

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

**Doses de nitrogênio e de enxofre para a recuperação de pastagem
com capim-braquiária: atributos de parte aérea,
raízes e fertilidade do solo**

Cristiane Prezotto Silveira

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

**Piracicaba
2009**

Cristiane Prezotto Silveira
Engenheiro Agrônomo

**Doses de nitrogênio e de enxofre para a recuperação de pastagem com capim-
braquiária: atributos de parte aérea, raízes e fertilidade do solo**

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
2009**

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

Silveira, Cristiane Prezotto

Doses de nitrogênio e de enxofre para a recuperação de pastagem com capim-braquiária: atributos de parte aérea , raízes e fertilidade do solo / Cristiane Prezotto Silveira. - - Piracicaba, 2009.
124 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2009.
Bibliografia.

1. Adubação 2. Capim braquiária 3. Enxofre 4. Fertilidade do solo 5. Gramíneas forrageiras 6. Nitrogênio 7. Pastagens I. Título

CDD 633.2
S587d

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

Aos meus pais Valdir e Sueli pela educação e amor incondicional

Aos meus irmãos Vanessa, Alexandre e Marcelo pela convivência e união

Aos meus sobrinhos Daniel e Felipe pelos momentos divertidos e inesquecíveis

Ao meu namorado Eugenio pelo amor, companheirismo e compreensão

DEDICO

A Deus e à Nossa Senhora pela vida e luz na minha vida

Ao meu anjo da guarda por trilhar o meu caminho

A toda minha família pelo apoio e carinho

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

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

Ao Professor Francisco Antonio Monteiro pela orientação, valiosos ensinamentos e pelo grande exemplo de dedicação e profissionalismo.

Aos Professores do Departamento de Ciência do Solo pelos valiosos conhecimentos transmitidos para minha formação.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de estudos concedida, financiamento do projeto e apoio financeiro durante período de Doutorado Sanduíche nos EUA.

À Professora Maria Lucia Silveira, à técnica do laboratório Soil and Water Science Cindy Holley e a todos do IFAS Range Cattle Research and Education Center - University of Florida (EUA) pela acolhida, compreensão e apoio. Agradecimento especial aos companheiros Luisa Melville Paiva e Tibério Saraiva pela amizade, parceria e momentos maravilhosos nos EUA.

A toda a minha família pelo carinho e amor, em especial aos meus pais Valdir e Sueli que emprestaram o carro para a realização de muitas avaliações do experimento, ao meu irmão Alexandre que forneceu sua força física em algumas coletas de raízes e ao meu namorado Eugenio por me dar muito apoio em todo o tempo em que estive nos EUA.

Agradecimento especial à Daniela Oliveira pela amizade e companheirismo durante toda a execução do experimento, à Edna Bonfim-Silva pela idealização do projeto e ajuda fundamental no primeiro ano experimental e ao Daniel Manfredini pela força de vontade na maioria das coletas relacionadas ao sistema radicular.

Aos colegas da salinha de pós-graduação Adriana Artur, Elisângela Dupas, Fabiana Schmidt, Fabiano de Bona, Lucíola Martins, Marcio Megda e Tiago Garcez pela amizade, ajuda, convivência e muitos momentos alegres.

Aos amigos da ESALQ Adilson, Adna, Alessandra, Aline, Brivaldo, Carolina, Flávio, Gabriel, Gean, Getúlio, Gilberto, Gilmar, Glaucia, Haroldo, Hector, Jackson, João Luis, Karina, Magnus, Maísa, Mara, Matheus, Michele, Olímpio, Pablo, Paulo, Raphael,

Raul, Roberta, Rodrigo, Sueli, Suzana e Virgínia pelos momentos de descontração e aprendizado.

Aos estagiários Alexandre, Andrea, Arlete, Caio, Carolina, Celso, Danilo, Dayana, Diego, Douglas, Elisa, Igor, Jaqueline, Juliana, Lucas, Luís, Mariana, Marina, Meire, Paulo, Pedro, Rafael, Renan, Renata, Rodrigo, Soraya e Thaís, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), aos estagiários Junior, Raphael e Rodolfo, da Universidade Estadual do Mato Grosso (Unemat), às estagiárias Larissa e Gianni, da Universidade Estadual de Goiás (UEG), aos estagiários Ana Flávia e Thiago, da Universidade Federal de Tocantins (UFT) e à estagiária Fabiana, da Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), pela enorme colaboração em muitas atividades do projeto.

Às funcionárias do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas (ESALQ/USP) Edinéia Mondoni, Lúcia Forti, Lurdes Gonzáles, Nivanda Ruiz e Sueli Bovi pela ajuda e auxílio nas análises químicas.

Ao funcionário do Departamento de Ciência do Solo (ESALQ/USP) Dorival Grisotto pela grande ajuda em muitas avaliações do experimento.

Ao Sr. Romeu Gomes de Oliveira, proprietário da Agropecuária Rodomeu, pela cessão da área experimental e animais utilizados nas avaliações e aos funcionários da Agropecuária Rodomeu, Carlos, José Carlos e Maria pela atenção e colaboração.

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Degradação de pastagens	15
2.2 Produção de massa de forragem	17
2.3 Índice de área foliar (IAF)	19
2.4 Nitrogênio, enxofre e relação N:S nas plantas	20
2.5 Sistema radicular de gramíneas forrageiras.....	22
2.6 Atributos de fertilidade do solo	24
3 MATERIAL E MÉTODOS	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.1 Produção de massa de forragem	33
4.2 Índice de área foliar (IAF)	37
4.3 Valor SPAD	39
4.4 Nitrogênio nas folhas diagnósticas.....	46
4.5 Enxofre nas folhas diagnósticas.....	52
4.6 Relação N:S nas folhas diagnósticas	59
4.7 Massa seca de raízes.....	66
4.8 Comprimento de raízes	70
4.9 Superfície de raízes.....	77
4.10 Nitrogênio nas raízes.....	82
4.11 Enxofre nas raízes.....	86
4.12 Atributos de fertilidade do solo	88
4.12.1 pH em CaCl ₂	88
4.12.2 Matéria orgânica.....	93
4.12.3 Nitrogênio total	94
4.12.4 Nitrato.....	95

4.12.5 Amônio.....	97
4.12.6 Sulfato.....	99
4.12.7 Bases trocáveis do solo	101
4.12.7.1 Potássio trocável.....	101
4.12.7.2 Cálcio trocável	103
4.12.7.3 Magnésio trocável.....	106
5 CONCLUSÕES.....	111
REFERÊNCIAS	113

RESUMO

Doses de nitrogênio e de enxofre para a recuperação de pastagem com capim-braquiária: atributos de parte aérea, raízes e fertilidade do solo

A adubação tem sido fundamental para a implantação, manutenção e recuperação de pastagens, enquanto o suprimento de enxofre pode estar sendo inadequado para gramíneas que recebem altas doses de nitrogênio. Objetivou-se avaliar os efeitos das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre em pastagem de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) em degradação, quanto aos atributos produtivos, morfológicos, fisiológicos e nutricionais das plantas e de fertilidade em quatro profundidades do solo. O experimento foi desenvolvido em pastagem de capim-braquiária, estabelecida há mais de oito anos em solo classificado como Neossolo Quartzarênico e em degradação. Cinco doses de nitrogênio (0; 150; 300; 450 e 600 kg ha⁻¹ ano⁻¹) e cinco doses de enxofre (0; 15; 30; 45 e 60 kg ha⁻¹ ano⁻¹) foram combinadas em um fatorial 5x5 fracionado, em blocos ao acaso, com três repetições. O nitrogênio e o enxofre foram fornecidos como nitrato de amônio e gesso, respectivamente, e as doses foram parceladas em três vezes no período chuvoso. As avaliações no experimento ocorreram em intervalos predeterminados de 35 dias no período chuvoso e de 56 dias no período seco, em dois anos consecutivos. As amostragens das plantas ocorreram no interior de um retângulo de madeira de 1,00 m x 0,25 m e o corte do capim foi realizado à altura de 5 cm da superfície do solo. As amostras de raízes foram coletadas por meio de trado de 4 cm de diâmetro, nas profundidades de 0-10; 10-20; 20-30 e 30-40 cm do solo. Foram determinadas a massa seca de forragem, massa seca de raízes, comprimento e superfície radicular, concentrações de nitrogênio (N) e de enxofre (S) nas folhas diagnósticas (LR) e nas raízes, relação N:S nas LR, valor SPAD e o índice de área foliar (IAF). As combinações de doses de nitrogênio e de enxofre promoveram a recuperação da produtividade do capim-braquiária no primeiro período chuvoso e no primeiro ano, enquanto a adubação nitrogenada foi responsável pelo aumento da massa de forragem nos dois períodos secos, no segundo período chuvoso e no segundo ano de experimento. As doses de nitrogênio aumentaram o IAF e a concentração de nitrogênio nas LR em todas as avaliações do capim-braquiária. Os valores SPAD aumentaram com as doses de nitrogênio e de enxofre nos dois anos de avaliação da pastagem. A não-aplicação de enxofre na adubação resultou em deficiência desse nutriente na gramínea, mostrada pelas baixas concentrações do nutriente e elevadas relações N:S nas LR. As doses de nitrogênio e de enxofre foram responsáveis por alterações nas raízes, em termos de massa seca, comprimento, superfície e concentração desses dois nutrientes. A aplicação de doses elevadas de nitrogênio proporcionou aumentos nos teores de matéria orgânica, nitrato e amônio no solo, com os teores de amônio sendo mais elevados que os de nitrato, e reduções no pH, teor de nitrogênio total e bases trocáveis do solo. Incrementos nos teores de sulfato, amônio, e potássio e cálcio trocáveis no solo foram obtidos com as doses de enxofre.

Palavras-chave: Adubação de pastagem; *Brachiaria decumbens*; Degradação de pastagem; Gramínea forrageira; Relação N:S

ABSTRACT

Nitrogen and sulfur rates for a Signal grass pasture recovery: forage above-ground and roots, and soil fertility attributes

Fertilizer application has been essential to pastures establishment, maintenance and recovery, whereas sulfur supply may be inadequate for grasses receiving high nitrogen rates. The objectives were to study the effects of combined nitrogen and sulfur rates in a degrading Signal grass (*Brachiaria decumbens*) pasture, by evaluating productive, morphological, physiological, nutritional attributes in plants and on soil fertility attributes at four depths. The experiment was carried out in a degrading Signal grass pasture, which was over eight years established in an Entisol. Five nitrogen rates (0; 150; 300; 450 and 600 kg ha⁻¹ year⁻¹) and five sulfur rates (0; 15; 30; 45 and 60 kg ha⁻¹ year⁻¹) were combined in a 5x5 fractionated factorial in a randomized block design, with three replications. Nitrogen was supplied as ammonium nitrate and sulfur as gypsum, and the rates were split into three times in the rainy season. The evaluations in the field occurred at predetermined intervals of 35 days during the rainy season and 65 days in the dry season, in two consecutive years. Plants sampling were done within a 1.00 m x 0.25 m wood rectangle and the cut height was at 5 cm from the soil surface. Roots were collected with a 4 cm diameter auger, at 0-10; 10-20; 20-30 and 30-40 cm soil depths. Measurements were carried on forage dry mass, roots dry mass, roots length and surface, nitrogen (N) and sulfur (S) concentrations in diagnostic leaves (DL) and roots, N:S ratio in DL, SPAD readings and leaf area index (LAI). Nitrogen and sulfur combinations promoted the recovery in Signal grass productivity in the first rainy season and first year of experimentation, and nitrogen fertilization resulted in increases in the forage dry mass in the two dry periods, in the second rainy season and second year. Nitrogen rates increased the LAI and the nitrogen concentration in DL in all Signal grass evaluations. SPAD values were increased with nitrogen and sulfur rates in the two years of pasture evaluations. Sulfur non-application resulted in sulfur deficiency in the grass, which was demonstrated by both low sulfur concentration and high N:S ratio in DL. Changes in the roots were verified with nitrogen and sulfur applications, and occurred in dry mass, length, area and concentration of these two nutrients. Applications of high nitrogen rates increased organic matter content, nitrate and ammonium concentrations in the soil, and decreased pH, total nitrogen concentration and sum of exchangeable bases in the soil. Concentration of ammonium was higher than nitrate in the soil. Increases in sulfate, ammonium, and exchangeable potassium and calcium were found with increasing sulfur rates.

Keywords: *Brachiaria decumbens*; Forage grass; N:S ratio; Pasture degradation; Pasture fertilization

1 INTRODUÇÃO

As pastagens são a base da exploração pecuária no Brasil, porém parte apreciável das áreas dessas pastagens se encontra degradada ou em degradação. Particularmente, os pastos formados com *Brachiaria decumbens* (capim-braquiária) têm atingido elevado grau de degradação. Esse processo, em muitas situações, está associado ao manejo inadequado e aos baixos teores de nutrientes no solo, de tal forma que a reconstituição da fertilidade do solo passa a ser uma alternativa técnica para a recuperação de pastagens, pelo fato das gramíneas forrageiras serem altamente responsivas às adubações.

A adubação tem sido fundamental para a formação, manutenção e recuperação de pastagens, e a aplicação de nitrogênio tem sido priorizada nos casos de áreas com pastagens degradadas ou em degradação, na maioria das vezes, não avaliando a necessidade de adubação com enxofre ou mesmo a interação desse nutriente com o nitrogênio. Pode-se supor, portanto, que quando se adotam elevadas doses de nitrogênio, o suprimento de enxofre tem sido inadequado em áreas de gramíneas forrageiras.

Nesse contexto, a aplicação conjunta de nitrogênio e enxofre pode ser estratégica para a recuperação da capacidade produtiva das gramíneas forrageiras, pois é sabido que o nitrogênio é o nutriente de maior impacto na produtividade das pastagens de clima tropical e a associação com o enxofre tem maximizado a produção da pastagem. O fornecimento de nutrientes também afeta o crescimento das raízes e sua morfologia, pois o sistema radicular aumenta rapidamente nos locais de maior concentração do fertilizante. A má distribuição das raízes ao longo na profundidade do solo pode não assegurar a persistência da pastagem e, em relação a elas, muito pouco se tem estudado nas pastagens.

Os objetivos foram de avaliar os efeitos das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre na pastagem de capim-braquiária em degradação, verificando-se os atributos morfológicos, fisiológicos e nutricionais que influenciam a produção de massa da gramínea forrageira, destacando o sistema radicular e os atributos de fertilidade nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm do solo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Degradação de pastagens

As pastagens correspondem a um dos maiores e mais importantes ecossistemas do Brasil. A partir de 1970 houve decréscimo nas áreas de pastagens nativas e aumento expressivo nas áreas de pastagens plantadas, formadas predominantemente por gramíneas forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum* (DA SILVA, 2008). No Brasil, existem aproximadamente 180 milhões de hectares com pastagens, dos quais cerca de 100 milhões de hectares são pastagens cultivadas e destas 85% são formadas com capins do gênero *Brachiaria*, com a *Brachiaria decumbens* ocupando mais da metade dessa área (ZIMMER et al., 1998).

As áreas de pastagens ocupadas pelos capins do gênero *Brachiaria* têm crescido nas décadas recentes, mas essas pastagens têm reduzido drasticamente a produção de massa após dois ou três anos de utilização sob pastejo, devido à degradação (LOURENÇO, 1993). Assim, essas pastagens estão perdendo precocemente sua capacidade produtiva e iniciando processo de degradação (SOARES FILHO et al., 1992). A degradação de pastagens ocasiona perda de vigor, produtividade e capacidade natural de cobertura do solo, que resulta em redução de produção e queda na qualidade das plantas forrageiras, necessárias para suportar animais e superar os efeitos indesejáveis de insetos, doenças e plantas invasoras (NASCIMENTO JUNIOR et al., 1994).

Estima-se que a degradação atinja cerca de 50% da área de pastagens formadas na Amazônia (DIAS-FILHO, 2005) e 80% no Brasil Central, representando entre 25 a 40 milhões de hectares (BARCELLOS, 1996). No Estado de São Paulo, as plantas do gênero *Brachiaria* ocupam em torno de 7,6 milhões de hectares e, aproximadamente, 50% desse total já se encontra em algum estágio de degradação (FERREIRA et al., 1999).

O manejo inadequado dos animais, práticas culturais impróprias e falta de reposição de nutrientes são responsáveis pela degradação das pastagens (MACEDO, 2004). Essas práticas inadequadas de manejo podem também resultar em

consequências ambientais graves, como redução da fertilidade do solo, diminuição da eficiência de uso da água, declínio da produção de biomassa vegetal, diminuição da cobertura do solo, decréscimo da atividade biológica do solo, compactação e erosão do solo (SYERS et al., 1996). De acordo com Da Silva e Nascimento Jr. (2007), o manejo inadequado da pastagem é um dos principais fatores que contribuem para torná-la susceptível à degradação.

A redução na disponibilidade de nitrogênio também tem sido apontada como uma das principais causas de degradação das pastagens tropicais (WERNER, 1994), e a constante remoção de forragem, sem a devida reposição dos nutrientes extraídos pelas plantas, acentua os problemas de degradação dos pastos. Neste sentido, cabe destacar que as pastagens de *Brachiaria* têm expressiva demanda pelo nitrogênio, sendo um dos macronutrientes encontrados em mais elevadas concentrações no tecido foliar das gramíneas desse gênero (BODDEY et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2004). Também, a resposta das pastagens à adubação nitrogenada tem confirmado esse fato (SOARES FILHO et al., 1992).

Lemaire e Chapman (1996) evidenciaram que o nitrogênio e outros fatores ambientais influenciam as características morfogênicas (taxas de aparecimento de folhas e de alongamento e senescência foliar), bem como as características estruturais do capim (densidade de perfilhos e tamanho das folhas). Assim, o nitrogênio proporciona alongamento foliar (a folha fica mais extensa com maior fornecimento desse nutriente), aumentando a área foliar, e conseqüentemente, a produtividade do capim é incrementada.

A aplicação conjunta de nitrogênio com o enxofre têm se mostrado eficiente para a maximização da produção de massa seca e área foliar de gramíneas forrageiras, e o equilíbrio entre as quantidades desses nutrientes no solo e na planta proporciona adequados crescimento e estado nutricional do vegetal (MATTOS, 2001; BONFIM-DASILVA, 2005; BATISTA, 2006; DE BONA, 2008). Assim, a adubação de pastagem é de extrema importância para evitar sua degradação, uma vez que, as proporções de nitrogênio e enxofre supridas via adubação visam complementar a quantidade desses nutrientes disponíveis no solo, de forma que as quantidades desses elementos atendam as exigências nutricionais da planta (DJIKSHOORN; van WIJK, 1967).

2.2 Produção de massa de forragem

O incremento da produção de pastagens depende da espécie forrageira, das adubações, do histórico da área, do manejo da pastagem e das características de clima e de solo da região, que interferem tanto na capacidade da planta em responder ao fertilizante como na recuperação e perda do adubo aplicado (MARTHA JÚNIOR et al., 2004). O nitrogênio é o principal nutriente para a manutenção da produtividade das gramíneas forrageiras, pois é integrante das proteínas que participam da síntese dos compostos orgânicos constituintes da estrutura vegetal e, portanto, responsável por características ligadas ao porte da planta, tais como o tamanho das folhas e dos colmos e aparecimento e desenvolvimento dos perfilhos (WERNER, 1986).

A eficiência de uso de fertilizantes nitrogenados parece não ser limitada pelo potencial de resposta das pastagens de gramíneas tropicais ao nitrogênio, pois se tem observado incrementos lineares na produção de massa seca de forragem até a aplicação de nitrogênio na faixa de 400 a 600 kg ha⁻¹ ano⁻¹, conquanto respostas favoráveis ocorram com emprego de doses de nitrogênio superiores a essas (VICENTE-CHANDLER, 1973; CARVALHO et al., 1991; ALVIM et al., 1999; QUEIROZ NETO et al., 2001). Xia e Wan (2008), revisando 304 estudos que avaliaram efeito da adubação nitrogenada na produção de espécies de plantas, constataram que a biomassa das gramíneas aumentou 78,7% mediante o suprimento de nitrogênio via fertilizantes.

Para a *Brachiaria decumbens* cultivada em casa de vegetação, Ferrari Neto et al. (1994) constataram que, em ordem decrescente, nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre foram os nutrientes mais limitantes para a produção de massa seca do capim em estabelecimento. Para o mesmo capim, Sanzonowicz (1986) relatou que o nitrogênio foi o nutriente que mais limitou a produção da pastagem estabelecida há mais de cinco anos. Monteiro et al. (2004) relataram que a produção de pastagens estabelecidas com gramíneas forrageiras dependem primordialmente do fornecimento de nitrogênio.

A importância do fornecimento de enxofre para várias espécies de capins desenvolvidos em solos de diversas regiões do Brasil tem sido bem documentada (MONTEIRO et al., 2004), uma vez que a deficiência de enxofre promove redução no

tamanho e no número de células foliares, o que resulta em diminuição da área foliar (MARSCHNER, 1995), em resultados não favoráveis à produtividade de gramíneas forrageiras. Essa deficiência, além de reduzir a síntese protéica e a produção de massa seca, favorece o acúmulo de compostos nitrogenados não protéicos como nitratos e amidas, diminuindo o valor biológico da proteína bruta da planta (COWLING; BRISTOW, 1979).

Casagrande e Souza (1982), avaliando a resposta de gramíneas forrageiras a quatro doses de enxofre (0; 15; 30 e 60 kg ha⁻¹), observaram que as plantas forrageiras responderam significativamente até 30 kg ha⁻¹, e a *Brachiaria decumbens* foi uma das espécies que mais respondeu ao enxofre, em aumento da produção de massa seca. O fornecimento de enxofre aumentando significativamente a produção de gramíneas forrageiras pode ser também observado nos trabalhos de Werner et al. (1967), Monteiro e Carriel (1987), Hoffmann (1992), Morikawa et al. (1998) e Lima et al. (2000). Torna-se necessário destacar que em qualquer desses casos o efeito benéfico não ocorreu mediante a aplicação exclusiva de enxofre e que é comum essas respostas estarem vinculadas ao suprimento anterior e/ou simultâneo de pelo menos um outro macronutriente (MONTEIRO et al., 2004).

A associação do nitrogênio com o enxofre tem se mostrado efetiva para a maximização da produção de massa seca de pastagens, pois o enxofre está intimamente ligado ao metabolismo do nitrogênio, convertendo-o de nitrogênio não-protéico em proteína (WERNER; MONTEIRO, 1988). O fornecimento combinado de nitrogênio e enxofre via fertilizantes para pastagens formadas por gramíneas pode incrementar a absorção desses nutrientes do solo e aumentar a produção de massa dessas plantas (BROWN et al., 2000; KALMBACHER et al., 2005; MATHOT et al., 2008).

Mattos (2001), ao avaliar pastagem de capim-braquiária em degradação e sua recuperação com suprimento de nitrogênio e enxofre, evidenciou que a interação doses de nitrogênio x doses de enxofre foi significativa na produção de massa seca, no primeiro e segundo cortes do capim. Para o mesmo capim, porém, recebendo calcário, nitrogênio e enxofre, Rodrigues (2002) observou que as doses enxofre mais elevadas associada às maiores doses de nitrogênio aumentou a produção de massa seca da

Brachiaria decumbens. Bonfim-da-Silva (2005), ao estudar nitrogênio e enxofre na recuperação de pastagem de capim-braquiária em degradação, relatou que o fornecimento simultâneo de nitrogênio e enxofre na adubação aumentou a produção de massa seca do capim.

Combinações de doses de nitrogênio e de enxofre também foram avaliadas na implantação de *Brachiaria brizantha* cv. marandu em substituição ao capim-braquiária em degradação por Batista (2006) e De Bona (2008), que verificaram significância para a interação doses de nitrogênio x doses de enxofre na produção de massa seca da parte aérea em dois cortes da gramínea forrageira.

2.3 Índice de área foliar (IAF)

A luz é um recurso crítico para o crescimento das plantas forrageiras, pois sua produção é determinada pela interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (RFA de 400 a 700 nm) e por sua distribuição dentro da comunidade vegetal, o que, por sua vez, depende do índice de área foliar, da área foliar específica, do arranjo das folhas no dossel e do conteúdo de clorofila das folhas (PEARSON; ISON, 1997). O índice de área foliar (IAF) é a razão entre a área de folhas e a área de solo ocupada por essas folhas (WATSON, 1947), e é o principal fator que influencia a interceptação de luz e a dinâmica de avaliação de pastos (CHAPMAN; LEMAIRE, 1993).

A taxa de restauração da superfície foliar depois da desfolha depende da área foliar residual e da sua capacidade fotossintética, da densidade de folhas ainda capazes de se expandir, da quantidade de gemas presente no resíduo (HUMPHREYS, 1991) e da quantidade de reserva que fornecerá energia para novos crescimentos (JACQUES, 1990). Assim, baixas intensidades de desfolha resultam em altas taxas fotossintéticas e, portanto, em altas taxas de crescimento, permitindo maior índice de área foliar e, conseqüentemente, maior interceptação luminosa pela planta. Por outro lado, valores baixos de IAF, decorrentes de desfolhas mais frequentes e intensas, podem causar redução no crescimento da planta devido à inadequada interceptação luminosa (DA SILVA; SBRISSIA, 2000).

O IAF aumenta com a idade da planta, que então se capacita a interceptar maior proporção da luz solar incidente e o aumento contínuo do IAF faz com que as folhas inferiores sejam progressivamente sombreadas, tornando-se menos efetivas no processo fotossintético da comunidade vegetal. Em valor de IAF considerado “ótimo” ocorre a máxima relação fotossíntese/taxa respiratória, ou seja, interceptação de praticamente toda luz incidente com o mínimo de auto-sombreamento, resultando em máxima taxa de crescimento da cultura (BROWN; BLASER, 1968). Como o IAF determina a captura de luz pelo dossel, deriva dela a fotossíntese e, portanto, os processos de crescimento e acúmulo de forragem. Por esse motivo possui importante papel na produtividade da pastagem e é uma variável útil para descrever a interação das plantas forrageiras com o ambiente (BAHMANI, 1999).

O aumento da área foliar da gramínea forrageira com o suprimento dos nutrientes nitrogênio e enxofre na adubação aumenta a eficiência fotossintética da planta (PARSONS et al., 1983), por incrementar a área de interceptação luminosa (AKMAL; JANSSENS, 2004). Pastagens compostas por plantas com áreas foliares maiores tendem a manter maior área residual após o processo de desfolha pelo animal, o que favorece o restabelecimento da pastagem (BROUGHAM, 1956).

