plant nutrition. In: TABATABAI, M. A. (Ed). **Sulfur in agriculture**. Madison: ASA; CSSA; SSSA, 1986. p. 123-168

ERIKSEN J.; MORTENSEN, J.V. Effects of timing of sulfur application on yield, S-uptake and quality of barley. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 242, p. 283-289, 2002.

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

FAQUIN, V.; CURI, N.; MARQUES, J.J.G.S.M.; TEIXEIRA, W.G.; EVANGELISTA, A.R.; SANTOS, D.; CARVALHO, M.M. Limitações nutricionais para gramíneas forrageiras em Cambissolo álico da microregião Campos da Mantiqueira-MG, Brasil. 2. Nutrição em macro e micronutrientes. **Pasturas Tropicais**, Cali, v. 17, p. 17-22, 1995.

FERNANDES, M.S.; ROSSIELLO, R.O.P. Aspectos do metabolismo e utilização do nitrogênio em gramíneas tropicais. In: SIMPÓSIO SOBRE CALAGEM E ADUBAÇÃO DE PASTAGENS, 1986, Piracicaba. **Anais ...** Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 92-123.

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

FERRARI JÚNIOR, E.; ANDRADE, J.B. de; PEDREIRA, J.V.S.; COSENTINO, J.R.; SCHAMMASS, E.A. Produção de feno de *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha* cultivar Marandu sob três frequências de corte. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 51, p. 49-51, 1994.

FERRARI NETO, J. **Limitações nutricionais para o colônião (*Panicum maximum* Jacq.) e braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.) em Latossolo da região noroeste do Estado de Paraná.** 1991. 126 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1991.

FERREIRA, C.R.R.P.T.; VEGRO, C.L.R.; BORTOLETO, E.E.; FRANCISCO, V.L.F.S. Caracterização da pecuária bovina no estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 29, p. 7-30, 1999.

FITTER, A. Characteristics and functions of root systems. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Ed.). **Plant roots: the hidden half.** New York: Marcel Dekker, 1996. chap. 3, p. 1-29.

FOX, R. L.; OLSON, R. A. O.; RHOADES, H. F. Evaluating the sulfur status of soils by plants and soil tests. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 28, p. 243-246, 1964.

FRENEY, J.R. Some observations on the nature of organic sulphur compounds in soil. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 12, p. 424-432, 1961.

FRENEY, J.R. Forms and reactions of organic sulfur compounds in soils. In: TABATABAI, M.A. (Ed.). **Sulfur in agriculture.** Madison: ASA, 1986. chap. 6, p. 207-232.

GARCEZ, A.F.G.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; REGAZZI, A.J.; FONSECA, D.M.; MOSQUIM, P.R.; GOBBI, K.F. Respostas morfológicas e estruturais de *Panicum maximum* cv. Mombaça sob diferentes níveis de adubação nitrogenada e alturas de corte. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, p. 1890-1900, 2002.

GLENDON, W.G.; DANI, O.R. Particle-size analysis. In: BARTELS, J.M. **Methods of soil analysis: physical methods.** Madison: SSSA, 2002. chap. 24, p. 255-283. (SSSA. Book Series, 2).

GREGORY, P. J. Root growth and activity. In: BOOTE, K. J.; BENNETT, J.M.; SINCLAIR, T. R.; PAULSEN, G.M. **Physiology and determination of crop yield.** Madison: ASA; CSSA; SSSA, 1994. chap. 4A, p. 65-93

HAVLIN, J.L.; TISDALE, S.L.; BEATON, J.D.; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management.** New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005. 515 p.

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

JANSSON, S.L.; PERSSON, J. Mineralization and immobilization of soil nitrogen. In: STEVENSON, F. J. (Ed.). **Nitrogen in agricultural soils.** Madison: ASA; CSSA; SSSA, 1982. chap. 6, p. 229-252.

JOHNSON, D.W.; HENDERSON, G.S. Sulfate adsorption and sulfur fractions in a highly weathered soil under a mixed deciduous forest. **Soil Science**, New Brunswick, v. 128, p. 34-40, 1979.

KEMPERS, A.J.; ZWEERS, A. Ammonium determination in soil extracts by the salicylate method. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 17, p. 715-723, 1986.

LANGER, R.H.M. Tillering in herbage grasses. **Herbage Abstracts**, Farnham Royal, v. 33, p. 141-148, 1974.