2.4 Nitrogênio, enxofre e relação N:S nas plantas

Na parte aérea das gramíneas forrageiras, a concentração de nutrientes é influenciada pelo genótipo, idade, estágio fenológico, ritmo de crescimento, disponibilidade de nutrientes e fração da planta considerada (CORSI; SILVA, 1985). Para a avaliação do estado nutricional das plantas forrageiras, as duas lâminas de folhas recém-expandidas são as folhas diagnósticas de gramíneas forrageiras (MONTEIRO et al., 2004).

A quantidade de nitrogênio requerida para o adequado crescimento de gramíneas forrageiras é consideravelmente maior que aquela demandada por enxofre. Para as gramíneas que se desenvolvem sob altas doses de nitrogênio, o suprimento de enxofre pode estar sendo inadequado. Mattos (2001) ressaltou que quando se incrementa a dose de nitrogênio na adubação é necessário aumentar também a dose

de enxofre, a fim de garantir o equilíbrio desses nutrientes na planta. Porém, plantas forrageiras com deficiência de nitrogênio apresentam baixa resposta à aplicação de enxofre (SANTOS, 1997).

A carência de nitrogênio nas plantas prejudica a síntese de clorofila e proteínas (MARSCHNER, 1995) e a presença de enxofre, primordial para o suprimento de cistina, cisteína e metionina, aumenta a eficiência da transformação do nitrogênio mineral absorvido em proteína vegetal (CRAWFORD et al., 2000). Além disso, o enxofre faz parte da ferredoxina, molécula transferidora de elétrons envolvida na fotossíntese, na fixação de nitrogênio atmosférico e na redução de compostos oxidados, tal como o nitrato (MENGEL; KIRKBY, 2001). A maior parte do nitrogênio e do enxofre nas plantas está na forma de proteínas, e em média, as proteínas contêm 15,5% a 18,0% de nitrogênio e 0,5% a 2,0% de enxofre (MAYNARD et al., 1979).

Para o crescimento ótimo das plantas, a concentração de nitrogênio pode variar de 20 a 50 g kg⁻¹ de tecido vegetal seco, dependendo da espécie da planta, estágio de desenvolvimento e do órgão vegetativo considerado e a concentração de enxofre na massa seca vegetal varia de 1 a 5 g kg⁻¹ (MARSCHNER, 1995).

Para a *Brachiaria decumbens*, Werner et al. (1996) sugeriram faixas de concentrações de nutrientes consideradas adequadas na massa seca da parte da planta que simula a que o animal pasteja (brotação nova e folhas verdes) variando de 12 a 20 g kg⁻¹ para o nitrogênio e de 0,8 a 2,5 g kg⁻¹ para o enxofre. Considerando a concentração desses nutrientes nas folhas diagnósticas do capim-braquiária, Santos (1997) obteve os valores de 14,5 a 22,0 g kg⁻¹ como nível crítico de nitrogênio e de 1,0 g kg⁻¹ de enxofre.

Quando uma dose 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 alteração 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 (WHITEHEAD, 1995). Isso se deve ao fato do total de nitrogênio absorvido depender da disponibilidade de nitrogênio no solo e do crescimento e atividade do sistema radicular. Em condições de baixa disponibilidade de

nitrogênio, a absorção depende, principalmente, da disponibilidade e distribuição do nitrogênio no solo e da distribuição do sistema radicular; enquanto em condições de alta disponibilidade, a absorção depende da taxa de crescimento regulada internamente pela planta (GASTAL; LEMAIRE, 2002).

Dijkshoorn e Lampe (1960) sugeriram que a relação N:S nas plantas é um bom critério de diagnose para determinar a deficiência de enxofre. Essa deficiência de enxofre interfere no aproveitamento de nitrogênio, restringindo o crescimento da planta, devido ao fato de que uma das principais funções do enxofre está relacionada à conversão do nitrogênio não-protéico em protéico (MARSCHNER, 1995). Segundo Tisdale (1977), a maioria das plantas forrageiras apresenta crescimento adequado quando a relação N:S está entre 14:1 e 16:1, enquanto as proporções 10:1 a 12:1 seriam consideradas adequadas aos animais. Segundo Scott et al. (1983), relações N:S em torno de 16,5:1 são adequadas para garantir o desenvolvimento adequado de plantas forrageiras. Porém, Werner e Monteiro (1988) afirmaram que plantas forrageiras, quando supridas adequadamente de nitrogênio e enxofre, mostram relação N:S ao redor de 14:1 e em relações N:S mais largas do que 14:1 deve ocorrer deficiência de enxofre.

2.5 Sistema radicular de gramíneas forrageiras

Apesar da importância que as raízes exercem na produção e na persistência das pastagens, as informações disponíveis na literatura a respeito da produção de biomassa e aspectos morfológicos do sistema radicular são escassas (CECATO et al., 2004). Segundo Scurlock e Hall (1998), menos de 10% dos experimentos com pastagens consideraram o sistema radicular. Os experimentos em que se estudam o sistema radicular de plantas forrageiras, geralmente, só avaliam a massa seca das raízes, por ser mais fácil de ser obtida que outros atributos do sistema radicular, como comprimento, área, diâmetro e distribuição na profundidade do solo (VOORHEES et al., 1980).

A maior parte da massa de raízes de gramíneas (aproximadamente 80%) está concentrada nos primeiros 15 cm de profundidade do solo (BARKER et al., 1988;

BRASIL et al., 2000). Trabalhos como os de Rodrigues e Cádima-Zevallos (1991), Bono et al. (2000) e Rodrigues et al. (2001) relataram que a profundidade do solo de 0 a 20 cm seria a responsável pela maior proporção do volume radicular. Porém, de acordo com Anghinoni e Meures (1999), o sistema radicular das gramíneas forrageiras se concentra na profundidade superficial do solo, especialmente nos 0 a 5 cm.

Para o total de raízes do capim-Tanzânia (*Panicum maximum*) presente em 0 a 40 cm de profundidade do solo, Santos Junior (2005) constatou que cerca de 65% estavam de 0 a 10 cm de profundidade, 21% de 10 a 20 cm, 9% de 20 a 30 cm e 5% de 30 a 40 cm. Sarmiento (2005) verificou que 60% do total das raízes do *Panicum maximum* acesso BRA-006998 estavam na profundidade de 0 a 10 cm e que 85% se encontravam entre 0 e 20 cm.

Porém, a massa seca de raízes não expressa a extensão em que um volume de solo é explorado pelo sistema radicular (VOORHEES et al., 1980). O volume do solo ocupado pelo sistema radicular é determinado de acordo com a exploração do solo pelas plantas, em função do comprimento, área, diâmetro e arranjo espacial de suas raízes. Alto valor do comprimento específico de raízes (divisão do comprimento pela massa seca) tende a se relacionar à maior capacidade de absorção de nutrientes (WRIGHT et al., 1999).

A absorção de nutrientes é dependente do crescimento contínuo das raízes, uma vez que a principal área de absorção corresponde às regiões recém-formadas ou mais jovens das raízes (MENGEL; KIRKBY, 2001). A aquisição de nutrientes pelas plantas no solo ocorre pelo crescimento das raízes e por meio de suas ramificações. Dessa maneira, a quantidade absorvida de nutrientes é determinada pela área superficial total de raízes e pela taxa de absorção por unidade de superfície de raiz (ANGHINONI; MEURER, 1999).

O estado nutricional das plantas tem efeito no crescimento de suas raízes (ESHEL; WAISEL, 1996). Uma planta bem suprida em nitrogênio apresenta sistema radicular maior que uma planta deficiente em nitrogênio, porque os mecanismos envolvidos no crescimento do sistema radicular estão relacionados com o acúmulo de carboidratos (BROUWER, 1962). Segundo Lemaire (1997), as plantas que crescem em condições de baixa disponibilidade de nitrogênio apresentam baixa atividade

meristemática da parte aérea, portanto alocam no sistema radicular a maior proporção de produtos da fotossíntese. Quando há deficiência severa de nitrogênio, a adição desse nutriente deve resultar em acréscimo na massa de raízes, mas quando o fornecimento é muito elevado, a massa de raízes tende a ser reduzida (WHITEHEAD, 1995).

A concentração de nitrogênio é maior nas folhas do que nas raízes, porém, em ambas as partes da planta essa concentração diminui com a maturidade do vegetal, em decorrência do efeito diluição e da translocação do nitrogênio para a inflorescência. Por outro lado, temperaturas baixas tendem a resultar em maior concentração de nitrogênio nas raízes (THEODORIDES; PEARSON, 1981). A quantidade absorvida de nitrogênio também pode ser alterada pela presença de enxofre nas gramíneas forrageiras, ou seja, uma planta deficiente em enxofre pode induzir deficiência de nitrogênio, e em muitos casos, acaba mascarando a deficiência de enxofre (BATISTA; MONTEIRO, 2006).

2.6 Atributos de fertilidade do solo

A exploração pecuária no Brasil é, em geral, conduzida com o uso de baixas quantidades de corretivos e fertilizantes, tendo como resultado sistemas de produção extensivos e de baixa produtividade. Essas estratégias de produção têm proporcionado queda consistente da fertilidade do solo, sendo este um dos fatores importantes associados à degradação das áreas de pastagem (SANTOS JUNIOR, 2005).

Em condições de pastejo, parte dos nutrientes é reciclada no sistema devido à morte de partes de planta, a perdas por pastejo e à incorporação de fezes e urina no solo (MONTEIRO; WERNER, 1997). Porém, a distribuição das dejeções é desuniforme na pastagem e varia em função do sistema de manejo adotado, da lotação e da movimentação de saeiros e cochos dentro do piquete (CANTARUTTI et al., 2001).

Em sistemas de produção intensiva, a manutenção da fertilidade do solo é importante, ou seja, a correção da fertilidade torna-se questão de sobrevivência. Segundo Macedo (1997), os trabalhos de pesquisa com correção da fertilidade do solo

e doses de adubos têm mostrado que a adubação nitrogenada assume papel primordial na expansão dos sistemas intensivos de uso da pastagem.

Com o avanço da frequência de utilização de adubos concentrados em nitrogênio, fósforo e potássio, da correção dos solos em busca de aumento geral de produtividade das plantas, a exaustão do enxofre nativo dos solos vem se manifestando, em praticamente todas as partes do mundo, incluindo o Brasil (YAMADA, 1988).

Aproximadamente 95% do enxofre total de solos bem aerados encontra-se na fração orgânica do solo e os 5% restantes são composto basicamente pelo íon sulfato, estimando-se que o teor de enxofre total no solo esteja entre 0,6 e 1,0 g dm⁻³ (TABATABAI, 2005), e o enxofre na forma de sulfato pode variar entre 0,1 e 0,5 g dm⁻³ (BEATON et al., 1968). Valores mais baixos de sulfato (100 a 200 mg dm⁻³) foram encontrados por Bonfim-da-Silva (2005), Batista (2006) e De Bona (2008), em solos cultivados com gramíneas forrageiras. Para o nitrogênio, na profundidade superficial do solo, o teor total pode variar entre 0,6 a 5,0 g dm⁻³ e os íons nitrato e amônio representam 5% do nitrogênio total do solo (BREMNER, 2002).

Segundo Corsi e Nussio (1993) a intensificação do sistema de pastejo, por meio da adubação nitrogenada, promove o incremento do teor de matéria orgânica dos solos, que por fim contribui para aumento da capacidade de retenção de água e da capacidade de troca de cátions (CTC). O teor de enxofre total no solo se correlaciona com os teores de matéria orgânica, indicando que a maior porção de enxofre aparece ligado ou associado à matéria orgânica (MASCARENHAS, 1977).

Em solos bem aerados, a forma predominante de nitrogênio mineral é o nitrato, pois o processo de nitrificação pela ação das bactérias é muito rápido, mas o ânion nitrato no solo está constantemente sujeito à lixiviação, sendo que seu teor pode mudar rapidamente devido à precipitação pluvial e/ou fatores que afetem a atividade microbiana, como pH, temperatura e concentração de oxigênio (VIEIRA et al., 2008).

Hillesheim e Corsi (1990) relataram que uma importante fonte de matéria orgânica na pastagem é a perda de forragem sob pastejo, que fica depositada sobre o solo e que essa perda é positivamente relacionada à altura das plantas. A grande deposição de material morto e a decomposição dos resíduos vegetais no processo de

mineralização e formação das substâncias húmicas pelos microrganismos podem contribuir para a acidificação do solo (BOHNEN, 2000).

O decréscimo no valor de pH do solo pode ocorrer também devido à nitrificação do amônio proveniente de fertilizantes que contêm ou produzem amônio. Por meio das reações de nitrificação, o amônio é transformado em nitrato e há liberação de íons hidrogênio, o que justifica a diminuição no valor de pH do solo. Além disso, a acidificação do solo pode ocorrer também em consequência da lixiviação das bases que acompanham o nitrato (WHITEHEAD, 1995).

A lixiviação das bases do solo também pode ser observada com a aplicação de gesso em doses elevadas. Isto sugere que o emprego do gesso deve ser efetuado com cautela, para não provocar desequilíbrio de bases na camada arável, por perdas de magnésio e potássio, devido à formação de par iônico com o íon sulfato (SO_4^{2-}) proveniente da dissociação do gesso na solução do solo (QUAGGIO et al., 1982). Ânions como nitrato, cloreto, sulfato são responsáveis pela lixiviação do cálcio no perfil do solo (QUAGGIO, 2000).

Ernani et al. (2006), estudando o movimento descendente de cátions causado pela adição de doses elevadas de gesso em solos altamente intemperizados, observaram a lixiviação de 41 a 94% do cálcio trocável, 13 a 90% do magnésio trocável e 13 a 58% do potássio trocável na média de sete solos, sendo que as perdas maiores ocorreram em solos arenosos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Agropecuária Rodomeu, localizada próxima ao trevo de Ibitiruna, km 184 da Rodovia Piracicaba-Anhenbi, no município de Piracicaba - SP (coordenadas 47°57'56" longitude oeste e 22°46'30" latitude sul, com altitude média de 600 m), no período de outubro de 2005 a outubro de 2007. A área experimental era formada com o capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) estabelecido há mais de oito anos, num solo classificado como Neossolo Quartzarênico (EMBRAPA, 1999) e se encontrava em processo avançado de degradação.

As avaliações na parte aérea e no sistema radicular do capim-braquiária foram realizadas em intervalos pré-determinados de 35 dias no período das águas e de 56 dias nas secas, resultando em primeiro período chuvoso (avaliações em 21/12/05, 25/01/06, 01/03/06, 05/04/06 e 10/05/06), primeiro período seco (avaliações em 05/07/06, 30/08/06 e 25/10/06), segundo período chuvoso (avaliações em 29/11/06, 03/01/07, 07/02/07, 14/03/07 e 18/04/07) e segundo período seco (avaliações em 13/06/07, 08/08/07 e 06/10/07). Os dados climáticos foram obtidos da Estação Meteorológica do Departamento de Ciências Exatas, na ESALQ/USP, situada a 45 km da área experimental (Tabela 1).

Na pastagem em degradação foi construída uma cerca convencional de arame farpado para isolamento da área experimental, não permitindo o acesso de animais e na área interna dessa cerca delimitaram-se as parcelas experimentais com cerca elétrica. A área total do experimento foi de 1800 m² (incluindo os corredores de acesso) e parcelas experimentais tiveram áreas de 5 m x 8 m (Figura 1).

Cinco doses de nitrogênio (0; 150; 300; 450 e 600 kg ha⁻¹ano⁻¹) e cinco doses de enxofre (0; 15; 30; 45 e 60 kg ha⁻¹ ano⁻¹) foram combinadas em estudo de superfície de resposta baseado em desenho experimental composto central modificado de um fatorial 5² fracionado (LITTELL; MOTT, 1975), em blocos ao acaso, com três repetições. De acordo com esse esquema (Figura 2), foram obtidas 13 combinações entre as doses dos nutrientes, em kg ha⁻¹ ano⁻¹: 0-0 (N₀S₀); 0-30 (N₀S₂); 0-60 (N₀S₄); 150-15 (N₁S₁); 150-45 (N₁S₃); 300-0 (N₂S₀); 300-30 (N₂S₂); 300-60 (N₂S₄); 450-15 (N₃S₁); 450-45 (N₃S₃); 600-0 (N₄S₀); 600-30 (N₄S₂) e 600-60 (N₄S₄).

Tabela 1 – Dados climáticos registrados na Estação Meteorológica da ESALQ/USP – Piracicaba/SP, entre outubro de 2005 e outubro de 2007

Ano	Mês	Precipitação (mm)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Média (°C)
2005	Outubro	120,4	30,4	18,3	24,3
2005	Novembro	117,8	29,5	17,1	23,3
2005	Dezembro	127,1	29,5	17,8	23,7
2006	Janeiro	240,5	31,4	19,6	25,5
2006	Fevereiro	176,2	30,3	19,6	25,0
2006	Março	154,0	31,0	19,3	25,2
2006	Abril	33,7	28,3	15,8	22,1
2006	Maio	2,0	25,4	10,7	18,0
2006	Junho	18,6	26,3	10,3	18,3
2006	Julho	32,4	27,1	10,7	18,9
2006	Agosto	17,4	29,4	11,9	20,7
2006	Setembro	54,7	28,3	13,5	20,9
2006	Outubro	80,3	29,6	17,0	23,3
2006	Novembro	200,2	30,4	17,8	24,1
2006	Dezembro	251,7	30,1	19,8	25,0
2007	Janeiro	267,0	29,3	20,1	24,7
2007	Fevereiro	241,9	31,6	19,3	25,5
2007	Março	80,5	32,5	19,0	25,8
2007	Abril	36,8	30,1	17,7	23,9
2007	Maio	58,4	25,9	12,8	19,4
2007	Junho	22,6	27,3	11,3	19,4
2007	Julho	169,3	25,0	10,9	18,0
2007	Agosto	0,0	28,7	11,6	20,2
2007	Setembro	1,9	31,3	15,2	23,2
2007	Outubro	92,6	32,4	17,3	24,9

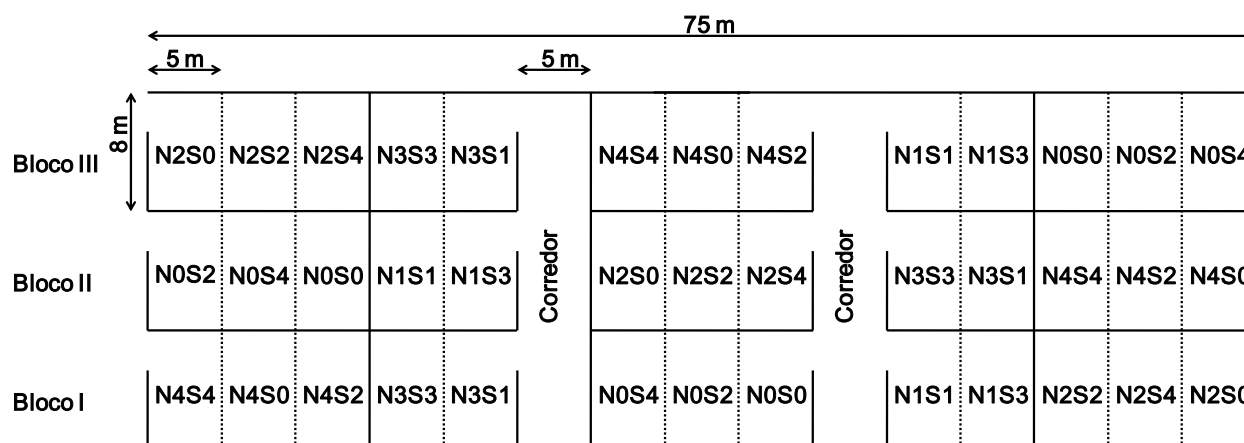


Figura 1 – Croqui das parcelas experimentais, indicando as respectivas combinações entre as doses de nutrientes e os blocos

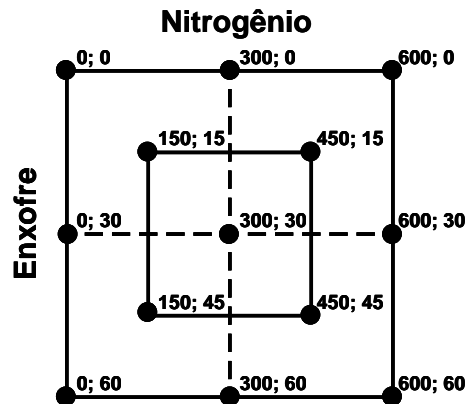


Figura 2 – Desenho experimental do fatorial 5² fracionado, para as doses de nitrogênio e de enxofre, segundo Littell e Mott (1975)

Os atributos de fertilidade do solo, na profundidade 0-20 cm, antes da instalação do experimento, eram: pH (CaCl₂) de 4,1; MO de 9,1 g dm⁻³; P de 5,3 mg dm⁻³; K de 1,8 mmol_c dm⁻³; Ca de 4,0 mmol_c dm⁻³; Mg de 2,3 mmol_c dm⁻³; Al de 4,0 mmol_c dm⁻³; H+Al de 21,5 mmol_c dm⁻³; N total de 0,3 g kg⁻¹; S-SO₄ de 8,4 mg dm⁻³; SB de 8,1 mmol_c dm⁻³; CTC de 29,50 mmol_c dm⁻³ e V de 26,80%. Esta análise química do solo revelou a necessidade de correção da acidez do solo, realizada no dia 20 de outubro de 2005, dois meses antes da primeira avaliação na área experimental. A calagem foi calculada para V₂ de 40 %, de acordo com Werner et al. (1996), resultando na aplicação de calcário de 600 kg ha⁻¹, em superfície, manualmente e a lanço, com a finalidade de manter a integridade do sistema radicular da gramínea forrageira.

As adubações com nitrogênio e enxofre foram parceladas em três vezes no período das águas (17/11/05, 23/12/05 e 28/01/06) sendo 1/3 de cada dose aplicada um mês após a calagem, 1/3 após a primeira avaliação e 1/3 após a segunda avaliação das plantas. No segundo ano experimental, a aplicação de calcário não foi realizada, mas conforme o primeiro ano, as adubações com nitrogênio e enxofre também foram parceladas em três vezes no período das águas (28/10/06, 02/12/06 e 08/01/07). O nitrogênio foi fornecido como nitrato de amônio na formulação 30-00-02 (NPK) e o enxofre como gesso agrícola (15% de enxofre).

A análise química do solo realizada antes da instalação do experimento revelou teores baixos de fósforo e potássio, e também com o objetivo de atender as exigências da gramínea forrageira, o fósforo foi fornecido como superfosfato triplo (P₂O₅ = 30

kg ha⁻¹ ano⁻¹) e o potássio como cloreto de potássio (K₂O = 30 kg ha⁻¹ ano⁻¹). A adubação com micronutrientes foi de 30 kg ha⁻¹ ano⁻¹ da formulação FTE Br 16, conforme recomendação de Monteiro et al. (2004). Essas adubações foram realizadas no mesmo dia em que se aplicou a primeira parcela das adubações com nitrogênio e enxofre, nos dois anos experimentais.

As amostragens da parte aérea ocorreram no interior de um quadro amostrador de madeira de 1,00 m x 0,25 m (0,25 m²) jogado em cada parcela após avaliação visual e buscando representar a parcela, e os cortes das plantas foram realizados à altura de 5 cm da superfície do solo. De acordo com Machado e Kichel (2004), para o capim-braquiária, a altura ideal de pastejo é a de 10 cm do solo, porém foram realizadas amostragens das plantas à altura de 5 cm da superfície do solo devido ao fato das parcelas não adubadas com nitrogênio e enxofre, principalmente no início do experimento, apresentarem altura inferior a 10 cm, o que não possibilitaria a caracterização da parte aérea em todas as parcelas experimentais.

Subamostras (aproximadamente 100 g) das plantas foram separadas nas seguintes partes: a) folhas emergentes (FE): folhas não completamente expandidas, sem lígula visível; b) lâminas de folhas recém-expandidas (LR): lâminas das duas folhas mais novas completamente expandidas, com lígula visível; c) lâminas de folhas maduras (LM): lâminas das demais folhas com lígula visível e d) colmos mais baixos (CB): colmos mais baixos das folhas.

As lâminas de folhas (FE, LR e LM) tiveram a superfície de suas áreas medidas por meio do aparelho integrador de área foliar (LI-COR[®], modelo LI-3100) e, em seguida, os valores foram somados para a obtenção da área foliar total de cada parcela experimental. O índice de área foliar (IAF) pré-pastejo foi determinado pela razão entre a área total das folhas e a área de solo amostrada, em cada avaliação.

Após a medição da área foliar, cada fração da parte aérea foi acondicionada em saco de papel devidamente identificado, colocada em estufa (65°C) até a obtenção de massa seca constante, seguido de pesagem e moagem de todo material. Por meio da soma da massa seca das partes da planta nas subamostras (FE+LR+LM+CB) foram calculadas as produções de massa seca por unidade de área amostrada.

Em cada uma das avaliações da parte aérea do capim-braquiária (cada 35 dias no período chuvoso e cada 56 dias no período seco), nos dois anos experimentais, também foram realizadas as leituras SPAD nas folhas e a amostragem do sistema radicular. Posteriormente, os animais (novilhas cruzadas) foram colocados na área experimental com o intuito de rebaixar o capim à altura próxima dos 10 cm da superfície do solo.

As leituras SPAD (determinação não destrutível que estima o teor de clorofila) foram realizadas com o emprego do Chlorophyll Meter SPAD-502 (Soil-Plant Analysis Development, Minolta Camera Co., Japan), efetuando-as no terço médio da lâmina da segunda folha recém-expandida (no sentido do ápice para a base da planta). Foram realizadas dez leituras por parcela experimental, a partir das quais foram obtidas as médias para cada combinação das doses de nitrogênio e de enxofre.

As amostras de raízes + solo foram coletadas à distância de 10 cm da borda das coroas do capim (PAGOTTO, 2001) por meio de trado de 4 cm de diâmetro, nas profundidades de 0-10; 10-20; 20-30 e 30-40 cm do solo. Em cada profundidade do solo, as raízes foram separadas do solo por meio de peneira de malha de 1,00 mm, o solo foi congelado para posterior análise química e as raízes foram lavadas em água corrente em peneira de malha de 0,25 mm e acondicionadas em copos plásticos contendo água desionizada. Na seqüência, as raízes foram digitalizadas e suas imagens armazenadas em arquivo do programa Adobe Photoshop versão 7.0, para serem submetidas à avaliação da superfície e do comprimento do sistema radicular, com o emprego do aplicativo SIARCS (Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo) versão 3.0 (CRESTANA et al., 1994). Após serem digitalizadas, as amostras de raízes em cada profundidade do solo foram acondicionadas em sacos de papel, colocadas para secar em estufa a 65°C, até massa constante, com posterior pesagem e moagem.

As concentrações de nitrogênio e de enxofre nas LR e nas raízes presentes na profundidade 0-40 cm do solo (as raízes coletadas em cada profundidade avaliada do solo foram unidas para a determinação química) foram determinadas segundo a metodologia descrita por Sarruge e Haag (1974). O nitrogênio foi determinado pelo método analítico semimicro Kjeldahl, após digestão sulfúrica e o enxofre foi

determinado pelo método da turbidimetria do cloreto de bário, após digestão nítricoperclórica. A relação N:S foi calculada dividindo-se os valores das concentrações determinadas.

As avaliações dos atributos de fertilidade foram realizadas nas profundidades 0-10; 10-20; 20-30 e 30-40 cm do solo, no final dos períodos chuvosos e secos, nos dois anos experimentais. As determinações químicas foram: matéria orgânica pelo método colorimétrico (QUAGGIO; RAIJ, 1979), o pH em CaCl_2 e a extração de K, Ca e Mg trocáveis pelo método da resina trocadora de íons (RAIJ et al., 1987). As determinações de nitrogênio total foram realizadas pelo método semimicro Kjeldahl, após a digestão sulfúrica (BREMNER, 2002) e de nitrogênio amoniacal (N-NH_4^+) e nitrogênio nítrico (N-NO_3^-) pelo método colorimétrico, após destilação a vapor (CANTARELA; TRIVELIN, 2001). O enxofre-sulfato (S-SO_4^{2-}) foi extraído pela solução de fosfato de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ e quantificado por turbidimetria do cloreto de bário (CANTARELLA; PROCHNOW, 2001).

As análises químicas da parte aérea, das raízes e do solo foram realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP).

Os resultados foram submetidos às análises estatísticas utilizando-se o aplicativo “Statistical Analysis System” (SAS, 1999) e adotou-se o nível de significância de 5 % em todos os testes estatísticos. A análise de variância (teste F) foi executada inicialmente e, para casos de significância da interação doses de nitrogênio x doses de enxofre, foram efetuadas as análises de regressão polinomial (superfície de resposta) pelo procedimento RSREG e o R^2 dessas regressões foi recalculado. Nos casos de interação não significativa, foi utilizado o procedimento GLM para os estudos de regressão dos efeitos das doses de nitrogênio e/ou de enxofre.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produção de massa de forragem

Na produção de massa de forragem total do capim-braquiária no primeiro período chuvoso foi observada significância para a interação doses de nitrogênio x doses de enxofre e os resultados se ajustaram ao modelo de regressão polinomial. O suprimento da dose de nitrogênio de $450 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ associada às doses mais altas de enxofre ($45 \text{ a } 60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) permitiram alcançar as mais elevadas quantidades massa de forragem (Figura 3a). Foi observada significância para as doses de nitrogênio nos dois períodos secos e no segundo período chuvoso e os resultados se ajustaram à equação de primeiro grau (Figuras 3b e 3d), e à equação de segundo grau (Figura 3c), respectivamente. A produção de forragem variou de 13447 a 25142 (Figura 3a), 5535 a 8516 (Figura 3b), no primeiro período chuvoso e seco, e de 10464 a 19410 (Figura 3c) e 4612 a 7106 kg ha^{-1} (Figura 3d), no segundo período chuvoso e seco respectivamente.

Incrementos lineares na produção de massa seca de forragem com aplicação de nitrogênio (Figuras 3b e 3d) na faixa de $400 \text{ a } 600 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ou superior a essa também foram observados por Vicente-Chandler (1973), Carvalho et al. (1990), Alvim et al. (1999), Queiroz Neto et al. (2001). De acordo com Martha Júnior et al. (2004), a produção de plantas forrageiras, em resposta à adubação nitrogenada é, normalmente, linear dentro de certos limites, que varia principalmente com o potencial genético das espécies e entre cultivares dentro da mesma espécie. As diferenças entre espécies na resposta ao nitrogênio aplicado refletem as características morfológicas, fisiológicas e fenológicas da planta forrageira e o ambiente de produção (como adubação, suprimento de água no solo, intensidade e frequência de desfolha).

A interação doses de nitrogênio x doses de enxofre foi significativa para a produção de massa de forragem no primeiro período experimental (chuvoso + seco) e os resultados se ajustaram ao modelo de regressão polinomial. Pelo estudo da superfície de resposta pode-se constatar que as massas de forragens mais elevadas foram obtidas na dose de nitrogênio de $450 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ associada às doses de

enxofre de 45 a 60 kg ha⁻¹ ano⁻¹, tendo variado seus valores de 18590 a 33924 kg ha⁻¹ (Figura 4a). As doses de nitrogênio foram significativas para a produção de massa de forragem no segundo período avaliado (chuvoso + seco) e os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão, tendo variado seus valores de 14542 a 25679 kg ha⁻¹ (Figura 4b).

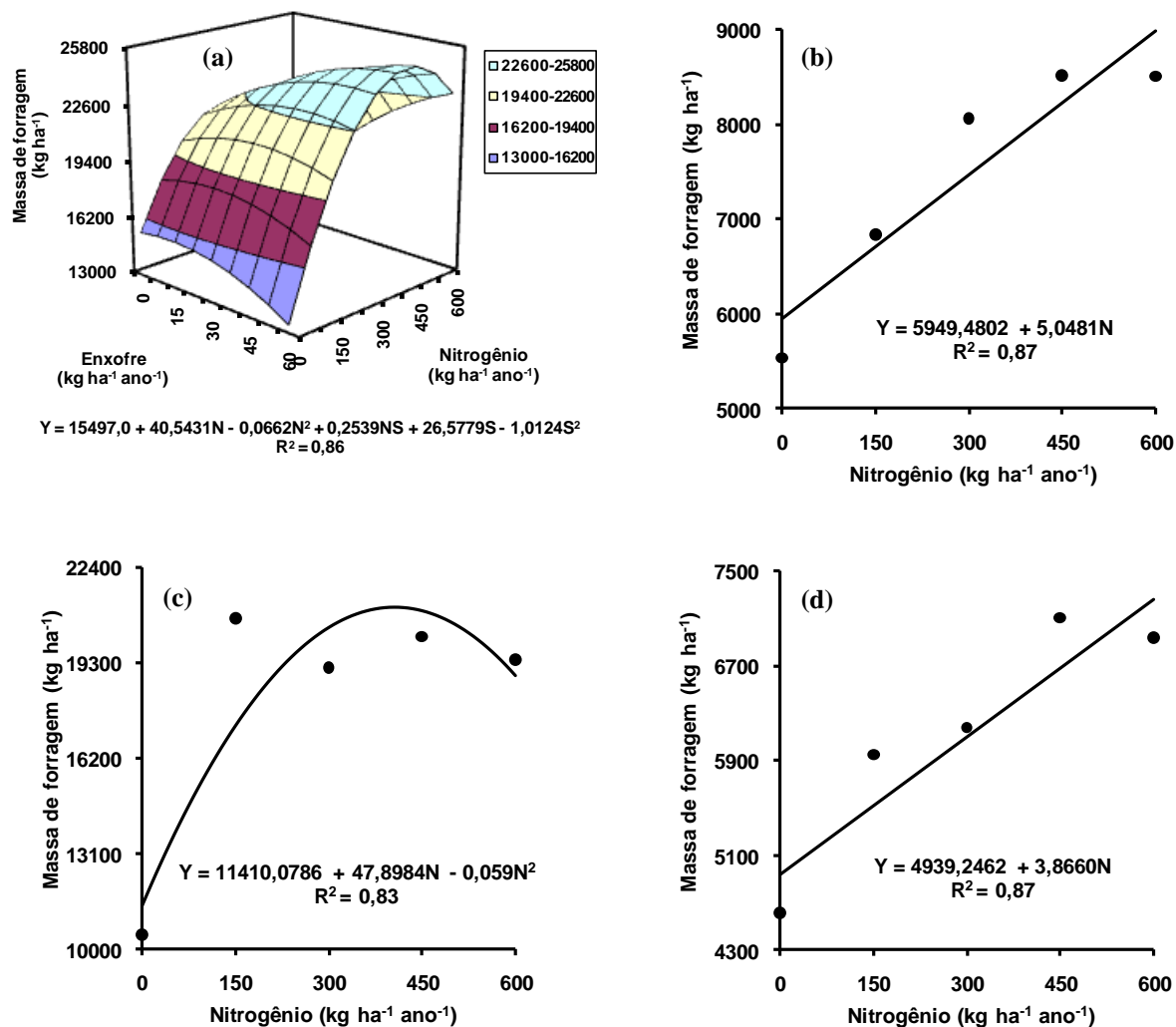


Figura 3 – Produção de massa do capim-braquiária em resposta à adubação combinada de nitrogênio e de enxofre (a) e às doses de nitrogênio (b; c; d) no primeiro período (chuvoso-a e seco-b) e no segundo período (chuvoso-c e seco-d) experimental, respectivamente

Nas Figuras 3a e 4a, observa-se que a associação do nitrogênio com o enxofre maximizou a produção de massa seca das plantas, e somente a não adubação com enxofre resultou nas menores produtividades do capim, quando doses elevadas de

nitrogênio foram fornecidas ($450 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Marschner (1995) afirmou que a deficiência de enxofre não promove aumento no tamanho e no número de células foliares, o que não eleva a área foliar, conseqüentemente, não permite incremento na produtividade de gramíneas forrageiras. Havlin et al. (2005) relataram que o suprimento adequado de enxofre no solo aumenta a resposta da planta forrageira ao nitrogênio aplicado e pode melhorar a sua eficiência de uso.

Esses resultados comprovam a importância do equilíbrio no suprimento de nitrogênio e enxofre para alcançar produtividades elevadas da planta forrageira. Interações doses de nitrogênio x doses de enxofre afetando significativamente a produção de massa seca da parte aérea também foram observadas nos trabalhos de Mattos (2001), Rodrigues (2002) e Bonfim-da-Silva (2005) para o capim-braquiária, e de Batista (2006) e De Bona (2008) para o capim-marandu. Hoffmann (1992) obteve a produção máxima de forragem para o capim-braquiária nas doses isoladas de nitrogênio e de enxofre de 437 e 76 mg kg^{-1} , respectivamente. Para o mesmo capim, Faquin et al. (1995) observaram produções máximas de massa seca nas doses de enxofre de 65 e 100 mg kg^{-1} , respectivamente no primeiro e segundo cortes das plantas.

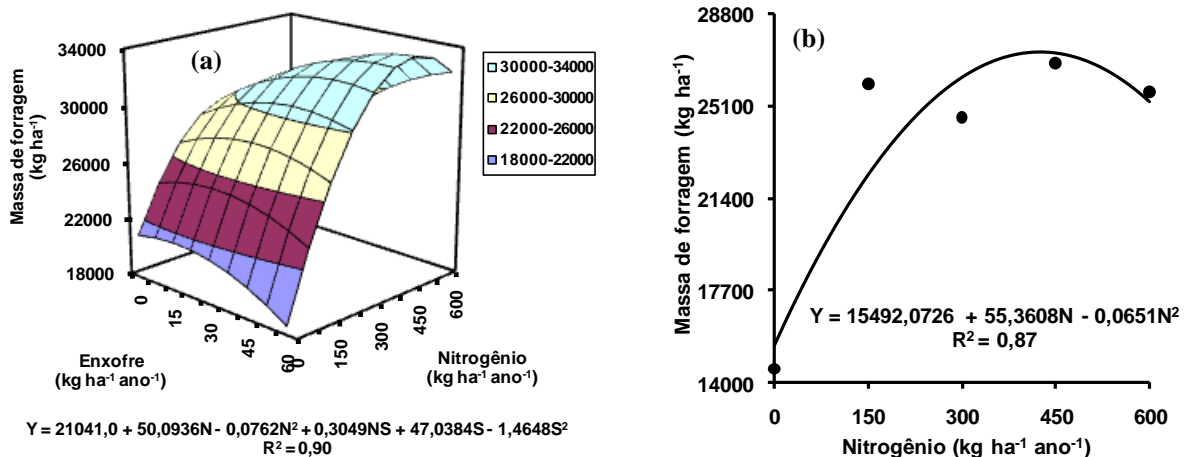


Figura 4 – Produção de massa total do capim-braquiária em resposta à adubação combinada de nitrogênio e de enxofre (a) e às doses de nitrogênio (b) do primeiro (a) e do segundo (b) período experimental, respectivamente

O capim-braquiária, nesse experimento, mostrou ser responsivo à adubação nitrogenada, em termos de produção de massa. Observa-se nas Figuras 3c e 4c, que a produtividade do capim-braquiária foi máxima nas doses de nitrogênio de 406 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e de 426 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente para o segundo período chuvoso e para o segundo ano experimental. Para essa mesma gramínea forrageira, resultados semelhantes foram relatados por Bonfim-da-Silva (2005), que obteve a produção máxima de massa nas doses de nitrogênio de 366 e 288 mg dm⁻³ no segundo e terceiros cortes das plantas, respectivamente. Resposta na produção de massa de gramíneas à aplicação de nitrogênio é uma característica já bem conhecida, pelo fato desse nutriente ser o principal nutriente para a manutenção da produção de massa seca de pastagens, pois é responsável por características ligadas ao porte da planta, tais como o tamanho das folhas, dos colmos e aparecimento e desenvolvimento dos perfilhos (WERNER, 1986).

As Figuras 3 e 4 mostraram que a dose de nitrogênio de 450 kg ha⁻¹ ano⁻¹ foi responsável por expressivos incrementos na produtividade do capim-braquiária. Harding e Grof (1978), em estudo com a *Brachiaria decumbens* adubada com doses de nitrogênio de até 1400 kg ha⁻¹, consideraram a dose de 365 kg ha⁻¹ ano⁻¹ como ótima, para a produção de massa de forragem e o aproveitamento de nitrogênio.

A eficiência de conversão do N-fertilizante (sulfato de amônio) em massa de forragem, nas doses 150, 300, 450 e 600 kg ha⁻¹ ano⁻¹, observada no primeiro ano de experimento foi de 89, 37, 33 e 25 kg de massa seca de forragem por kg de nitrogênio aplicado, respectivamente, e no segundo ano de experimento foi de 81, 28, 26 e 20 kg de massa seca de forragem por kg de nitrogênio aplicado, respectivamente. Segundo Martha Júnior et al. (2004), a eficiência de conversão do N-fertilizante em forragem, em pastagens de gramíneas tropicais, pode atingir valores de até 83 kg de massa seca de forragem por kg de nitrogênio aplicado. Segundo esse autor, na média, a eficiência é de 26 kg de massa seca de forragem por kg de nitrogênio aplicado, sendo as maiores eficiências médias verificadas em doses de até 150 kg ha⁻¹ ano⁻¹.

4.2 Índice de área foliar (IAF)

O índice de área foliar (IAF), na média das avaliações do capim-braquiária nos dois anos de experimento, não apresentou significância para a interação doses de nitrogênio x doses de enxofre no período experimental. Entretanto, verificou-se significância para as doses de nitrogênio no primeiro e segundo períodos chuvoso e seco. Os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão para os dois períodos chuvosos (Figuras 5a e 5c), e ao modelo linear de regressão para os dois períodos secos (Figuras 5b e 5d). Nos dois períodos chuvosos, o IAF (média das cinco avaliações do capim-braquiária) foi máximo nas doses de nitrogênio de 400 (Figura 5a) e 469 kg ha⁻¹ano⁻¹ (Figura 5c), respectivamente. Os valores de IAF variaram de 1,64 a 2,75 no primeiro período chuvoso, de 1,16 a 1,80 no primeiro período seco, de 1,97 a 3,83 no segundo período chuvoso e de 1,11 a 2,10 no segundo período seco.

No primeiro e segundo ano de avaliação experimental, foi observada significância para as doses de nitrogênio no IAF, com ajuste dos resultados ao modelo quadrático de regressão. No primeiro ano de avaliação do capim, o IAF foi máximo nas doses de nitrogênio de 426 kg ha⁻¹ano⁻¹ e os valores de IAF variaram de 1,40 a 2,21 (Figura 6a). No segundo ano de avaliação, o IAF foi máximo nas doses de nitrogênio de 421 kg ha⁻¹ano⁻¹ e os valores de IAF variaram de 1,54 a 2,96 (Figura 6b).

O IAF das avaliações do capim-braquiária, nos dois anos experimentais, foi afetado significativamente somente pelas doses de nitrogênio, e a dose de nitrogênio de 450 kg ha⁻¹ano⁻¹ resultou nos maiores patamares de IAF para esse capim (Figuras 5 e 6). O fato de o nitrogênio aumentar as taxas fotossintéticas e, portanto, elevar as taxas de crescimento das folhas, permitiu elevar o índice de área foliar das plantas, conseqüentemente, as doses elevadas de nitrogênio implicaram em maior ritmo de crescimento das plantas que, por sua vez, resultaram em maior comprimento final de folhas expandidas, ou seja, folhas mais pesadas (GASTAL; NELSON, 1994). A deficiência de nitrogênio diminui progressivamente a taxa fotossintética das folhas, a interceptação da luz, a produção de biomassa, a área foliar e conseqüentemente, o índice de área foliar (NABINGER; MEDEIROS, 1997).

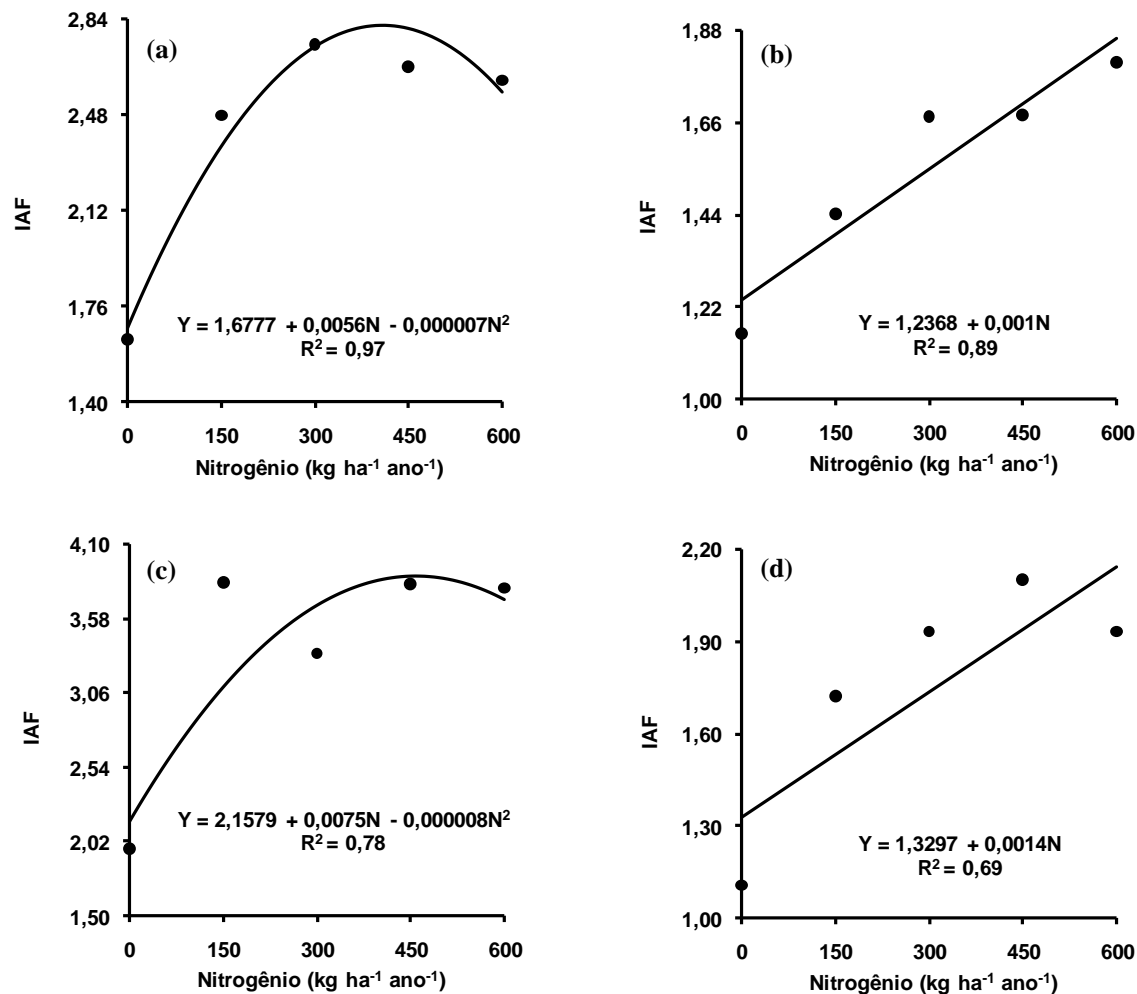


Figura 5 - Índice de área foliar (IAF) do capim-braquiária em resposta às doses de nitrogênio nos primeiros períodos chuvoso (a) e seco (b), e nos segundos períodos chuvoso (c) e seco (d) de avaliação experimental

O aumento do IAF com as doses de nitrogênio é considerado relevante para o aumento da produção de massa da pastagem, pois é um importante parâmetro de análise de crescimento e desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, para a recuperação da gramínea forrageira. Quanto maior for a área foliar, mais elevada será a superfície de exposição das folhas e, portanto, maior a capacidade fotossintética da planta o que, provavelmente, refletirá em incremento na capacidade produtiva da pastagem, como se pode verificar nas Figuras 3 e 4.

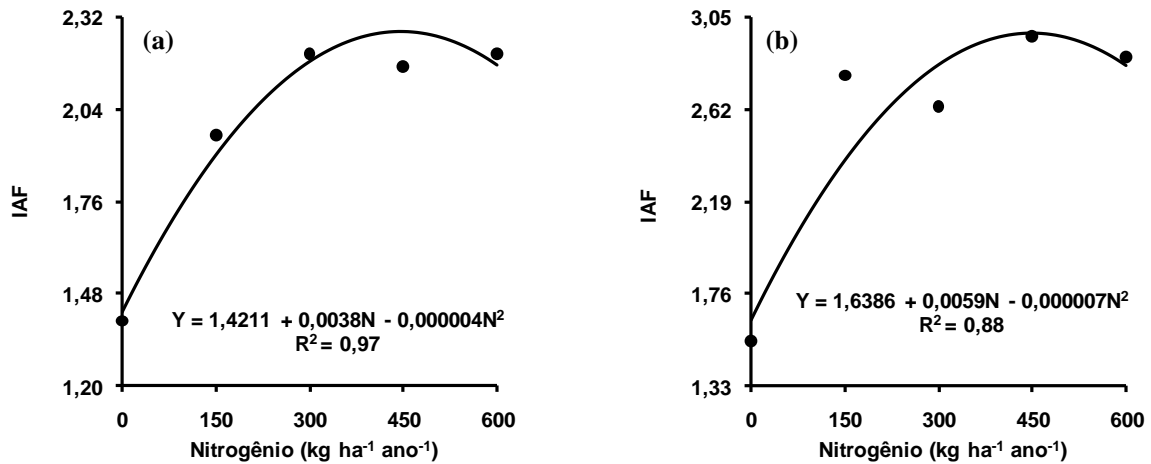


Figura 6 - Índice de área foliar (IAF) do capim-braquiária em resposta às doses de nitrogênio no primeiro (a) e segundo (b) anos de avaliação experimental

Os incrementos no IAF, por meio da adubação nitrogenada, também foram observados por Marcelino et al. (2003), ao estudarem o manejo da adubação nitrogenada e tensões hídricas na produção de massa seca e IAF do capim *Cynodon* spp. cv. Tifton 85, por Santos Junior (2005), ao avaliar o IAF do capim-Tanzânia (*Panicum maximum*) recebendo doses de nitrogênio, fósforo, potássio e calagem nos períodos de verão e outono, e por Mesquita (2008), ao observar a dinâmica do acúmulo de forragem em pastos de capim-marandu submetido à lotação contínua.

Para estudos em casa de vegetação, a *Brachiaria decumbens* e a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivadas em solo e adubadas com doses de nitrogênio e de enxofre, quando submetidas a três cortes das plantas, foi observado efeito significativo das doses de nitrogênio no aumento das áreas foliares em apenas um corte das plantas. Nos demais cortes das plantas, constataram-se significância para a interação doses de nitrogênio x doses de enxofre (MATTOS, 2001; BONFIM-DA-SILVA, 2005; BATISTA, 2006; DE BONA, 2008).

4.3 Valor SPAD

A interação doses de nitrogênio x doses de enxofre foi significativa para os valores SPAD na primeira e terceira avaliações do capim do período chuvoso do

primeiro ano de avaliação da pastagem. Por meio do estudo de superfície de resposta, constatou-se que as doses de nitrogênio de 450 a 600 kg ha⁻¹ano⁻¹ associadas às doses de enxofre de 45 a 60 kg ha⁻¹ano⁻¹ proporcionaram os valores SPAD máximos na primeira e terceira avaliações do capim-braquiária (Figuras 7a e 7c). Os valores de SPAD variaram de 31 a 46 e 31 a 41 na primeira e terceira avaliações do capim-braquiária, respectivamente.

Na segunda, quarta e quinta avaliações do capim, no período chuvoso do primeiro ano de avaliação da gramínea forrageira, observou-se efeito significativo nos valores SPAD apenas para as doses de nitrogênio. Os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão na segunda, quarta e quinta avaliações do capim-braquiária, apresentando os valores máximos de SPAD nas doses de nitrogênio de 427 (Figura 7a), 413 (Figura 7d) e 434 kg ha⁻¹ano⁻¹ (Figura 7e), respectivamente. Os valores de SPAD variaram de 27 a 44, 30 a 44 e 26 a 39 na segunda, quarta e quinta avaliações do capim-braquiária, respectivamente.

No primeiro período seco, a interação doses de nitrogênio x doses de enxofre foi significativa para o valor SPAD na segunda avaliação do capim-braquiária e os resultados se ajustaram ao modelo de regressão polinomial, com o suprimento conjunto de nitrogênio e de enxofre (Figura 8b). Na primeira e terceira avaliações do capim-braquiária, as doses de nitrogênio afetaram significativamente o valor SPAD e os resultados foram representados por equação de primeiro grau (Figuras 8a e 8c). Os valores SPAD variaram de 28 a 39, 27 a 40 e 34 a 43 para a primeira, segunda e terceira avaliações do capim-braquiária, respectivamente.