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

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

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

LEMAIRE, G.; AGNUSDEI, M. Leaf tissue turn-over and efficiency of herbage utilisation. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL GRASSLAND ECOPHYSIOLOGY AND GRAZING ECOLOGY, 1., 1998, Curitiba. **Anais ...** Curitiba: IAPAR, 1999. p. 165-184.

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

LOPES, A.S. **Manual internacional de fertilidade do solo.** Piracicaba: Potafós, 1998. 177 p.

LOURENÇO, A.J. Produção animal com leguminosas arbóreas/arbustivas. In: SIMPÓSIO SOBRE USOS MÚLTIPLOS DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS E ARBUSTIVAS, 1., 1993, Nova Odessa. **Anais...** Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1993. p. 131-146.

MALAVOLTA, E. O enxofre na agricultura, situação atual, perspectivas e sugestões. In: SIMPÓSIO: P, Ca, Mg, S, MICRONUTRIENTES: SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS NA AGRICULTURA, 1., 1986, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Manah, 1986. p. 101-108.

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

MARQUES, J.J.G.S.M.; CURI, N.; FAQUIN, V.; TEIXEIRA, W.G.; EVANGELISTA, A.R.; SANTOS, D.; CARVALHO, M.M. Limitações nutricionais para gramíneas forrageiras em Cambissolo álico da Microregião Campos da Mantiqueira-MG, Brasil. Produção de matéria seca e perfilhamento. **Pasturas Tropicales**, Cali, v. 17, p. 12-16, 1995.

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

MATTOS, W.T. **Avaliação de pastagem de capim-braquiária em degradação e sua recuperação com suprimento de nitrogênio e enxofre.** 2001. 97 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

MATTOS, W.T.; MONTEIRO, F. A. Produção e nutrição do capim-Braquiária em função de doses de nitrogênio e enxofre. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v.60, p.1-10, 2003.

MELLO, J.; OLIVEIRA, F. T. T. de; ALVAREZ, V.H. Uso de matrizes experimentais no estudo de superfícies de resposta, e na estimativa de doses recomendáveis e níveis críticos de P e S em casa de vegetação. **Revista Ceres**, Viçosa, v.38, p. 145-158, 1991.

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

MITIDIERI, F.J. Mais do que nunca, o “boi de capim” agrega valor. In: FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **Anualpec 2003**: anuário da pecuária brasileira. São Paulo, 2003. p. 51-52.

MONTEIRO, F.A. **Sulphur fertilization and nutrient distribution in a Florida Spodosol profile under white clover – Pensacola bahiagrass.** 1986. 182 p. Thesis (Doctor in Soils) – University of Florida, Gainesville, 1986.

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

MONTEIRO, F.A.; CARRIEL, J.M.; MARTINS, L.; CASTRO, J.V.; LIEM, T.H. Aplicação de níveis de enxofre na forma de gesso, para cultivo de leguminosas forrageiras. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 40, p. 229-240, 1987.

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

MONTEIRO, H.C.F. **Dinâmica de decomposição e mineralização de nitrogênio, em função da qualidade de resíduos de gramíneas e leguminosas forrageiras**. 2000. 41 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

MOREIRA, A.; DARVALHO, J.G.; EVANGELISTA, A.R. Efeito de doses de enxofre na produção e composição mineral da alfafa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, p.533-538, 1997.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora Lavras, 2002. 625 p.

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

NASCIMENTO JR., D.; QUEIROZ, D.S.; SANTOS, M.V.F. Degradação das pastagens e critérios para avaliação. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 11., 1994, Piracicaba. **Anais ...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 107-151.

NEPTUNE, A.M.L. ; TABATABAI, M.S.; HANWAY, J.J. Sulfur fractions and carbon-nitrogen-phosphorus-sulfur relations in some brasilian and Iowa soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Ann Arbor, v. 39, p. 51-55, 1975.

NUNES, S.G.; BOOK, A. PENTEADO, M.I.O.; GOMES, D.T. **Brachiaria brizantha cv. Marandu**. Campo Grande: EMBRAPA, CNPGC, 1985. 31 p. (Documento, 21).

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

OLIVEIRA, W.S.; OLIVEIRA, P.P.A.; CORSI, M.; TREVELIN, P.C.O.; TSAI, S.M. Disponibilidade hídrica relacionada ao conteúdo de nitrogênio e à produtividade da alfafa (*Mendicago sativa* L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, p. 1275-1286, 2003.

PASRICHA, N.S.; FOX, R.L. Plant nutrient in sulfur in the tropics and subtropics. **Advances in Agronomy**, New York, v. 50, p. 209-269, 1993.