A interação doses de nitrogênio x doses de enxofre foi significativa para o valor SPAD na primeira e terceira avaliações do capim-braquiária no segundo período chuvoso e os resultados variaram de acordo com a equação de regressão polinomial com o suprimento conjunto de nitrogênio e de enxofre (Figuras 9a e 9c). A análise da superfície de resposta mostrou que as doses mais altas de nitrogênio (300 a 600 kg ha⁻¹ ano⁻¹) associadas às doses mais altas de enxofre (30 a 60 kg ha⁻¹ ano⁻¹) maximizaram o valor SPAD na gramínea forrageira nessas duas avaliações. Os valores SPAD variaram de 34 a 51 e 29 a 45 na primeira e terceira da gramínea forrageira, respectivamente.

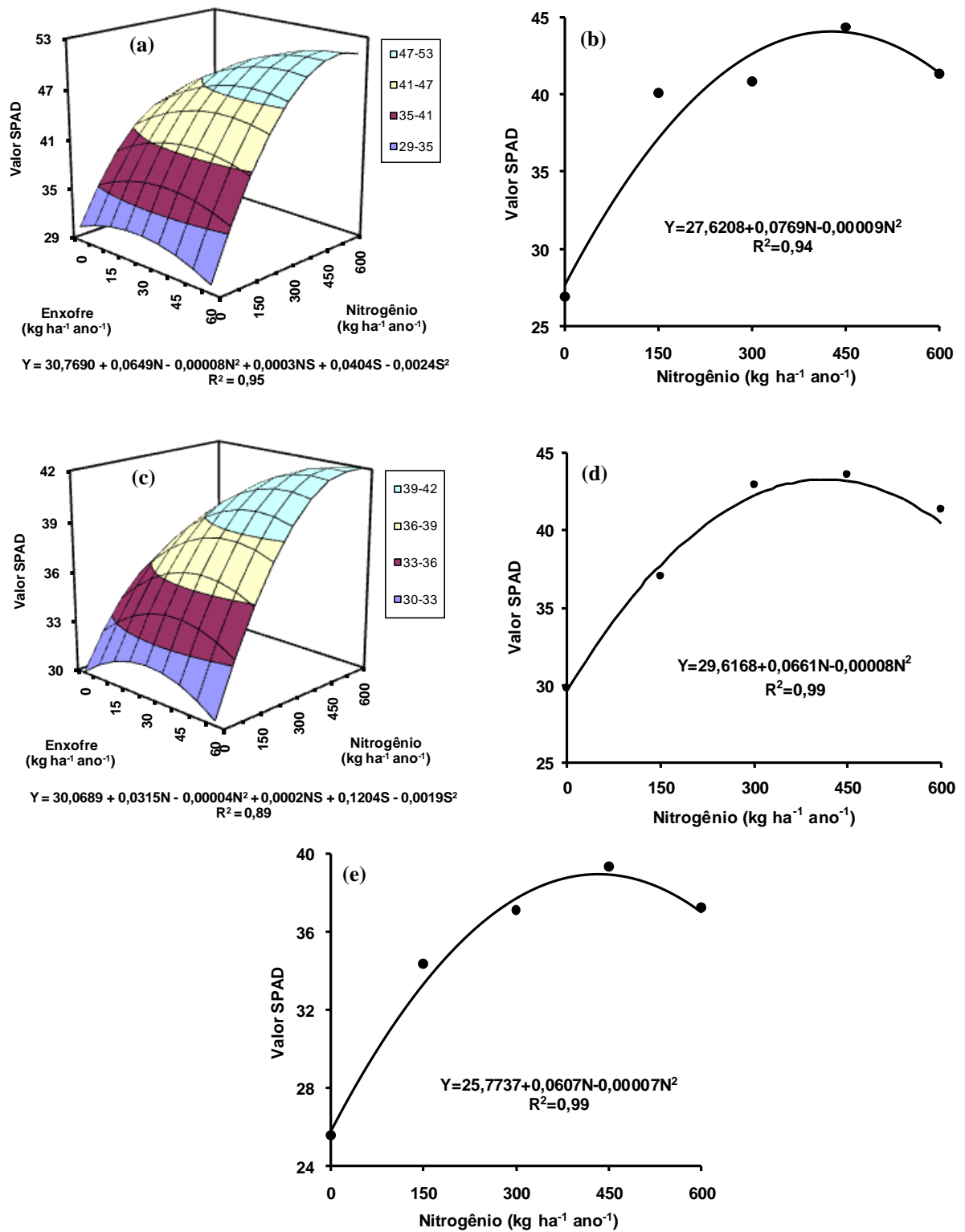


Figura 7 – Valor SPAD na primeira (a), segunda (b), terceira (c) quarta (d) e quinta (e) avaliações do capim-braquiária no primeiro período chuvoso do experimento

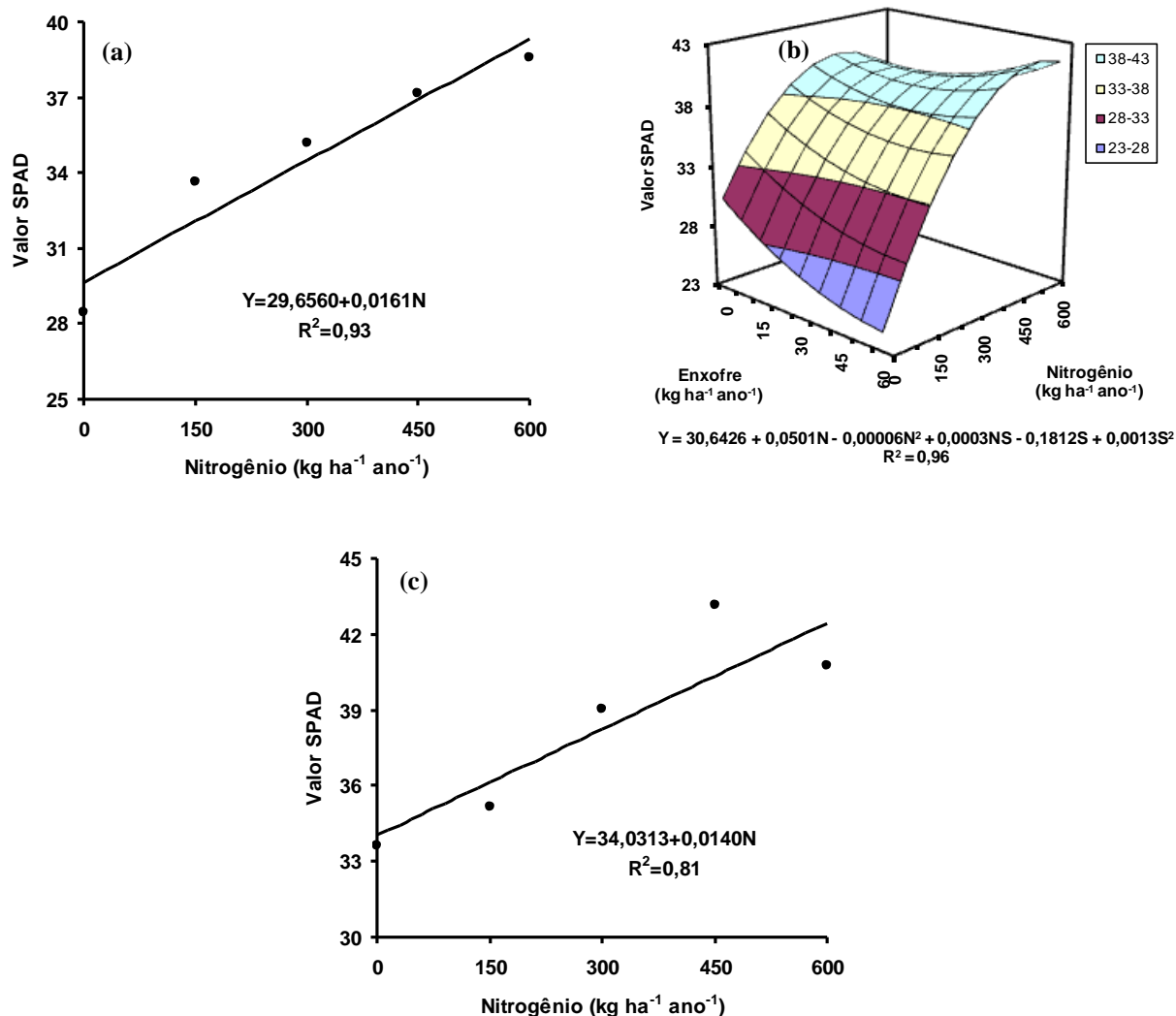


Figura 8 – Valor SPAD na primeira (a), segunda (b) e terceira (c) avaliações do capim-braquiária no primeiro período seco do experimento

Para a segunda e a quarta avaliações das plantas, no segundo período chuvoso, observou-se significância das doses de nitrogênio no valor SPAD. Os resultados desse valor foram representados por equação de segundo grau, mostrando o valor SPAD máximo na dose de nitrogênio de 434 e 575 $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na segunda (Figura 9b) e quarta avaliações (Figura 9d) do capim-braquiária, respectivamente. Os valores SPAD variaram de 33 a 45 e 27 a 40 na segunda e quarta avaliações do capim-braquiária, respectivamente.

As doses de nitrogênio e de enxofre isoladas afetaram significativamente os valores SPAD na quinta avaliação do capim, no segundo período chuvoso. Os

resultados foram representados por equação de segundo grau para as doses de nitrogênio e o valor SPAD foi máximo na dose de nitrogênio de $575 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Para as doses de enxofre, os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão (Figura 9e), tendo variado os valores SPAD de 32 a 42 para essa avaliação do capim.

No segundo período seco do experimento, a interação doses de nitrogênio x doses de enxofre foi significativa para a primeira avaliação do capim-braquiária e os resultados se ajustaram ao modelo polinomial de regressão. A análise da superfície de resposta mostrou que, somente quando as doses mais altas de nitrogênio (300 a $600 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) estavam associadas às doses mais baixas de enxofre (0 a $15 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), afetaram negativamente os valores SPAD da gramínea forrageira (Figura 10a) e que, a dose de nitrogênio de $450 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ combinada com a dose de enxofre de $45 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ resultou nos valores SPAD mais altos.

Significância para as doses de nitrogênio foi observada no valor SPAD na segunda e terceira avaliações do capim-braquiária, no segundo período seco. Os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão, sendo que as doses de nitrogênio de 389 e $442 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ foram responsáveis pelo valor SPAD máximo na segunda (Figura 10b) e terceira (Figura 10c) avaliações da gramínea forrageira, respectivamente. Os valores SPAD variaram de 31 a 37 e 27 a 35 para a segunda e terceira avaliações do capim-braquiária, respectivamente.

Os valores SPAD encontrados nesse experimento, independentemente da avaliação do capim-braquiária e da época da avaliação, mostrou que os resultados foram alterados significativamente principalmente pelas doses de nitrogênio (Figuras 7b, 7d, 7e, 8a, 8c, 9b, 9d, 9e, 10b, 10c). Fato já esperado devido ao valor SPAD estimar indiretamente o teor de clorofila na lâmina foliar, assim como estimar a concentração de nitrogênio na folha, pois o teor de clorofila e a concentração de nitrogênio nas folhas apresentam correlação positiva, além de predizer a necessidade de uso de fertilizantes nitrogenados.

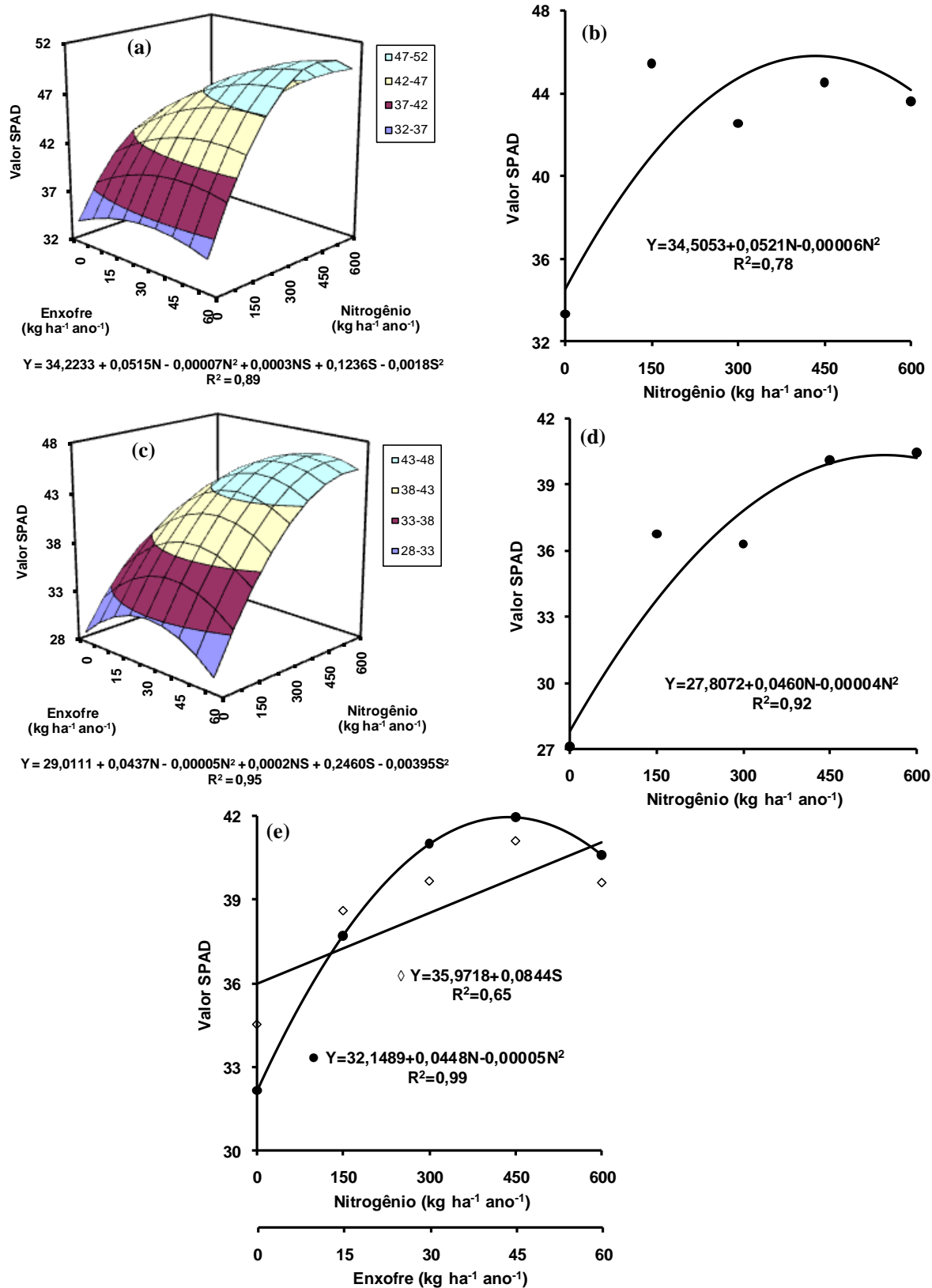


Figura 9 – Valor SPAD na primeira (a), segunda (b), terceira (c) quarta (d) e quinta (e) avaliações do capim-braquiária no segundo período chuvoso

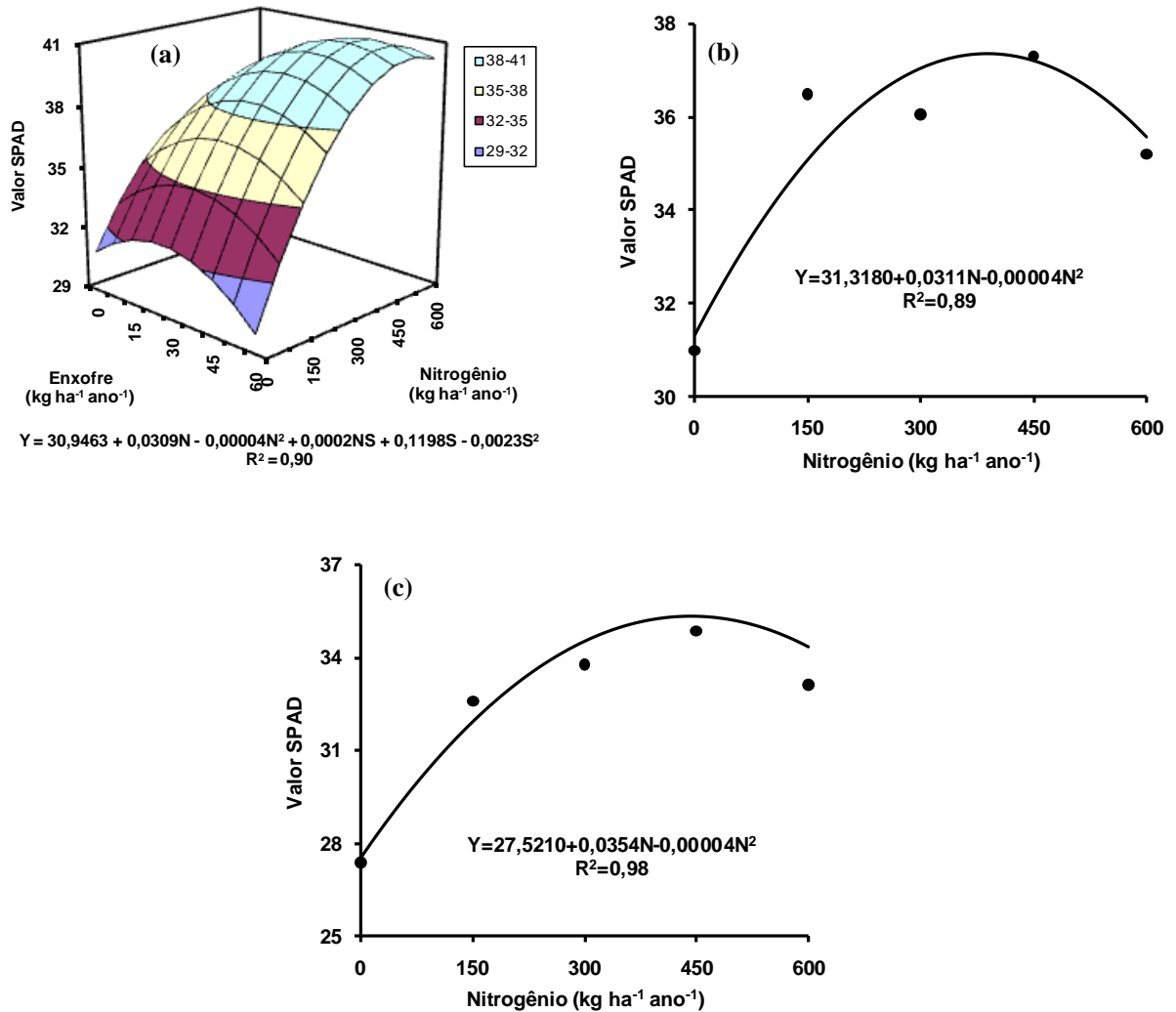


Figura 10 – Valor SPAD na primeira (a), segunda (b) e terceira (c) avaliações do capim-braquiária no segundo período seco

Segundo Schepers et al. (1992) e Costa et al. (2001), o aumento no teor de clorofila com a adubação nitrogenada ocorre até atingir o patamar denominado ponto de maturidade fotossintética, que se mantém invariável, mesmo com mais incremento na concentração de nitrogênio na planta. A clorofila é mais sintetizada com o aumento na disponibilidade de nitrogênio para a planta, resultando em incrementos na intensidade do verde nas folhas (BULLOCK; ANDERSON, 1998).

Nos resultados em que a interação doses de nitrogênio x doses de enxofre foi significativa para os valores SPAD (Figuras 7a, 7c, 8b, 9a, 9c, 10a), pode-se observar que, quando se forneceu elevadas doses de nitrogênio (300 a 600 kg ha⁻¹ ano⁻¹),

apenas a não-aplicação de enxofre restringiu o aumento dos valores SPAD. Plantas deficientes em enxofre diminuem as suas taxas fotossintéticas, portanto, a concentração de clorofila nas folhas decresce drasticamente e os cloroplastos podem sofrer degeneração (FRIEDRICH; SCHRADER, 1978). Segundo Tisdale (1977), o teor de clorofila nas plantas aumenta sob fertilizações sulfuradas.

Para as gramíneas forrageiras adubadas com doses de nitrogênio e de enxofre, os valores SPAD encontrados neste experimento estão de acordo com os resultados de Mattos (2001) e Bonfim-da-Silva (2005) para o capim-braquiária, e de Batista (2006) para o capim-marandu, enfatizando a importância do equilíbrio entre as quantidades desses nutrientes para a adequada nutrição das plantas. A aplicação de nitrogênio sem aplicação de enxofre aumenta mais os valores SPAD do que a aplicação de enxofre sem aplicação de nitrogênio, porém, quando se faz adubações com nitrogênio, o enxofre tem maior efeito no valor SPAD.

4.4 Nitrogênio nas folhas diagnósticas

A interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa para a concentração de nitrogênio nas folhas diagnósticas (LR) do capim-braquiária coletadas nas cinco avaliações das plantas no primeiro período chuvoso da experimentação, mas as doses de nitrogênio tiveram efeito positivo e significativo em todas elas (Figura 11). Para a primeira, terceira, quarta e quinta avaliações do capim nesse período, os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão e a concentração de nitrogênio nas LR do capim-braquiária atingiu valor máximo quando as doses de nitrogênio foram superiores às doses estudadas para a primeira avaliação (Figura 11a), de 462 kg ha⁻¹ ano⁻¹ na terceira avaliação (Figura 11c), 582 kg ha⁻¹ ano⁻¹ na quarta avaliação (Figura 11d) e 406 kg ha⁻¹ ano⁻¹ na quinta coletas do período (Figura 11e). Para a segunda avaliação do capim, os resultados se ajustaram ao modelo de regressão de primeiro grau (Figura 11b). A concentração de nitrogênio nas LR variou de 18 a 36, 15 a 35, 21 a 35, 18 a 30 e 17 a 28 g kg⁻¹ na primeira, segunda, terceira, quarta e quinta avaliações das plantas, respectivamente, no primeiro período chuvoso.

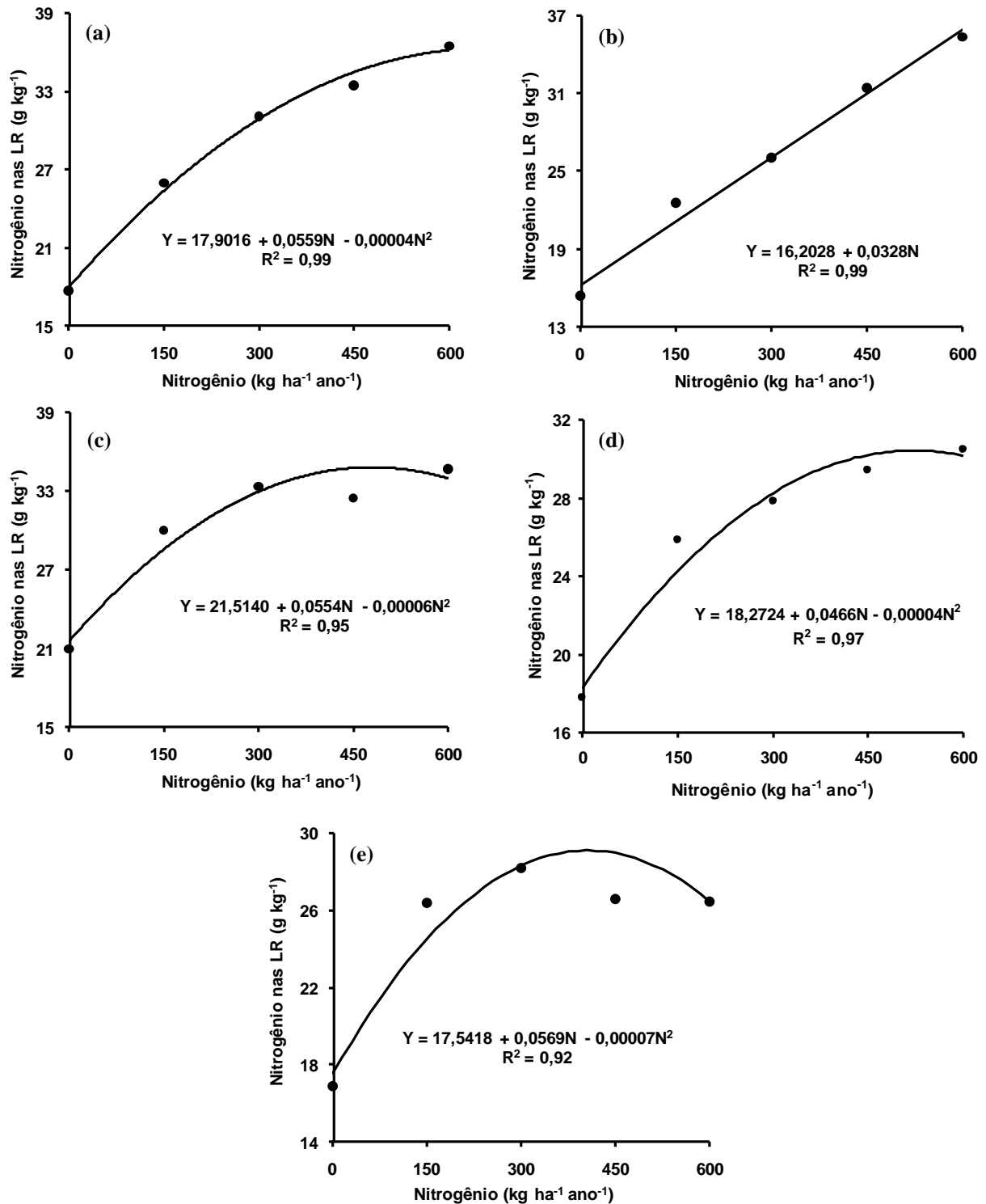


Figura 11 – Concentração de nitrogênio nas folhas diagnósticas (LR) na primeira (a), segunda (b), terceira (c), quarta (d) e quinta (e) avaliações do capim-braquiária no primeiro período chuvoso do experimento

No primeiro período seco, a interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa para a concentração de nitrogênio nas folhas diagnósticas coletadas nas três avaliações do capim-braquiária. As doses de nitrogênio tiveram efeito positivo e significativo, com ajuste dos resultados ao modelo linear de regressão nas três avaliações do capim. A concentração de nitrogênio nas LR do capim-braquiária variou de 22 a 29 g kg⁻¹ na primeira (Figura 12a), de 19 a 26 g kg⁻¹ na segunda (Figura 12b) e de 21 a 29 g kg⁻¹ na terceira avaliação do capim do primeiro período seco (Figura 12c).

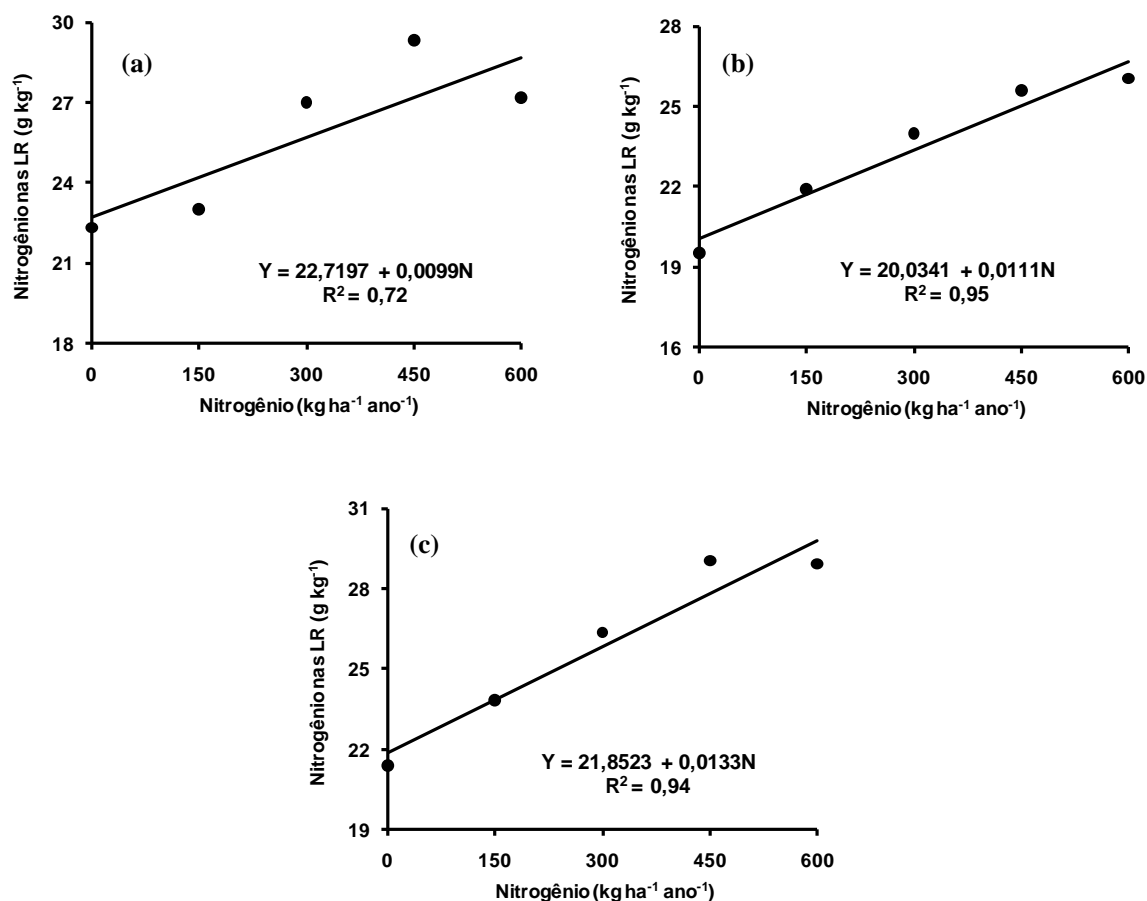


Figura 12 – Concentração de nitrogênio nas folhas diagnósticas (LR) na primeira (a), segunda (b) e terceira (c) avaliações do capim-braquiária no primeiro período seco do experimento

A interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa para a concentração de nitrogênio nas LR das cinco avaliações do capim-braquiária no segundo período chuvoso, enquanto as doses de nitrogênio tiveram efeito positivo e significativo nessas avaliações do capim. Na primeira, segunda, quarta e quinta

avaliações, os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão e a concentração de nitrogênio nas LR do capim-braquiária foi máxima quando as doses de nitrogênio variaram de 472 a 486 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Figuras 13a, 13b, 13d e 13e). Na terceira avaliação do capim, os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão (Figura 13c). A concentração de nitrogênio nas LR variou de 26 a 39, 19 a 31, 22 a 32, 16 a 27 e 18 a 28 g kg⁻¹, na primeira, segunda, terceira, quarta e quinta avaliações da gramínea forrageira, respectivamente, no segundo período chuvoso.

A interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa para a concentração de nitrogênio nas LR do capim-braquiária coletadas nas três avaliações do segundo período seco. As doses de nitrogênio tiveram efeito positivo e significativo na concentração do nutriente nas folhas diagnósticas, com ajuste dos resultados ao modelo quadrático de regressão. A concentração de nitrogênio nas folhas diagnósticas do capim-braquiária atingiu o máximo quando as doses de nitrogênio foram de 582 (Figura 14a) e 477 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Figura 14b) na primeira e segunda avaliações do capim, respectivamente, e superiores às doses de nitrogênio estudadas na terceira avaliação (Figura 14c). A concentração de nitrogênio nas folhas diagnósticas variou de 20 a 29 g kg⁻¹ na primeira, 22 a 31 g kg⁻¹ na segunda e 18 a 27 g kg⁻¹ na terceira avaliações da gramínea forrageira no segundo período seco (Figura 14).

Nas dezesseis avaliações do capim-braquiária, a concentração de nitrogênio nas LR só foi afetada significativamente pelas doses de nitrogênio pelo fato do nitrogênio total absorvido depender da disponibilidade do nitrogênio no solo e do crescimento do sistema radicular (GASTAL; LEMAIRE, 2002). A verificação de que a concentração de nitrogênio nas folhas diagnósticas respondeu somente à aplicação de nitrogênio e não ao enxofre, confirma o encontrado por Mattos (2001), Rodrigues (2002) e Bonfim-da-Silva (2005) para o capim-braquiária.

Para o capim-marandu, Batista (2006) observou efeito significativo das doses de nitrogênio na concentração de nitrogênio nas LR em dois cortes das plantas e interação doses de nitrogênio x doses de enxofre significativa no terceiro corte. De Bona (2008) também encontrou interação doses de nitrogênio x doses de enxofre significativa na concentração de nitrogênio nas LR em dois cortes das plantas e efeito significativo das doses de nitrogênio em apenas um corte das plantas do capim-marandu.

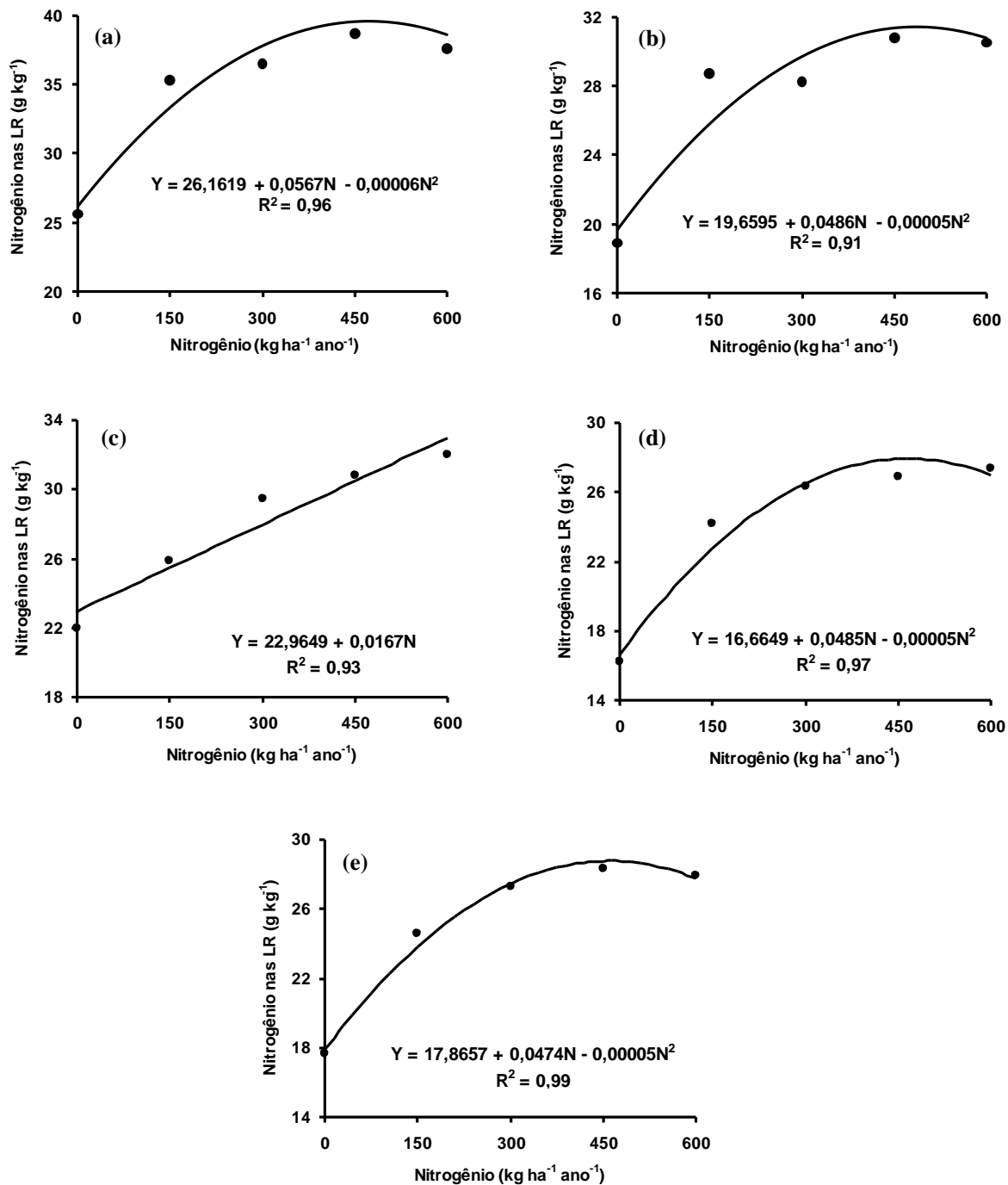


Figura 13 – Concentração de nitrogênio nas folhas diagnósticas (LR) na primeira (a), segunda (b), terceira (c), quarta (d) e quinta (e) avaliações do capim-braquiária no segundo período chuvoso do experimento

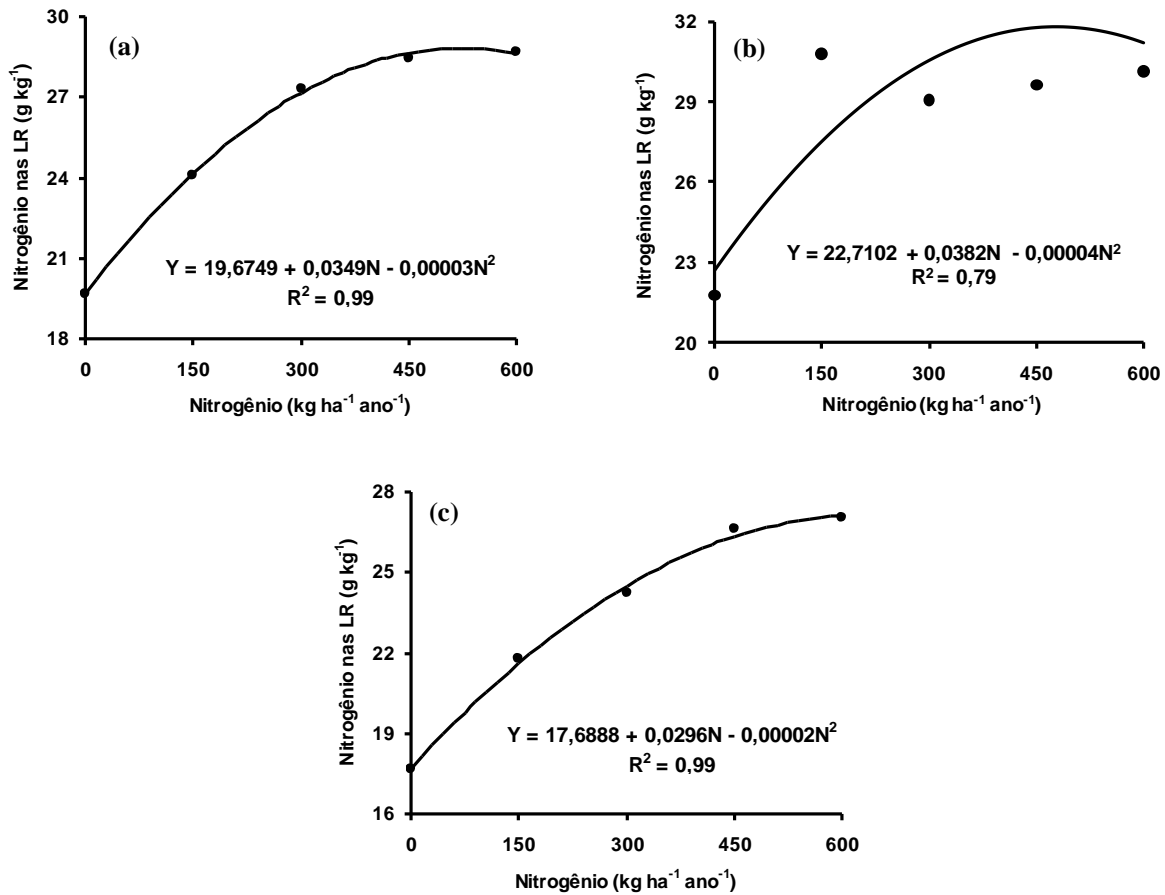


Figura 14 – Concentração de nitrogênio nas folhas diagnósticas (LR) na primeira (a), segunda (b) e terceira (c) avaliações do capim-braquiária no segundo período seco do experimento

A concentração de nitrogênio nas folhas diagnósticas, quando se aplicou o nitrogênio de 150 kg ha⁻¹ ano⁻¹, foi de 26 g kg⁻¹ (médias das dezesseis avaliações), valor que se enquadra acima da faixa de nível crítico de 12 a 20 g kg⁻¹, estabelecida por Santos (1997) para as folhas diagnósticas da *Brachiaria decumbens*. Portanto, o fornecimento de nitrogênio de 150 kg ha⁻¹ ano⁻¹ foi suficiente para evitar que as plantas desse capim ficassem deficientes nesse nutriente (Figuras 11, 12, 13 e 14).

4.5 Enxofre nas folhas diagnósticas

As doses de nitrogênio e de enxofre interagiram significativamente na concentração de enxofre nas folhas diagnósticas (LR) coletadas na segunda avaliação do capim-braquiária, no primeiro período chuvoso. Para a primeira, quarta e quinta avaliações da gramínea forrageira, a concentração de enxofre nas LR apresentou significância para as doses de nitrogênio e de enxofre, separadamente. Na terceira avaliação do capim foi constatada significância apenas para as doses de enxofre.

Na primeira, quarta e quinta avaliações do capim-braquiária no primeiro período chuvoso, os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão para as doses de nitrogênio e a concentração de enxofre foi máxima quando as doses de nitrogênio foram de 412 kg ha⁻¹ ano⁻¹ na primeira avaliação (Figura 15a), 375 kg ha⁻¹ ano⁻¹ na quarta avaliação (Figura 15d) e 500 kg ha⁻¹ ano⁻¹ quinta avaliação do capim (Figura 15e). Para as doses de enxofre, os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão para a primeira e quinta avaliações das plantas, e ao modelo quadrático de regressão na quarta avaliação do capim, quando atingiu seu ponto de máxima na dose de enxofre de 44 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Figura 15 d).

Na segunda avaliação do capim-braquiária no primeiro período chuvoso, a concentração de enxofre nas LR, em função da combinação das doses de nitrogênio e de enxofre, ajustou-se ao modelo de regressão polinomial e a análise da superfície de resposta mostrou que as doses mais altas de nitrogênio (300 a 600 kg ha⁻¹ ano⁻¹) associadas às doses mais altas de enxofre (30 a 60 kg ha⁻¹ ano⁻¹) maximizaram a concentração de enxofre nas folhas diagnósticas do capim (Figura 15b). Os resultados da concentração de enxofre nas folhas diagnósticas amostradas na terceira avaliação das plantas se ajustaram ao modelo quadrático de regressão, em função das doses de enxofre, e a concentração de enxofre nas LR foi máxima na dose de enxofre de 40 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Figura 15c). A concentração de enxofre nas LR variou de 0,90 a 1,70 g kg⁻¹ na primeira, 0,95 a 1,88 g kg⁻¹ na segunda, 1,03 a 1,63 g kg⁻¹ na terceira, 0,81 a 1,69 g kg⁻¹ na quarta e 1,15 a 1,69 g kg⁻¹ na quinta avaliações da gramínea forrageira no primeiro período chuvoso (Figura 15).

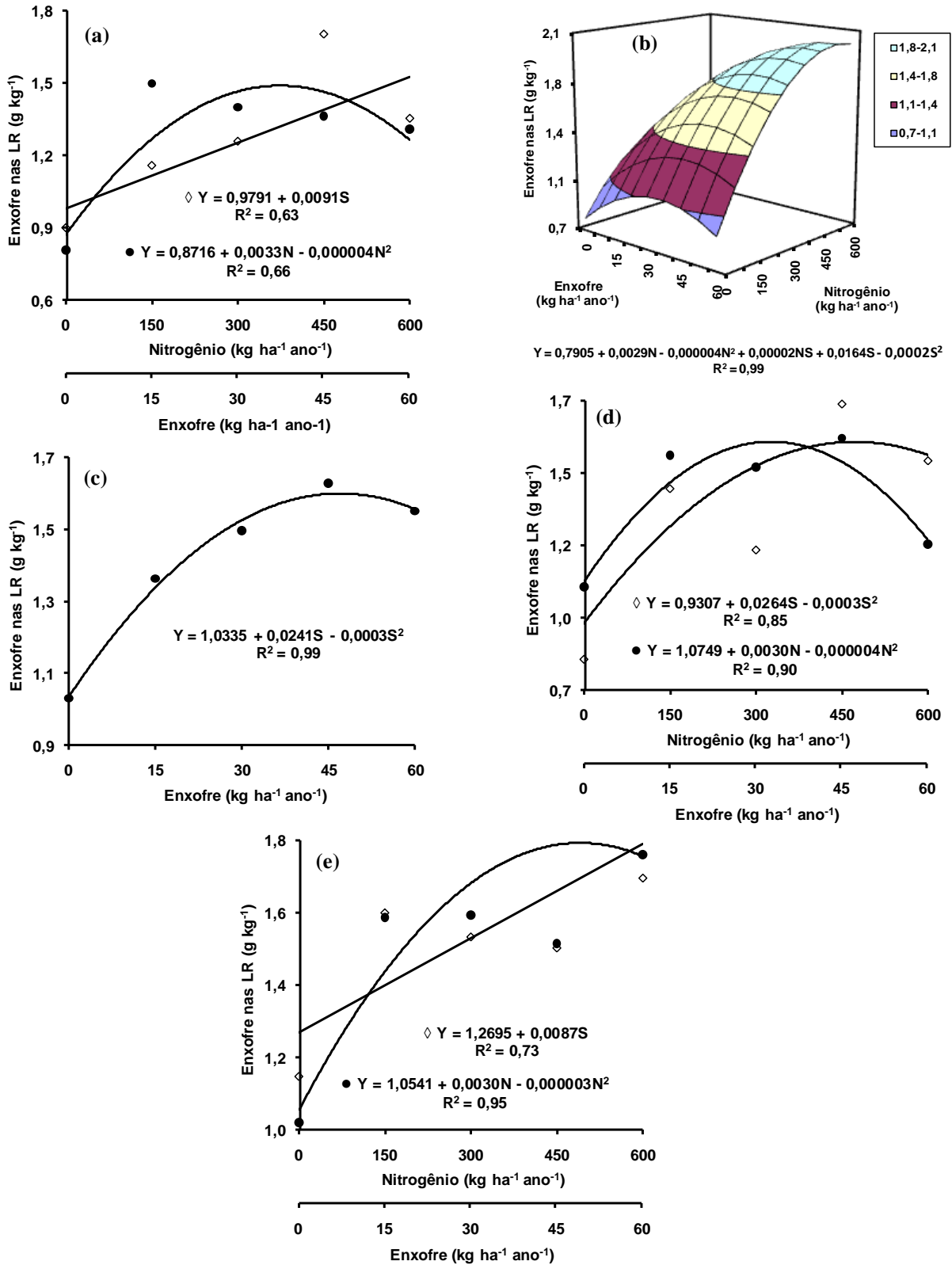


Figura 15 – Concentração de enxofre nas folhas diagnósticas (LR) na primeira (a), segunda (b), terceira (c), quarta (d) e quinta (e) avaliações do capim-braquiária no primeiro período chuvoso do experimento

No primeiro período seco, as doses de nitrogênio e de enxofre não interagiram significativamente para a concentração de enxofre nas LR nas três avaliações do capim-braquiária. Entretanto, foi verificada significância para as doses de nitrogênio e de enxofre, separadamente. Na primeira, segunda e terceira avaliações do capim, os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão, tanto para as doses de nitrogênio quanto para as de enxofre. A concentração de enxofre nas LR variou de 0,98 a 1,32 g kg⁻¹ na primeira (Figura 16a), 0,98 a 1,15 g kg⁻¹ na segunda (Figura 16b) e 0,96 a 1,34 g kg⁻¹ na terceira avaliação do capim (Figura 16c), em função das doses de nitrogênio, e para as doses de enxofre, variou de 1,07 a 1,38 g kg⁻¹ na primeira (Figura 16a), de 0,98 a 1,12 g kg⁻¹ na segunda (Figura 16b) e de 1,01 a 1,30 g kg⁻¹ na terceira coleta da gramínea forrageira (Figura 16c), no primeiro período seco.

No segundo período chuvoso, a primeira avaliação do capim-braquiária apresentou significância apenas para as doses de enxofre em termos da concentração de enxofre nas LR. Os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão, sendo que as concentrações de enxofre nas LR variaram de 1,33 a 2,17 g kg⁻¹ (Figura 17a). Para a segunda e quinta avaliações do capim, a concentração de enxofre apresentou significância para as doses de nitrogênio e de enxofre, separadamente, com os resultados se ajustando ao modelo quadrático de regressão e a concentração de enxofre foi máxima com a dose de nitrogênio de 350 kg ha⁻¹ ano⁻¹ na segunda avaliação (Figura 17b) e 325 kg ha⁻¹ ano⁻¹ na quinta avaliação (Figura 17e). Em função das doses de enxofre, na segunda coleta do capim, os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão, sendo que a concentração de enxofre nas LR foi máxima na dose de enxofre de 39 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e variou de 0,75 a 1,49 g kg⁻¹ (Figura 17b) e na quinta avaliação do capim, os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão, variando a concentração de enxofre nas LR de 0,78 a 1,14 g kg⁻¹ (Figura 17e).

Na terceira e na quarta avaliações do capim-braquiária no segundo período chuvoso, as doses de nitrogênio e de enxofre interagiram significativamente para a concentração de enxofre nas LR e os resultados se ajustaram ao modelo de regressão polinomial. A análise da superfície de resposta mostrou que as doses mais altas de nitrogênio (450 a 600 kg ha⁻¹ ano⁻¹) associadas às doses mais altas de enxofre (45 a 60 kg ha⁻¹ ano⁻¹) maximizaram a concentração de enxofre nas folhas diagnósticas da

gramínea forrageira e os valores variaram de 1,02 a 1,68 g kg⁻¹ (Figura 17c) e 0,78 a 1,29 g kg⁻¹ (Figura 17d), respectivamente para a terceira e quarta avaliações das plantas.