PIETERSE, P.A.; RETHMAN, N.F.G.; BOSCH, J. van. Production, water use efficiency and quality of four cultivars of *Panicum maximum* at different levels of nitrogen fertilisation. **Tropical Grasslands**, Brisbane, v. 31, p. 117-123, 1997.

QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van. Comparação de métodos rápidos para a determinação de matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 3, p. 184-187, 1979.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991. 343 p.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170 p.

RIBEIRO, K.G. **Rendimento forrageiro e valor nutritivo do capim-Elefante “Anão”, sob cinco doses de nitrogênio, ao atingir 80 e 120 cm de altura**. 1995. 60 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

ROBBINS, G.B.; BUSHELL, J.J.; BUTLER, K.L. Decline in plant and animal production from ageing pastures of green panic (*Panicum maximum* var. trichoglume). **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 108, p. 407-417, 1987.

RODRIGUES, R.C. **Calcário, nitrogênio e enxofre para a recuperação do capim-Braquiária cultivado em solo proveniente de uma pastagem degradada**. 2002. 141p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

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

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

SANTOS, A.R.; MONTEIRO, F.A. Produção e perfilhamento de *Brachiaria decumbens* Stapf. em função de doses de enxofre. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, p. 689-692, 1999.

SANTOS JUNIOR, J.D.G. **Dinâmica de crescimento e nutrição do capim – Marandu submetido a doses de nitrogênio**. 2001. 79p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SANTOS JUNIOR, J.D.G.; MONTEIRO, F.A. Nutrição em nitrogênio do capim-Marandu submetido a doses de nitrogênio e idades de crescimento. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 60, p. 139-146, 2003.

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

SAS INSTITUTE. **The SAS-system for windows**: release 6.08 (software). Cary, 1996.

SBRISSIA, A.F.; SILVA, S.C. da. O ecossistema de pastagem e a produção animal. In: MATTOS, W.R. (Ed). **A produção animal na visão dos brasileiros**. Piracicaba: FEALQ, 2001. cap. 51, p. 731-754.

SILVA, F.L.I.M.; ROSSIELLO, R.O.P.; FERNANDES, M.S. Efeitos da nutrição amoniacal com e sem "N-serve" sobre o crescimento radicular de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 20., 1985, Belém. **Resumos ...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1985. p. 104.

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

SOARES FILHO, C.V.; MONTEIRO, F.A.; CORSI, M. Recuperação de pastagens degradadas de *Brachiaria decumbens*. 1. Efeito de diferentes tratamentos de fertilização e manejo. **Pasturas Tropicais**, Cali, v. 14, p. 2-6, 1992a.

SOARES FILHO, C.V.; MONTEIRO, F.A.; CORSI, M. Recuperação de pastagens degradadas de *Brachiaria decumbens*. 2. Variação sazonal de parâmetros bioquímico-fisiológicos. **Pasturas Tropicais**, Cali, v. 14, p. 7-13, 1992b.

SOUZA NETO, J. M.; PEDREIRA, C. G. S. Caracterização do grau de degradação de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 21., 2004, Piracicaba. **Anais ...** Piracicaba: FEALQ, 2004. p. 7-31.

TABATABAI, M.A. Sulfur. In: BARTELS, J.M. **Methods of soil analysis: chemical methods**. Madison: SSSA, 1996. chap. 33, p. 921-960. (SSSA. Book Series, 3).

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

TRUDINGER, P.A. The biochemistry of sulfur. In: MCLACHLAN, K.D. (Ed.). **Sulfur in australian agriculture**. Sydney: University Press, 1975. chap.1, p. 11-20.

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

WERNER, J.C.; MONTEIRO, F.A. Respostas das pastagens a aplicação de enxofre. In: ENXOFRE E MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., 1988, Londrina. **Anais ...** Londrina: Embrapa, CNPS; IAPAR, 1988. p. 87-102.

WERNER, J.C.; QUAGLIATO, J.L.; MARTINELLI, D. Ensaio de fertilização do colômbio com solo da "Noroeste". **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 24, p. 159-167, 1967.

WERNER, J.C.; PAULINO, V.T.; CANTARELLA, H.; ANDRADE, N.O. de; QUAGGIO, J.A. Forrageiras. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996. p. 261-273.

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

YANG, J.E.; SKOGLEY, E.O.; SCHAFF, B.E; KIM, J.J. A simple spectrometric determination of nitrate in water, resin, and soil extracts. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 62, p. 1108-1115, 1998.