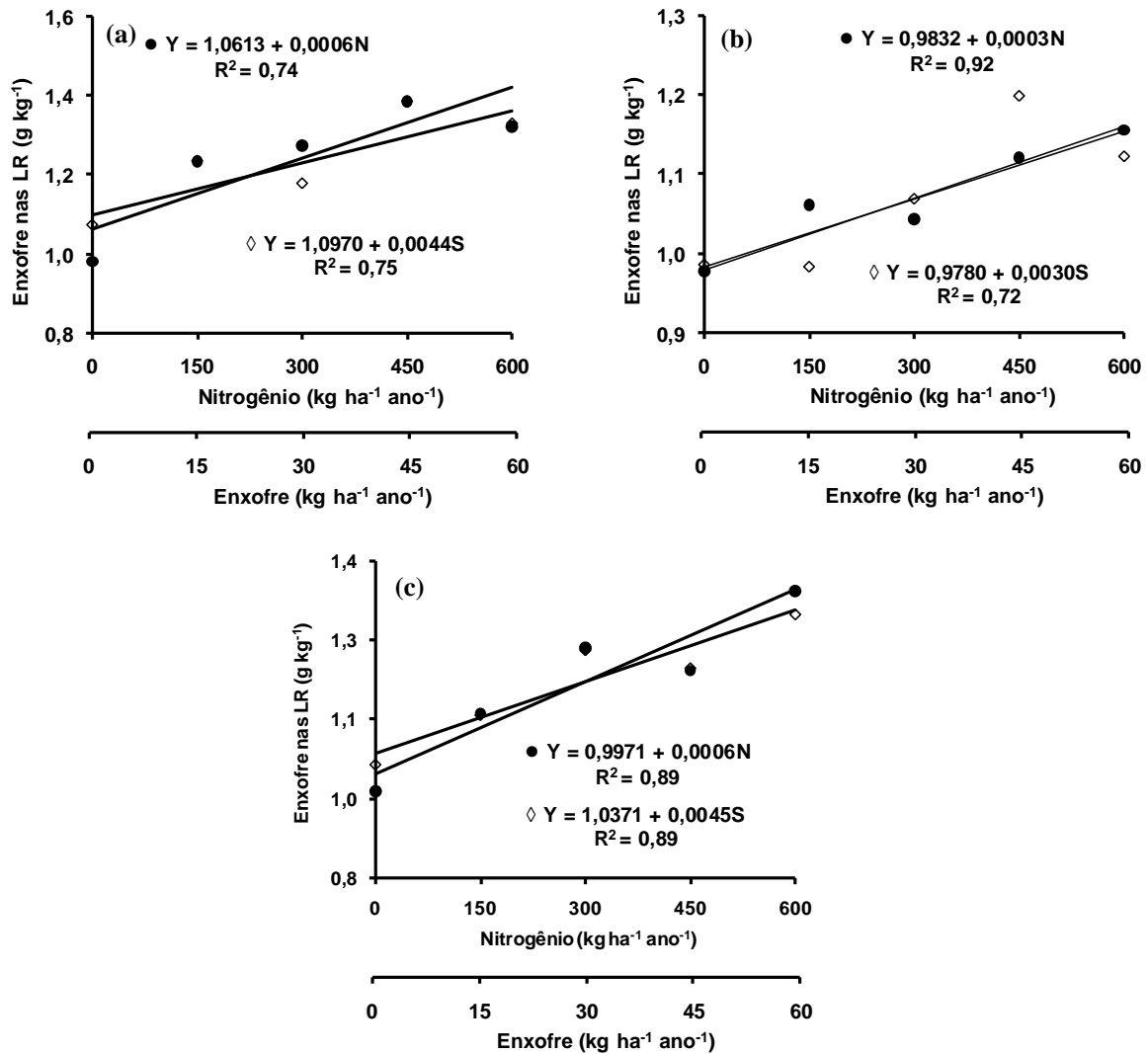


Figura 16 – Concentração de enxofre nas folhas diagnósticas (LR) na primeira (a), segunda (b) e terceira (c) avaliações do capim-braquiária no primeiro período seco do experimento

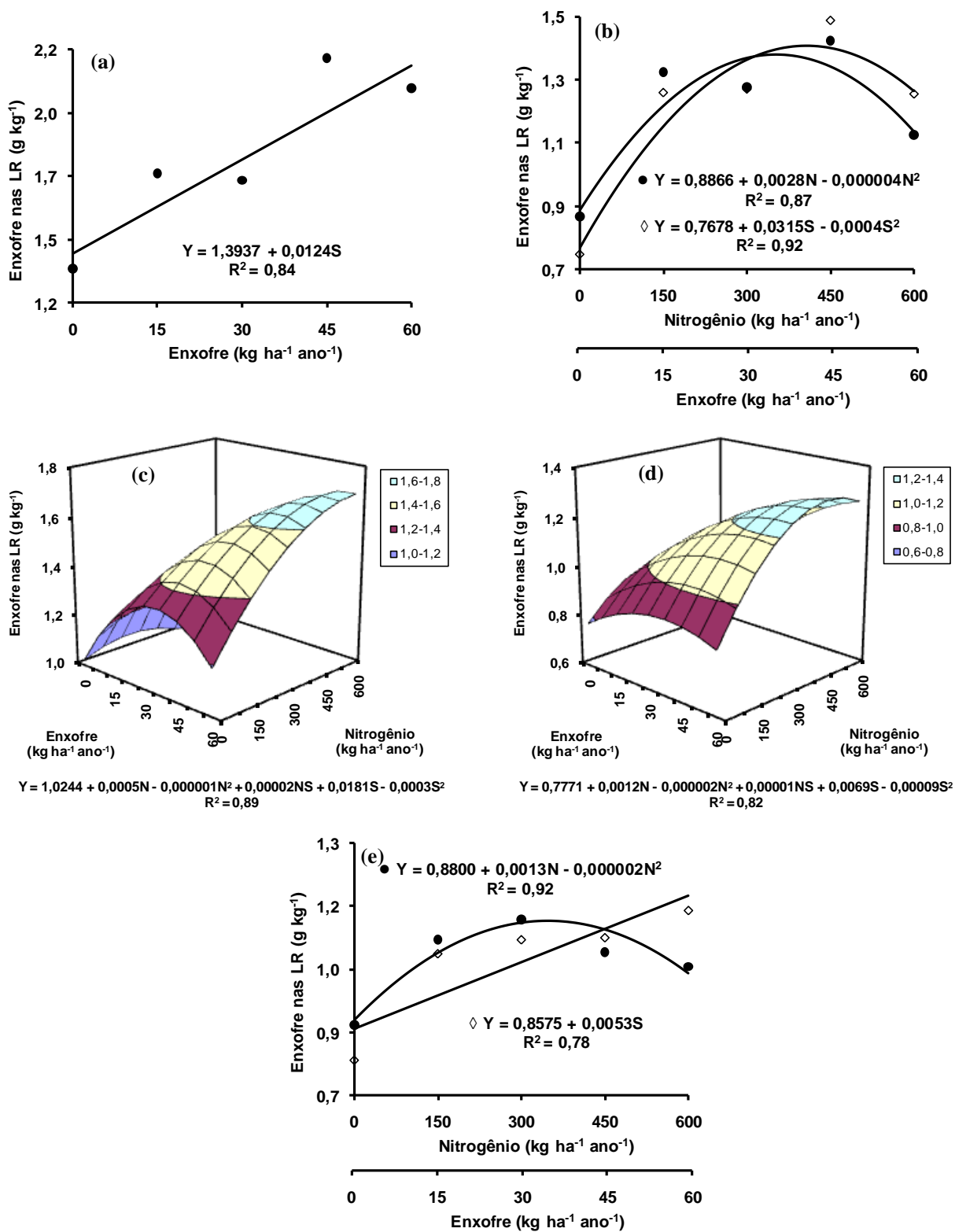


Figura 17 – Concentração de enxofre nas folhas diagnósticas (LR) na primeira (a), segunda (b), terceira (c), quarta (d) e quinta (e) avaliações do capim-braquiária no segundo período chuvoso do experimento

No segundo período seco, para a primeira coleta da gramínea forrageira, a concentração de enxofre apresentou significância apenas para as doses de enxofre. Os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão e a concentração máxima de enxofre nas LR foi atingida quando a dose de enxofre foi de $46 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e os valores variaram de $1,14$ a $1,99 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 18a). Para a segunda avaliação do capim-braquiária, as doses de nitrogênio e de enxofre interagiram significativamente em termos da concentração de enxofre nas folhas diagnósticas (LR) e os resultados se ajustaram ao modelo de regressão polinomial. De acordo com a superfície de resposta, a concentração de enxofre nas LR foi mínima quando na combinação da não-aplicação de nitrogênio e enxofre, tendo variado seus valores de $1,31$ a $2,09 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 18b).

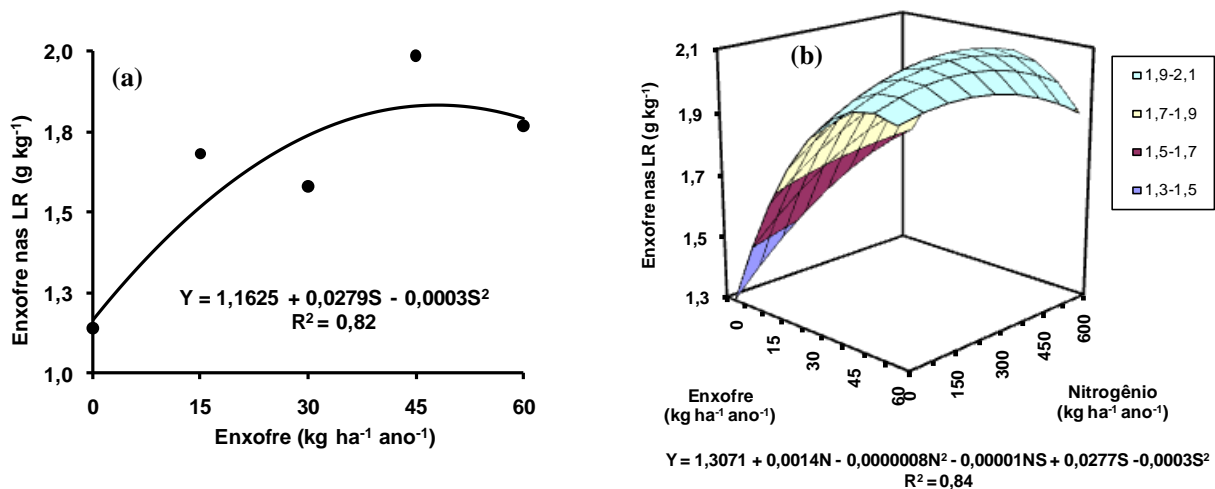


Figura 18 – Concentração de enxofre nas folhas diagnósticas (LR) na primeira (a) e segunda (b) avaliações do capim-braquiária no segundo período seco do experimento

Para a concentração de enxofre nas folhas diagnósticas do capim-braquiária, pode-se observar significância tanto para a interação doses de nitrogênio x doses de enxofre, quanto para as doses de nitrogênio e de enxofre, separadamente (Figuras 15, 16, 17 e 18). De uma forma geral, os incrementos das doses de nitrogênio e das doses de enxofre proporcionaram aumentos da concentração de enxofre nas LR. Portanto, na composição mineral da gramínea, a adição do fertilizante nitrogenado dependeu particularmente do suprimento individual do enxofre, ou seja, o efeito diluição do enxofre na planta, que poderia ocorrer com aumento no crescimento da planta

resultante da ação do nitrogênio, pode ter sido mascarado pelo elevado consumo de enxofre pelas plantas, pois, mesmo na ausência de aplicação de enxofre, a concentração de enxofre foi elevada nas LR.

A concentração de enxofre nas LR encontrada nesse experimento variou de 0,8 a 2,2 g kg⁻¹, para a ausência e aplicação de enxofre de 60 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente (Figuras 15, 16, 17 e 18). Esses valores estariam dentro da faixa de concentração de enxofre na massa seca, considerada adequada (0,8 a 2,5 g kg⁻¹) para a brotação nova e folhas verdes de *Brachiaria decumbens* (WERNER et al., 1996). Porém, considerando o valor de 1,0 g kg⁻¹ como nível crítico de enxofre nas folhas diagnósticas (SANTOS, 1997), nota-se que na não-aplicação de enxofre, as plantas com 0,8 g kg⁻¹ se mostraram deficientes nesse nutriente, uma vez que as concentrações de nutrientes variam com as partes das plantas. Em estudos de doses de nitrogênio e de enxofre na recuperação de pastagem de capim-braquiária, Mattos (2001) observou concentração de enxofre de 2,8 g kg⁻¹ nas LR e Bonfim-da-Silva (2005) constatou que o intervalo dessas concentrações variou de 1,1 a 1,6 e 1,9 a 2,2 g kg⁻¹, respectivamente para o primeiro e segundo cortes das plantas.

A significância da interação doses de nitrogênio x doses de enxofre, em termos da concentração de enxofre nas LR (Figuras 15b, 17c, 17d e 18b), também foi observada por Batista (2006) em três cortes do capim-marandu adubado com doses de nitrogênio e de enxofre. Para o mesmo capim, De Bona (2008) relatou incrementos na concentração de enxofre nas LR, nos três cortes das plantas e em função da adubação com enxofre, e em função da adubação nitrogenada no primeiro corte do capim-marandu, possivelmente devido ao aumento no crescimento radicular em virtude da adição de nitrogênio ao solo e ao enxofre-sulfato prontamente disponível pela mineralização da matéria orgânica como conseqüência do preparo do solo na instalação do experimento.

Goh e Kee (1978), ao avaliarem respostas fisiológicas da planta forrageira ao suprimento de nitrogênio e enxofre, mostraram que a deficiência em qualquer um dos dois nutrientes provoca consumo de luxo do outro. A planta não é capaz de formar proteína com nitrogênio ou enxofre, independentemente, e a absorção de qualquer um

deles em desbalanço faz com que o outro nutriente seja absorvido, mas não aproveitado para a produção da planta.

4.6 Relação N:S nas folhas diagnósticas

As doses de nitrogênio e de enxofre interagiram significativamente para a relação N:S nas folhas diagnósticas (LR) coletadas na primeira e segunda avaliações do capim-braquiária no primeiro período chuvoso. Os resultados se ajustaram ao modelo de regressão polinomial e a análise da superfície de resposta mostrou que as doses mais altas de nitrogênio (450 a 600 kg ha⁻¹ ano⁻¹) associadas às doses mais baixas de enxofre (0 a 15 kg ha⁻¹ ano⁻¹) elevaram a relação N:S nas LR da gramínea forrageira na primeira (Figura 19a) e segunda (Figura 19b) avaliações do capim-braquiária, indicando deficiência de enxofre. Na primeira e segunda avaliações do capim-braquiária, em condições de alto suprimento de nitrogênio (600 kg ha⁻¹ ano⁻¹) e não-aplicação de enxofre foram observadas as relações N:S máximas de 40:1 e 31:1, respectivamente, indicando deficiência de enxofre pela não-aplicação desse nutriente na pastagem. Na não-aplicação de nitrogênio, as relações N:S mínimas foram de 17:1 na primeira e 13:1 na segunda avaliação do capim e pode ser verificado que, para a não-aplicação do nitrogênio, à medida em que se elevaram as doses de enxofre os valores da relação N:S apresentaram variação insignificante, mostrando que plantas deficientes em nitrogênio não respondem à adubação de enxofre (Figuras 19a e 19b).

Na terceira coleta da gramínea forrageira no primeiro período chuvoso, a relação N:S apresentou significância para as doses de nitrogênio e de enxofre, separadamente e os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão. As folhas diagnósticas nessa avaliação das plantas mostraram a relação N:S variando de 17:1 a 27:1 para as doses de nitrogênio e 30:1 a 19:1 para as doses de enxofre (Figura 19c). Na quarta avaliação do capim, a relação N:S também apresentou significância para as doses de nitrogênio e de enxofre, separadamente, porém os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão para as doses de nitrogênio e ao modelo quadrático de regressão para as doses de enxofre. As folhas diagnósticas das plantas mostraram a relação N:S variando de 18:1 a 26:1 para as doses de nitrogênio, e para as doses de enxofre, a relação N:S variou de 31:1 a 16:1 e foi máxima quando se forneceu a dose de enxofre

de 48 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Figura 19d). Na quinta avaliação do capim-braquiária, a relação N:S nas LR apresentou significância apenas para as doses de enxofre, com os resultados se ajustando ao modelo linear de regressão e a relação N:S nas folhas diagnósticas das plantas variou de 21:1 a 14:1 para as doses de enxofre (Figura 19e).

No primeiro período seco, a interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa para a relação N:S nas folhas diagnósticas (LR) coletadas nas três avaliações do capim-braquiária. Foi verificado que a relação N:S nas LR apresentou significância para as doses de enxofre nas três avaliações do capim e os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão. A relação N:S nas LR do capim-braquiária variou de 27:1 a 18:1 na primeira avaliação (Figura 20a) e de 25:1 a 20:1 tanto para a segunda quanto para a terceira avaliação da gramínea forrageira (Figuras 20b e 20c), em função das doses de enxofre.

No segundo período chuvoso, por ocasião da primeira coleta do capim-braquiária constatou-se significância para as doses de enxofre, com os resultados se ajustando ao modelo linear de regressão e tendo a relação N:S nas LR variado de 25:1 a 17:1 (Figura 21a). Na segunda, terceira e quarta avaliações do capim, as doses de nitrogênio e de enxofre interagiram significativamente para a relação N:S nas LR e os resultados se ajustaram ao modelo de regressão polinomial. A análise da superfície de resposta mostrou que as mais altas doses de nitrogênio (450 a 600 kg ha⁻¹ ano⁻¹) associadas à ausência de enxofre elevaram a relação N:S nas folhas diagnósticas da gramínea forrageira na segunda (Figura 21b) e terceira avaliações do capim-braquiária (Figura 21c). Para a quarta avaliação (Figura 21d), a análise de variância mostrou que as relações N:S mais altas, nas folhas diagnósticas da gramínea forrageira, foram atingidas quando as doses mais altas de nitrogênio (450 a 600 kg ha⁻¹ ano⁻¹) foram associadas às doses mais baixas de enxofre (0 a 15 kg ha⁻¹ ano⁻¹).

Na quinta avaliação do capim-braquiária no segundo período chuvoso, observou-se efeito significativo da relação N:S nas LR para as doses de nitrogênio e para as doses de enxofre, separadamente, com ajuste dos resultados ao modelo linear de regressão. As folhas diagnósticas mostraram que, a relação N:S variou de 21:1 a 29:1 para as doses de nitrogênio e de 31:1 a 21:1 para as doses de enxofre (Figura 21e).

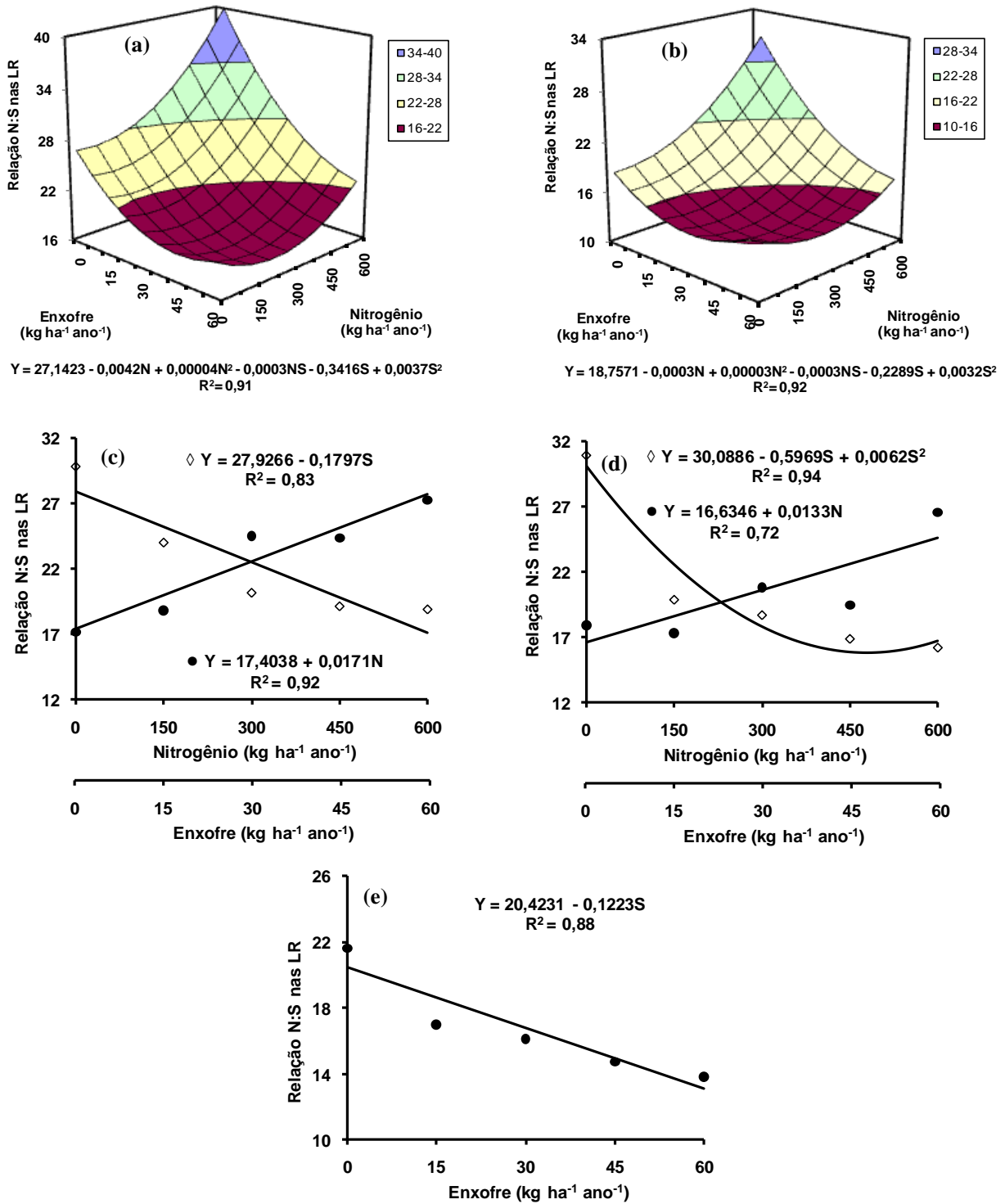


Figura 19 – Relação N:S nas folhas diagnósticas (LR) na primeira (a), segunda (b), terceira (c), quarta (d) e quinta (e) avaliações do capim-braquiária no primeiro período chuvoso do experimento

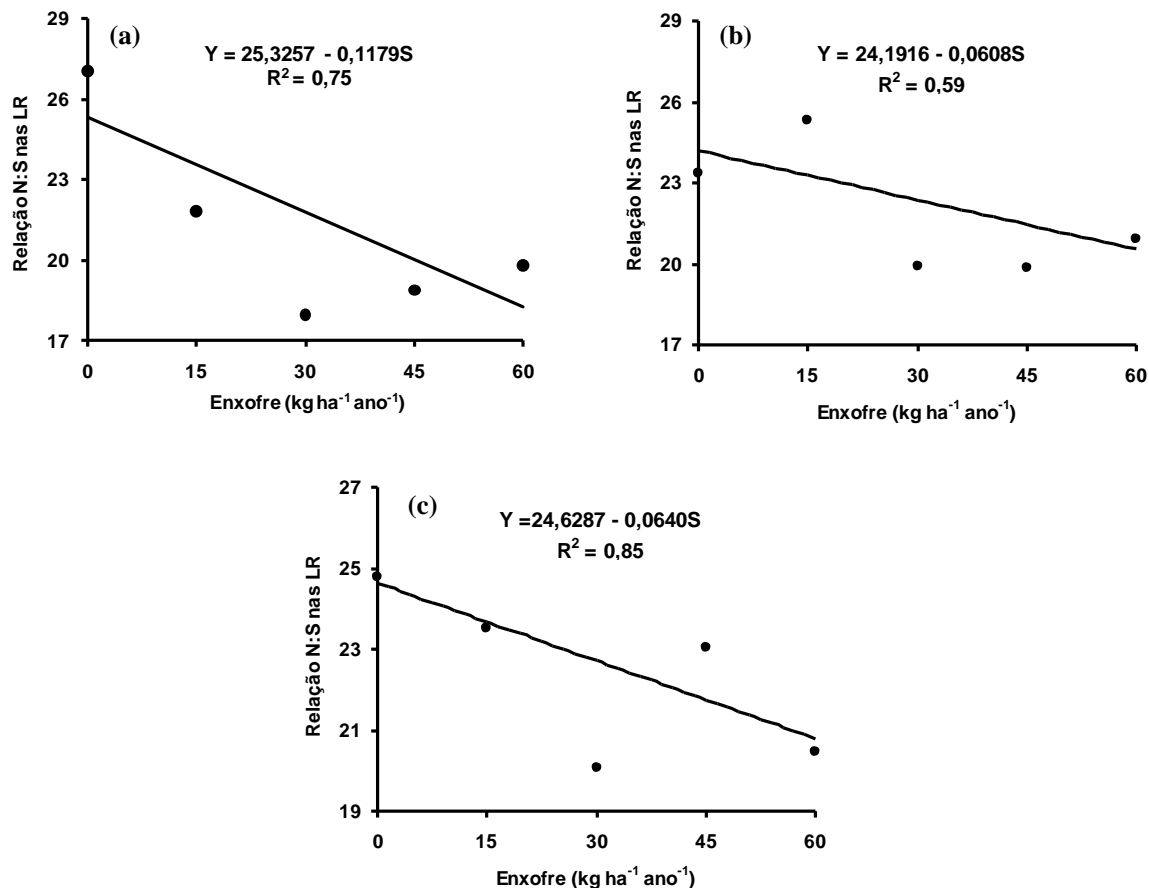


Figura 20 – Relação N:S nas folhas diagnósticas (LR) na primeira (a), segunda (b) e terceira (c) avaliações do capim-braquiária no primeiro período seco do experimento

No segundo período seco, a interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa para a relação N:S nas folhas diagnósticas nas três avaliações do capim-braquiária. Para a primeira e a segunda coletas da gramínea forrageira, a relação N:S apresentou significância para as doses de nitrogênio e de enxofre, separadamente. Para as doses de nitrogênio, os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão e a relação N:S variou de 13:1 a 21:1 na primeira (Figura 22a) e de 13:1 a 16:1 na segunda avaliação (Figura 22b). Para as doses de enxofre, na primeira coleta do capim, os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão e a relação N:S mínima de 13:1 foi atingida quando se forneceu a dose de enxofre de 43 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Figura 22a). Na segunda avaliação das plantas, os resultados se

ajustaram ao modelo linear de regressão e a relação N:S, em função das doses de enxofre, variou de 18:1 a 13:1 (Figura 22b).

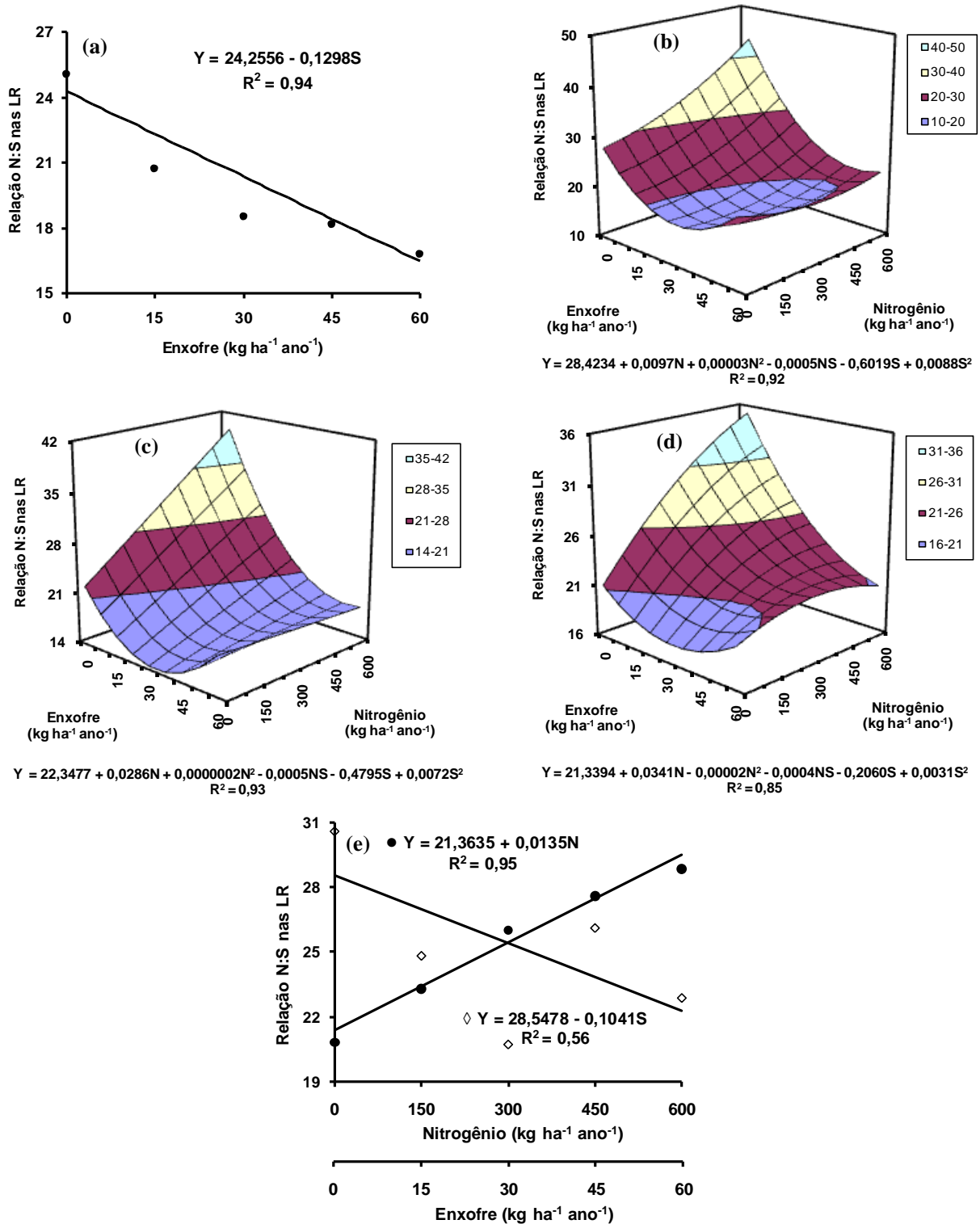


Figura 21 – Relação N:S nas folhas diagnósticas (LR) na primeira (a), segunda (b), terceira (c), quarta (d) e quinta (e) avaliações do capim-braquiária no segundo período chuvoso do experimento

Na terceira avaliação do capim-braquiária no segundo período seco, a relação N:S nas folhas diagnósticas foi afetada significativamente pelas doses de nitrogênio e os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão, sendo que a relação N:S nas LR variou de 16:1 a 25:1 (Figura 22c).

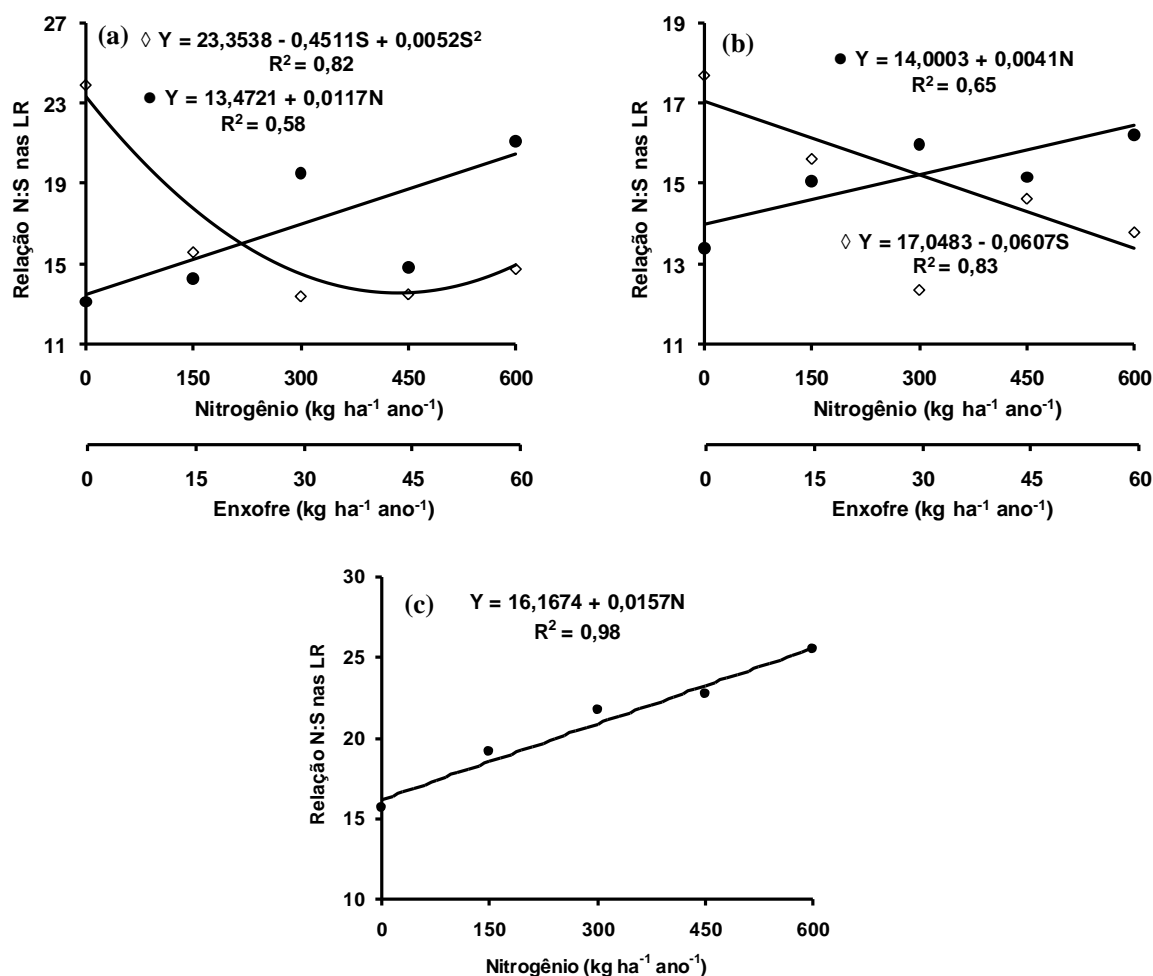


Figura 22 – Relação N:S nas folhas diagnósticas (LR) na primeira (a), segunda (b) e terceira (c) avaliações do capim-braquiária no segundo período seco do experimento

As relações N:S obtidas nos dois anos de experimento encontram-se acima de 13:1, chegando ao máximo de 36:1, o que permite afirmar que as doses de enxofre não foram suficientes para proporcionar relações N:S inferiores a 14:1, que é considerado valor adequado para o crescimento de gramíneas forrageiras (TISDALE, 1977, MONTEIRO; WERNER, 1988). Segundo Goh e Kee (1978), quando há deficiência de enxofre, a relação N:S nas plantas aumenta, e além de limitar a produção de forragem,

a deficiência de enxofre é um problema para a produção animal em pastagens, pois provoca acúmulo de nitrogênio não-protéico, e esse acúmulo causa prejuízos, como redução na eficiência de conversão de alimentos pelo animal e favorece o aparecimento de pragas nas plantas.

A combinação das doses de nitrogênio e de enxofre pode não ter fornecido enxofre suficiente para elevar a concentração desse nutriente nas LR, pois quando se adota a relação N:S como critério de diagnose para deficiência de enxofre, mostrou relação N:S inferiores a 14:1. Relações N:S, na adubação, maiores que 10:1 foram propostas por Scott et al. (1983), esses autores citaram que relações N:S ao redor de 16,5:1 são adequadas para plantas forrageiras estabelecerem o seu desenvolvimento. Segundo Stewart e Porter (1969) e Goh e Kee (1978), em geral, a adição de uma parte de enxofre para cada 15 a 17 partes de nitrogênio maximiza a utilização de nitrogênio na adubação. O metabolismo de nitrogênio demanda enxofre e uma adubação com elevadas doses de nitrogênio, com o objetivo de aumentar a produtividade, pode ser, na verdade, um desperdício, se a demanda de enxofre não for atendida.

A relação N:S mostrou significância para a interação doses de nitrogênio x doses de enxofre (Figuras 19a, 19b, 21b, 21c e 21d), a qual foi também constatada por Batista (2006) em dois cortes do capim-marandu adubado com doses de nitrogênio e de enxofre, que em condições de alto suprimento de nitrogênio (400 mg dm^{-3}), para qualquer uma das doses de enxofre, observou relação N:S máxima de 80:1. Isto evidencia 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. Na não-aplicação de nitrogênio, para qualquer uma das doses de enxofre, a menor relação N:S foi de 24:1.

Incrementos na relação N:S nas LR do capim-braquiária observados neste experimento, possivelmente foram devidos ao aumento na produção de forragem e na concentração de nitrogênio nas LR em virtude da adição de nitrogênio ao solo enquanto a redução das relações N:S nas LR foi devida à adubação com enxofre que, conseqüentemente, elevou a concentração de enxofre nas LR.

4.7 Massa seca de raízes

A interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa para a massa seca do sistema radicular nas avaliações do capim-braquiária no primeiro período chuvoso. Em termos dos efeitos da adubação nitrogenada, observou-se significância das doses de nitrogênio, isoladamente, na massa seca de raízes da segunda avaliação do capim. Os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão e a produção de massa seca das raízes foi mínima nas doses de nitrogênio de 286 kg ha⁻¹ ano⁻¹ na profundidade 0-10 cm, 155 kg ha⁻¹ ano⁻¹ na profundidade 30-40 cm e 282 kg ha⁻¹ ano⁻¹ na profundidade 0-40 cm do solo (Figura 23a). Na quarta avaliação do capim, observou-se significância para as doses de enxofre na massa seca de raízes, os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão e na dose de enxofre de 35 kg ha⁻¹ ano⁻¹, a produção de massa seca das raízes atingiu seu ponto de máximo na profundidade 10-20 cm do solo e de mínimo na profundidade 30-40 cm do solo (Figura 23b).

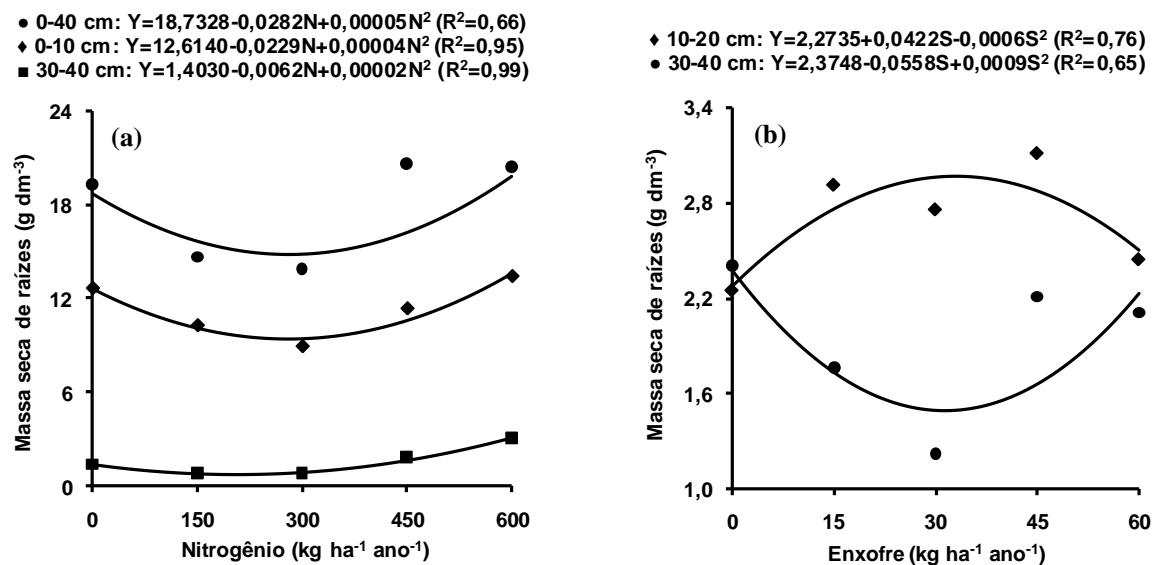


Figura 23 – Massa seca de raízes na segunda (a) e quarta (b) avaliações do capim-braquiária, no primeiro período chuvoso do experimento

A interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa para a produção de massa seca em todas as avaliações do capim-braquiária no primeiro período seco. As doses de enxofre isoladamente tiveram efeito significativo na massa seca de raízes na primeira avaliação do capim e os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão. As doses de enxofre de 29 e 27 kg ha⁻¹ ano⁻¹ foram responsáveis pela produção mínima de massa seca de raízes nas profundidades 0-10 e 0-40 cm do solo, respectivamente (Figura 24).

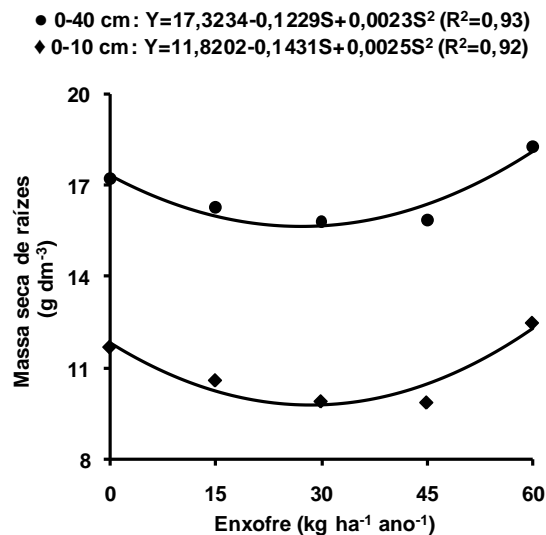


Figura 24 – Massa seca de raízes na primeira avaliação do capim-braquiária, no primeiro período seco do experimento

A interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa para a massa seca de raízes em todas as avaliações do capim-braquiária no segundo período chuvoso. As doses de enxofre afetaram significativamente a produção de massa seca de raízes na terceira e quarta avaliações do capim, e os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão. Na terceira avaliação, as doses de enxofre de 31 e 32 kg ha⁻¹ ano⁻¹ foram responsáveis pela produção máxima de massa seca de raízes nas profundidades 10-20 e 30-40 cm do solo, respectivamente (Figura 25a), e na quarta coleta, a dose de enxofre de 36 kg ha⁻¹ ano⁻¹ foi responsável pela produção mínima de massa seca de raízes na profundidade 10-20 cm do solo (Figura 25b).

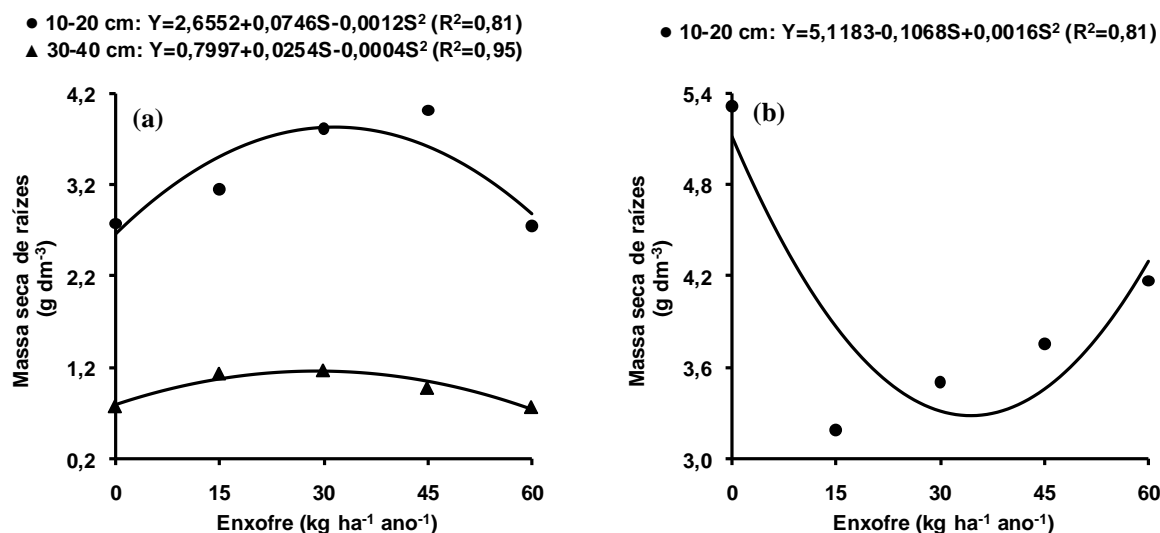


Figura 25 – Massa seca de raízes na terceira (a) e quarta (b) avaliações do capim-braquiária, no segundo período chuvoso do experimento

A interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa para a produção de massa seca de raízes em todas as avaliações do capim-braquiária no segundo período seco. Na primeira avaliação da gramínea forrageira, as doses isoladas de nitrogênio e de enxofre afetaram significativamente a produção de massa seca de raízes. Nas profundidades 0-10 e 0-40 cm do solo, as doses de enxofre tiveram efeito significativo e os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão. A dose de enxofre de 29 kg ha⁻¹ ano⁻¹ foi responsável pela massa seca mínima de raízes tanto para a profundidade 0-10 cm quanto para a profundidade 0-40 cm do solo. As doses de nitrogênio afetaram significativamente a massa seca de raízes nas profundidades 20-30 e 30-40 cm do solo e os resultados ajustaram-se ao modelo linear de regressão, tendo variado a massa seca de raízes de 1,5 a 3,2 e 1,3 a 2,5 g dm⁻³ para essas profundidades, respectivamente (Figura 26a).

Na segunda e terceira avaliações do capim nesse período seco, apenas as doses isoladas de nitrogênio alteraram significativamente a produção de massa seca de raízes e os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão. Na segunda avaliação da gramínea, as doses de nitrogênio responsáveis pela produção mínima de massa seca de raízes foram de 355 e 280 kg ha⁻¹ ano⁻¹, nas profundidades 10-20 e 20-30 cm do solo, respectivamente (Figura 26b). Na terceira avaliação do capim, a

produção de massa seca de raízes na profundidade 30-40 cm do solo atingiu seu ponto de mínimo quando se forneceu a dose de nitrogênio de 232 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Figura 26c).

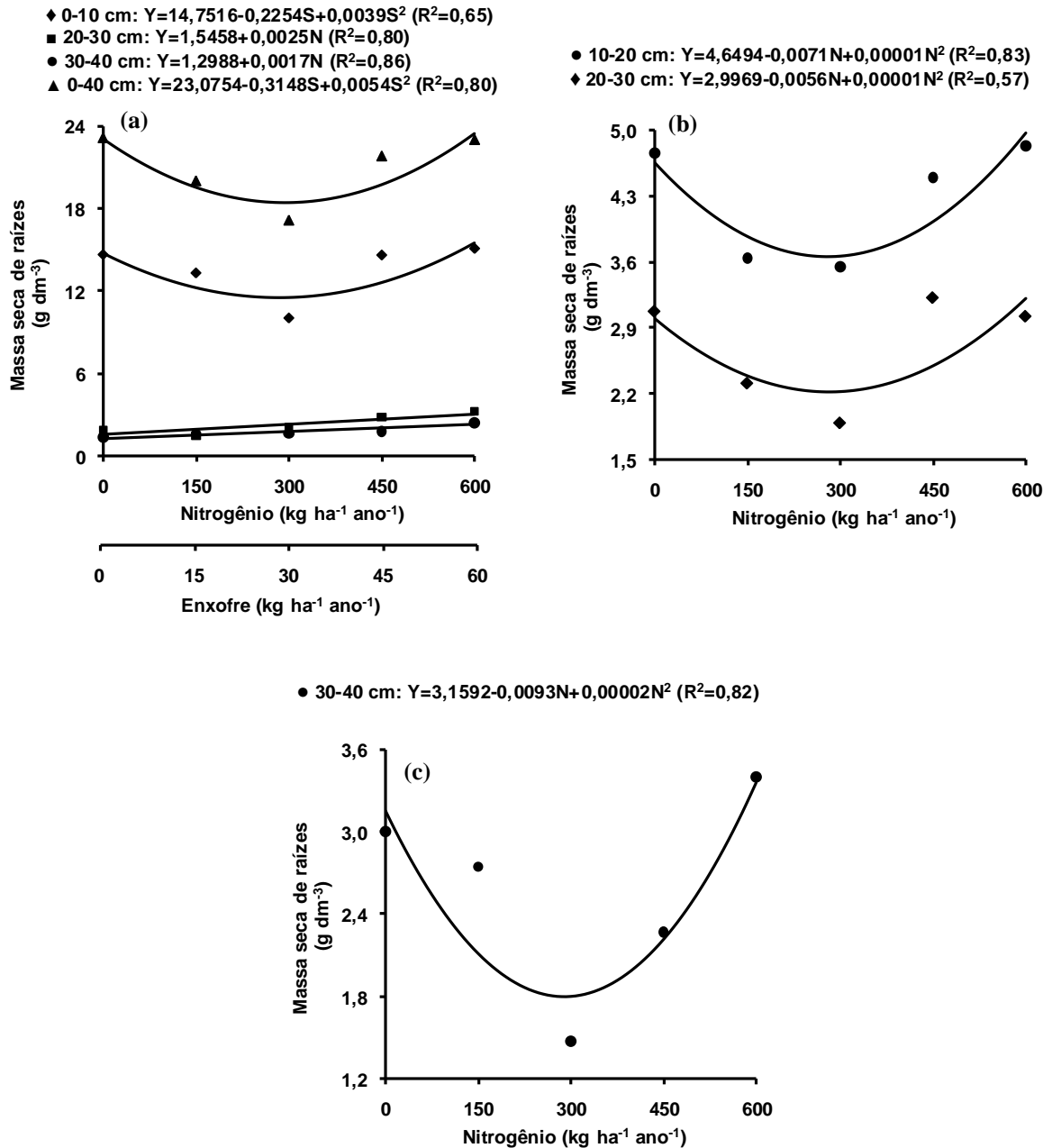


Figura 26 – Massa seca de raízes na primeira (a), segunda (b) e terceira (c) avaliações do capim-braquiária, no segundo período seco do experimento

A massa seca de raízes do capim-braquiária sofreu efeitos significativos tanto das doses de nitrogênio quanto das de enxofre, mostrando, na média, que as doses de

nitrogênio elevaram a produção de massa seca das raízes de 17 para 24 g kg⁻¹ e as doses de enxofre elevaram de 18 para 25 g kg⁻¹. Marschner (1995) relatou que o suprimento de nutrientes tem potencial para alterar sensivelmente o crescimento e a morfologia das raízes. Para esse mesmo capim, Rodrigues (2002) e Bonfim-da-Silva (2005) observaram apenas efeito significativo das doses de nitrogênio na massa seca de raízes. Porém, Santos (1997) relatou efeito significativo na massa seca de raízes tanto das doses de nitrogênio quanto das doses de enxofre, indicando que o capim-braquiária poderia produzir ainda mais massa seca mediante a aplicação de nitrogênio e doses mais elevadas de enxofre.

Do total de raízes do capim-braquiária presente na profundidade 0 a 40 cm do solo, foi observado que cerca de 65% estavam na profundidade de 0-10 cm, 18% na de 10-20 cm, 10% na de 20-30 cm e 7% na de 30-40 cm. Portanto, 83% da massa de raízes foram encontrados nos primeiros 20 cm de profundidade do solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Santos Junior (2005), ao avaliar o sistema radicular do capim-Tanzânia, e por Sarmento (2005), ao estudar as raízes do *Panicum maximum* acesso BRA-006998. Trabalhos como os de Rodrigues e Cádima-Zevallos (1991); Bono et al. (2000) e Rodrigues et al. (2001) também relataram que a primeira profundidade do solo (0 a 20 cm) seria a responsável pela maior produção de massa radicular de gramíneas forrageiras.

4.8. Comprimento de raízes

A interação doses de nitrogênio x doses de enxofre foi significativa para o comprimento de raízes na profundidade 0-40 cm do solo, na primeira avaliação do capim-braquiária no primeiro período chuvoso. Os resultados variaram de acordo com a equação de regressão polinomial, e o estudo de superfície de resposta mostrou que, na não-aplicação de nitrogênio, o comprimento de raízes aumentou com o incremento das doses de enxofre, e na dose mais elevada de nitrogênio (600 kg ha⁻¹ ano⁻¹), o comprimento de raízes diminuiu com o aumento das doses de enxofre (Figura 27a). Na quarta coleta de raízes do capim, foi observado efeito significativo das doses de nitrogênio, tendo os resultados ajustados ao modelo linear de regressão e os valores de

comprimento de raízes variaram de 28 a 38 m dm⁻³, na profundidade de 10-20 cm do solo (Figura 27b).

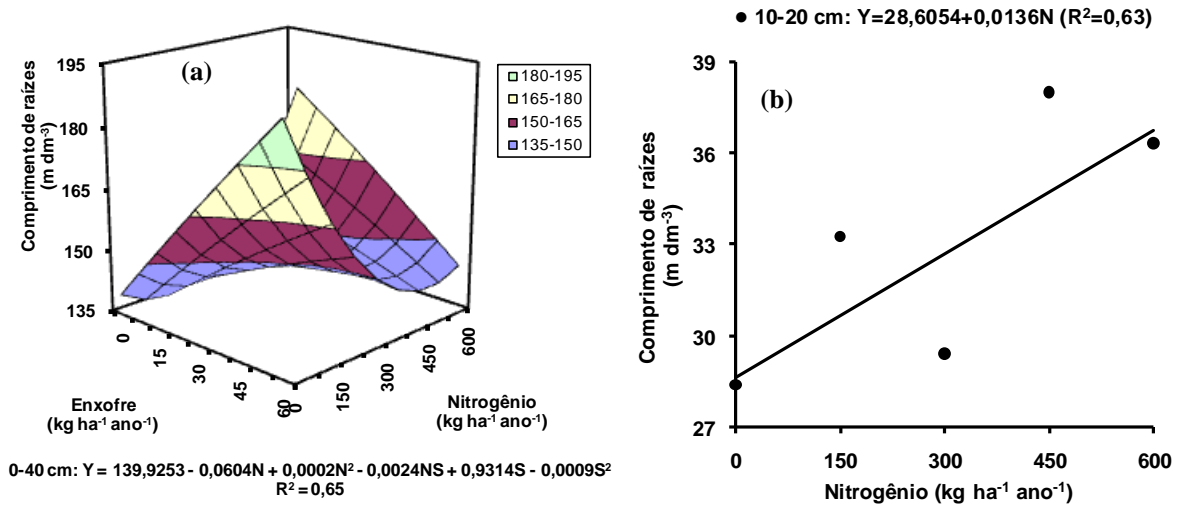


Figura 27 – Comprimento de raízes na primeira (a) e quarta (b) avaliações do capim-braquiária, no primeiro período chuvoso do experimento

A interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa para o comprimento radicular na primeira e segunda avaliações do capim-braquiária no primeiro período seco. As doses de nitrogênio e de enxofre, separadamente, afetaram significativamente o comprimento de raízes na primeira coleta da gramínea e os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão. A dose de nitrogênio de 397 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e a dose de enxofre de 31 kg ha⁻¹ ano⁻¹ foram responsáveis pelo comprimento mínimo de raízes na profundidade 0-10 cm do solo (Figura 28a). Na segunda avaliação do capim, as doses isoladas de nitrogênio tiveram efeito significativo no comprimento de raízes e os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão. As doses de nitrogênio de 348 e 342 kg ha⁻¹ ano⁻¹ foram responsáveis pelo comprimento mínimo de raízes nas profundidades 0-10 e 0-40 cm do solo, respectivamente (Figura 28b).

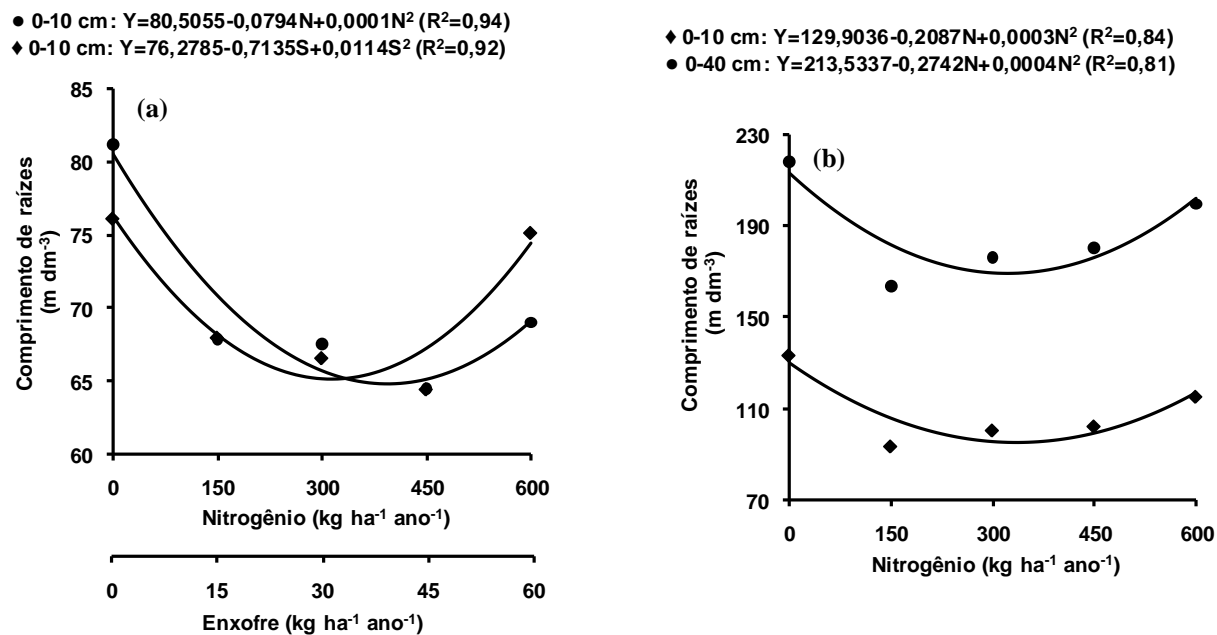


Figura 28 – Comprimento de raízes na primeira (a) e segunda (b) avaliações do capim-braquiária, no primeiro período seco do experimento

Na terceira avaliação do capim-braquiária no primeiro período seco, a interação doses de nitrogênio x doses de enxofre foi significativa para o comprimento de raízes nas profundidades 0-10 e 0-40 cm do solo, e os resultados se ajustaram à equação de regressão polinomial. O estudo de superfície de resposta mostrou que, na não-aplicação de nitrogênio, o comprimento de raízes aumentou com o incremento das doses de enxofre, e quando o enxofre foi fornecido em presença de nitrogênio na dose mais elevada (600 kg ha⁻¹ ano⁻¹), foram observados incrementos no comprimento de raízes (Figuras 29a e 29b). Para a profundidade 30-40 cm do solo, foi observado efeito significativo das doses de nitrogênio e os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão. A dose de nitrogênio de 399 kg ha⁻¹ ano⁻¹ foi responsável pelo comprimento mínimo de raízes (Figura 29c).

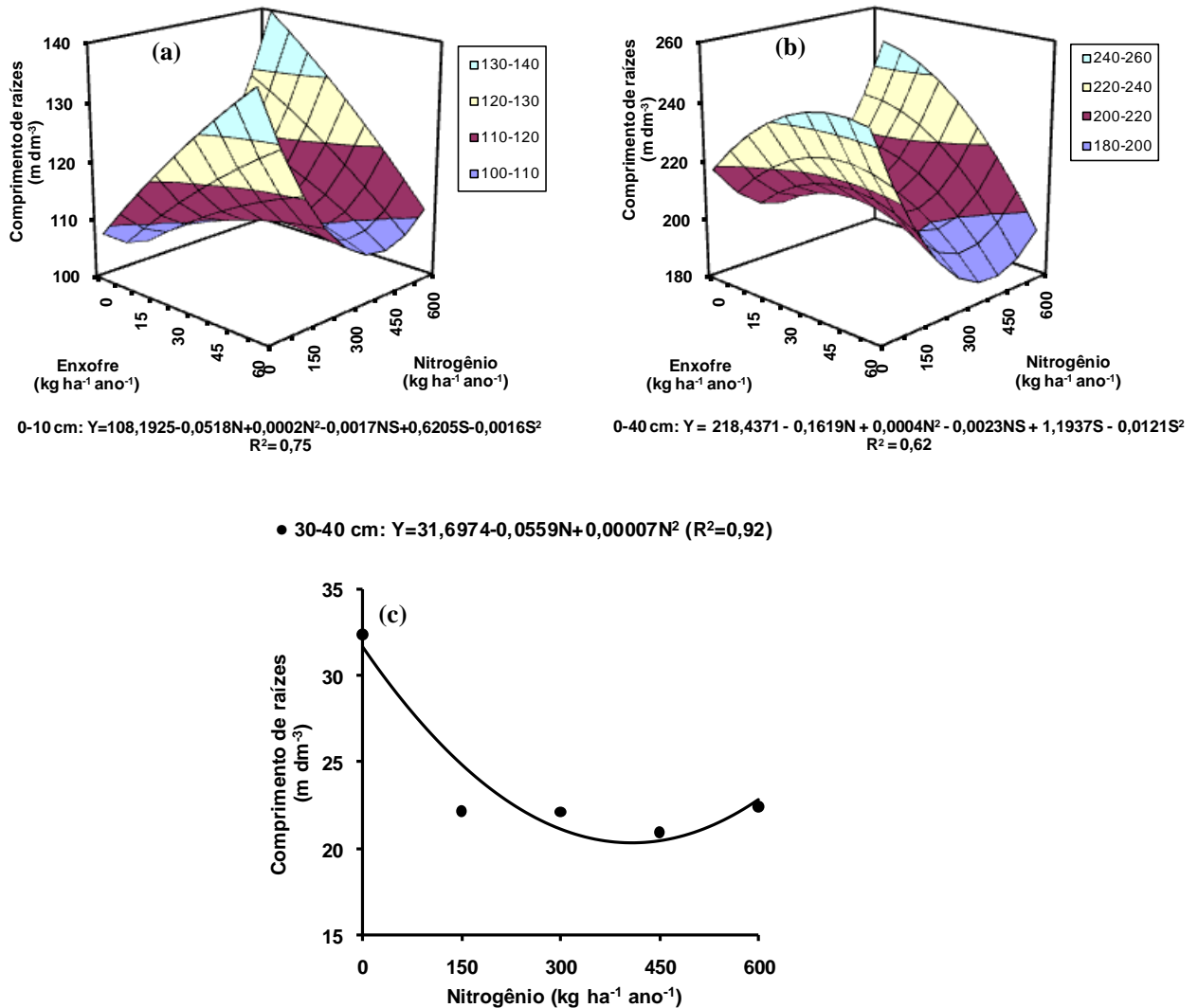


Figura 29 – Comprimento de raízes na terceira avaliação do capim-braquiária, no primeiro período seco do experimento, nas profundidades de 0-10 cm (a), 0-40 cm (b) e 30-40 cm (c) do solo

No segundo período chuvoso, a interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa para o comprimento radicular nas cinco avaliações do capim-braquiária. Na terceira coleta da gramínea, as doses de enxofre afetaram significativamente o comprimento de raízes e os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão. As doses de enxofre de 27 e 28 kg ha⁻¹ ano⁻¹ foram responsáveis pelo comprimento máximo de raízes nas profundidades 10-20 e 30-40 cm do solo, respectivamente (Figura 30a). Na quarta avaliação do capim, as doses isoladas de enxofre tiveram efeito significativo no comprimento de raízes e os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão. As doses de enxofre de 32 kg ha⁻¹ ano⁻¹

foram responsáveis pelo comprimento mínimo de raízes na profundidade 10-20 cm do solo (Figura 30b). Na quinta amostragem, as doses isoladas de nitrogênio afetaram significativamente o comprimento radicular e os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão. As doses de nitrogênio de 322, 251 e 246 kg ha⁻¹ ano⁻¹ foram responsáveis pelo comprimento mínimo de raízes nas profundidades 0-40, 20-30 e 30-40 cm do solo (Figura 30c).

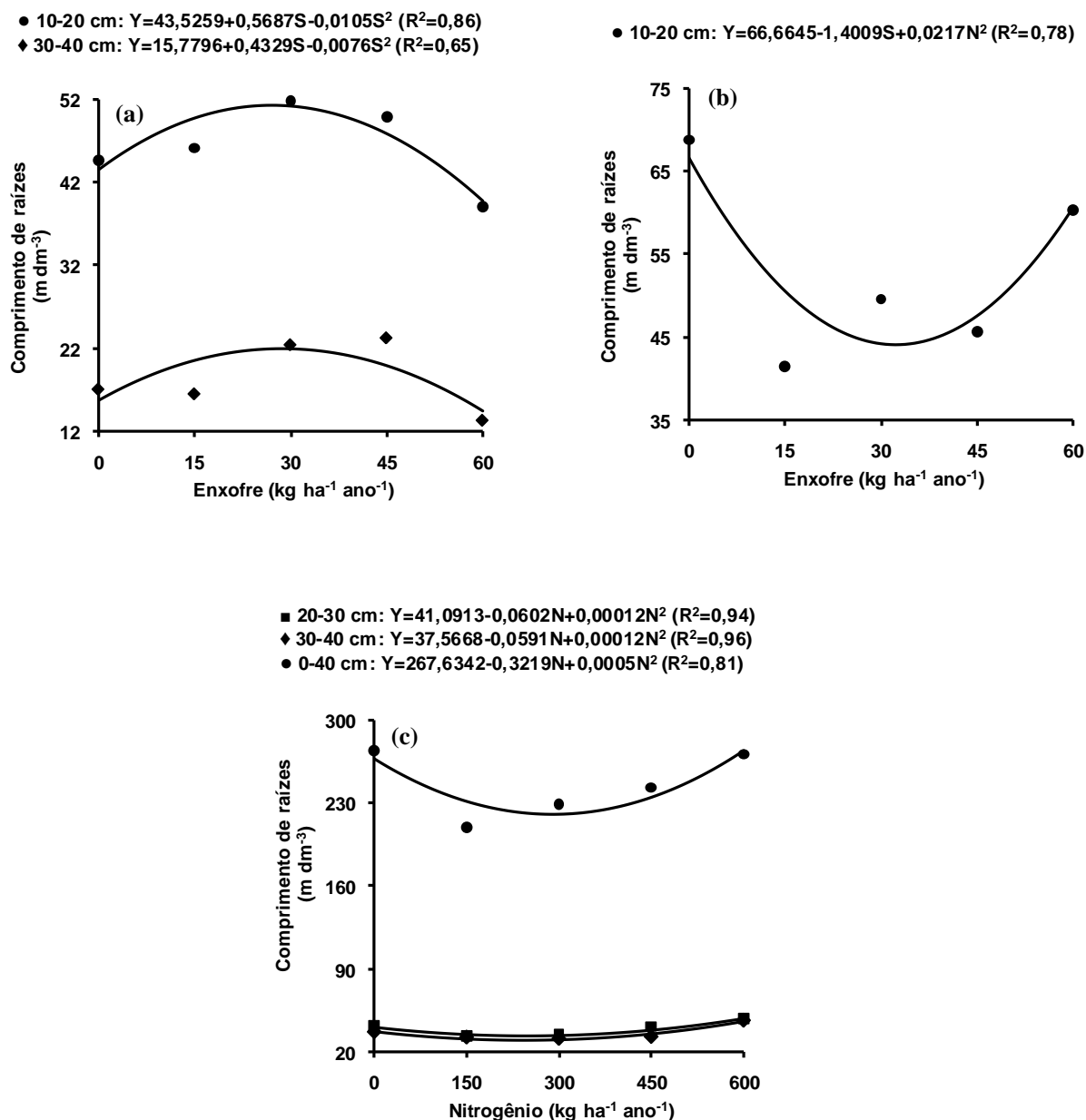


Figura 30 – Comprimento de raízes na terceira (a), quarta (b) e quinta (c) avaliações do capim-braquiária, no segundo período chuvoso do experimento

Para o segundo período seco, a interação doses de nitrogênio x doses de enxofre foi significativa para o comprimento de raízes na profundidade 0-10 cm do solo na primeira avaliação e os resultados se ajustaram ao modelo polinomial de regressão. De acordo com o estudo da superfície de resposta, os comprimentos de raízes mais elevados ocorreram quando se forneceu as mais baixas doses de nitrogênio (0 a 150 kg ha⁻¹ ano⁻¹) associadas a não-aplicação de enxofre na adubação (Figura 31a). Na mesma avaliação, também foi verificado que as doses isoladas de nitrogênio influenciaram significativamente o comprimento radicular na profundidade 30-40 cm do solo e os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão, tendo seus valores variado de 28 a 39 m dm⁻³ (Figura 31b).

Na segunda avaliação do capim-braquiária no segundo período seco, as doses de nitrogênio afetaram significativamente o comprimento de raízes e os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão. As doses de nitrogênio responsáveis pelo comprimento mínimo de raízes foram de 303 e 325 kg ha⁻¹ ano⁻¹ nas profundidades 0-40 e 10-20 cm do solo, respectivamente (Figura 31c).

A interação doses de nitrogênio x doses de enxofre foi significativa para o comprimento de raízes na profundidade 30-40 cm do solo na terceira avaliação da gramínea no segundo período seco e os resultados se ajustaram ao modelo polinomial de regressão. As doses de nitrogênio mais baixas (0 a 150 kg ha⁻¹ ano⁻¹) associadas às doses de enxofre mais elevadas (30 a 60 kg ha⁻¹ ano⁻¹), proporcionaram os comprimentos de raízes mais elevados (Figura 32a). Para essa mesma coleta do capim, o comprimento radicular foi afetado significativamente pelas doses isoladas de nitrogênio e os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão. O comprimento de raízes foi mínimo nas profundidades 0-40, 0-10 e 10-20 cm do solo, quando se forneceram as doses de nitrogênio de 347, 393 e 557 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente (Figura 32b).

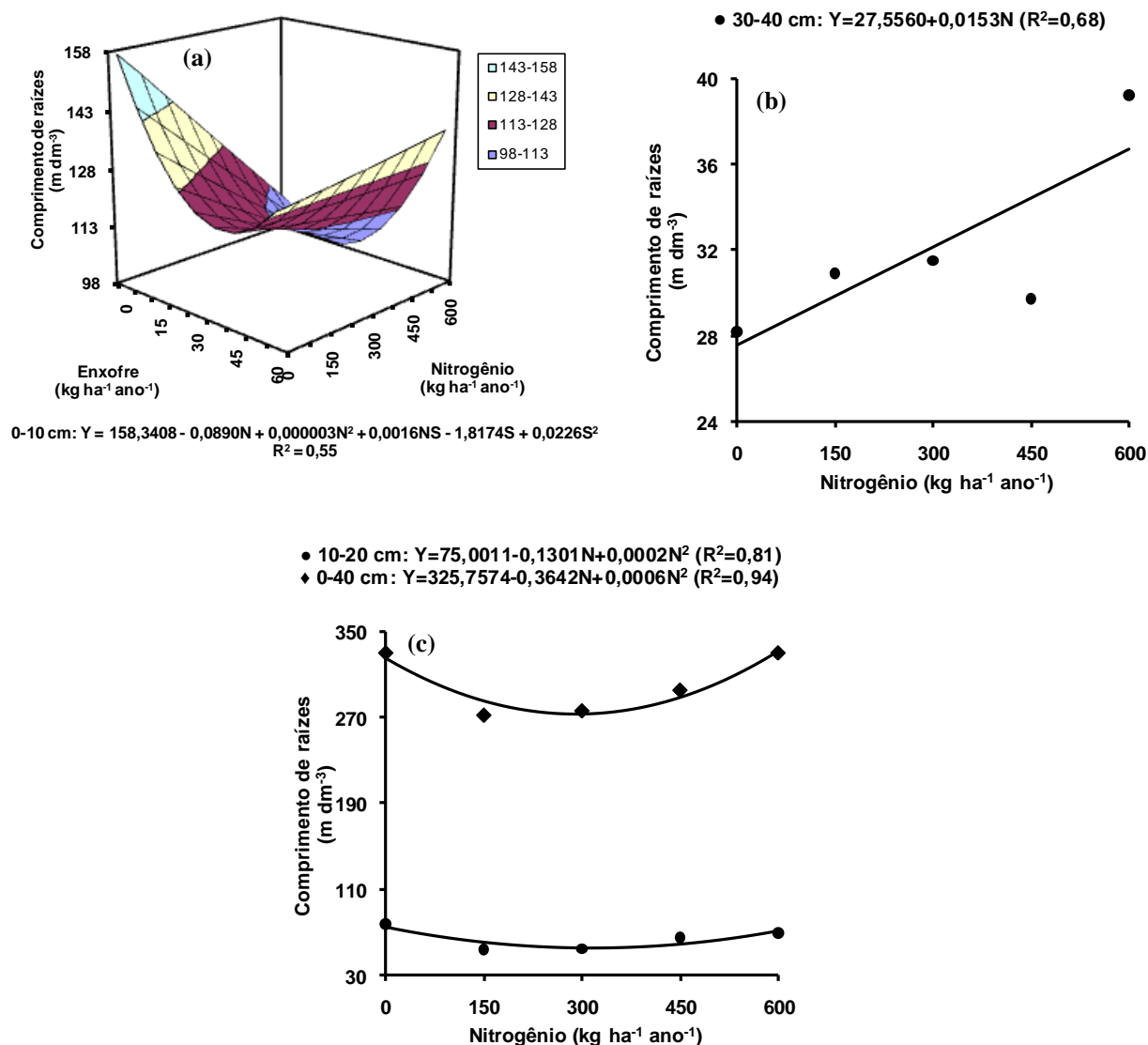


Figura 31 – Comprimento de raízes na primeira (a e b) e segunda (c) avaliações do capim-braquiária, no segundo período seco do experimento

As doses de nitrogênio e de enxofre afetaram significativamente o comprimento radicular do que a massa seca de raízes do capim-braquiária, isso se deve ao fato de que o nitrogênio tem efeito nas propriedades de crescimento de suas raízes. Plantas bem supridas em nitrogênio apresentam sistema radicular maior que plantas deficientes em nitrogênio, porque os mecanismos envolvidos no crescimento do sistema radicular estão relacionados com o acúmulo de carboidratos (BROUWER, 1962). O uso de gesso agrícola (fonte de enxofre) possibilita o aumento do teor de cálcio e a diminuição da saturação por alumínio, o que favorece maior crescimento radicular, resultando em

exploração de maior volume de solo, deixando a planta mais resistente a situações de déficit hídrico e capaz de aproveitar melhor os nutrientes provenientes do solo e dos fertilizantes.

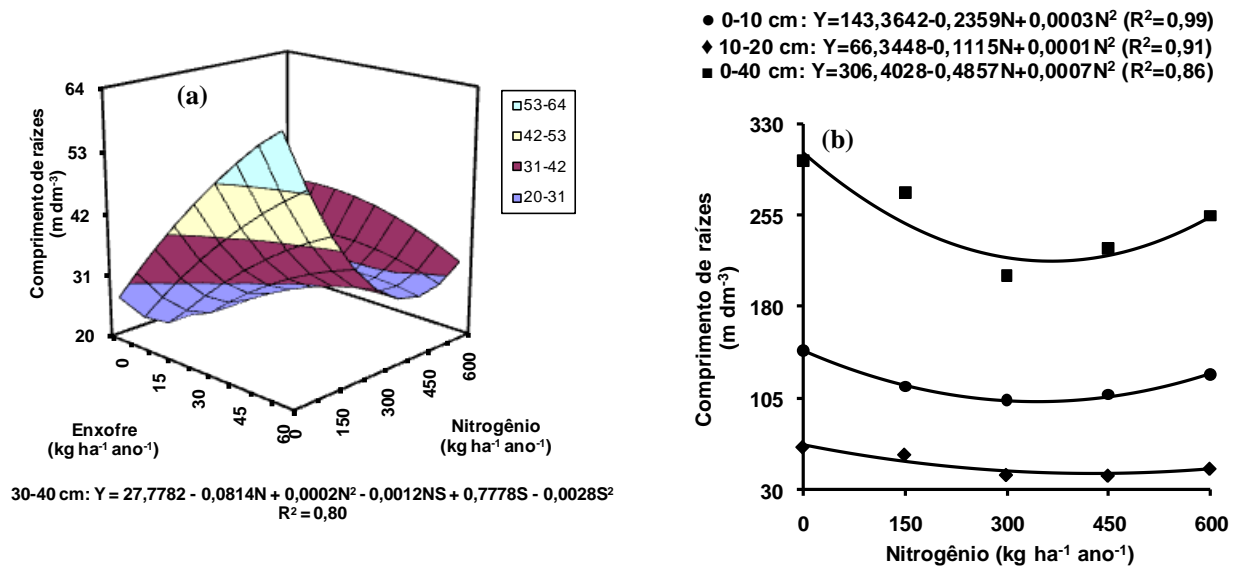


Figura 32 – Comprimento de raízes na terceira (a e b) avaliação do capim-braquiária, no segundo período seco do experimento

Bonfim-da-Silva (2005), estudando doses de nitrogênio associadas às doses de enxofre no capim-braquiária, mostrou que o nitrogênio afetou o comprimento das raízes e que o incremento na adubação nitrogenada não só aumentou o comprimento radicular como também a produção de massa e a superfície das raízes. Batista (2006), também encontrou doses de nitrogênio afetando o comprimento radicular, ao avaliar as raízes do capim-marandu submetido à adubação com doses de nitrogênio e de enxofre.

4.9 Superfície de raízes

A interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa para a superfície do sistema radicular em qualquer das avaliações do capim-braquiária no primeiro período chuvoso. Para a adubação nitrogenada, observou-se significância na a superfície de raízes e os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão. Na terceira amostragem, os valores de superfície de raízes variaram de 376 a 533 e 1532 a 1906 cm² dm⁻³ nas profundidades 10-20 e 0-40 cm do solo, respectivamente (Figura

33a). Na quarta coleta, os valores de superfície de raízes variaram de 120 a 185 $\text{cm}^2 \text{dm}^{-3}$ na profundidade 20-30 cm do solo (Figura 33b).

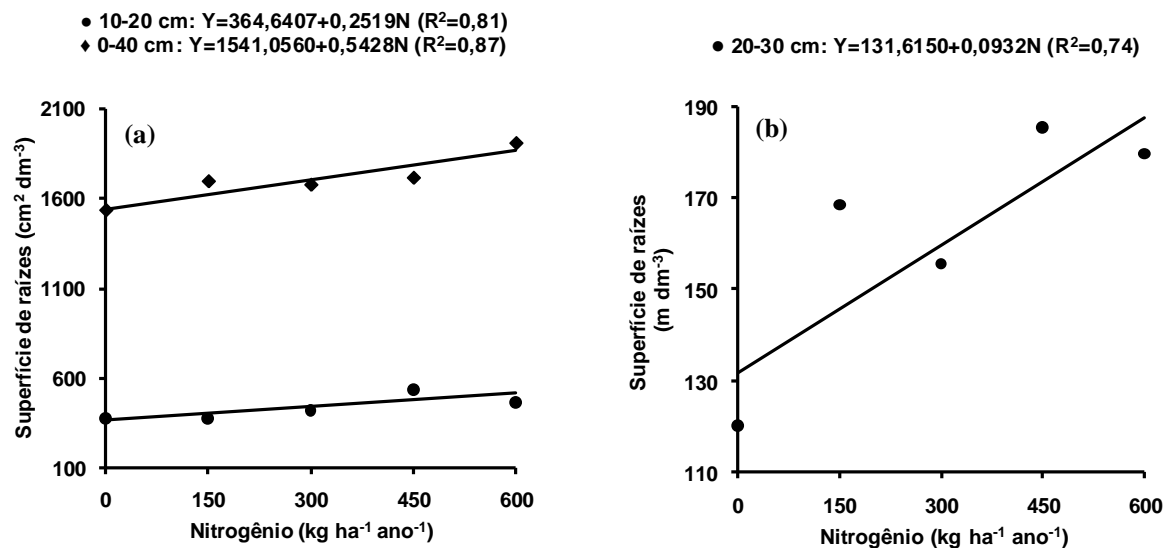
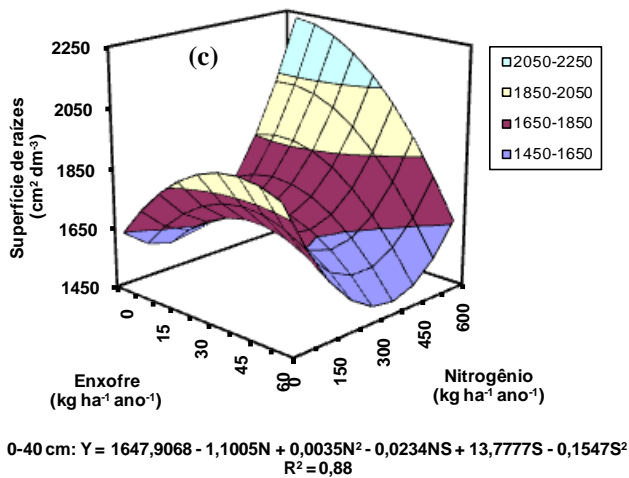
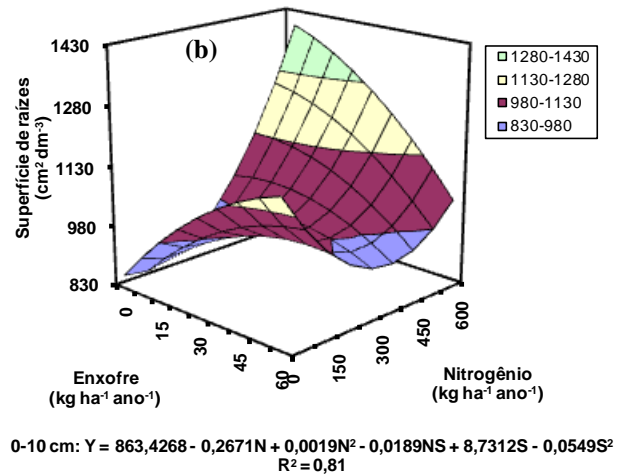
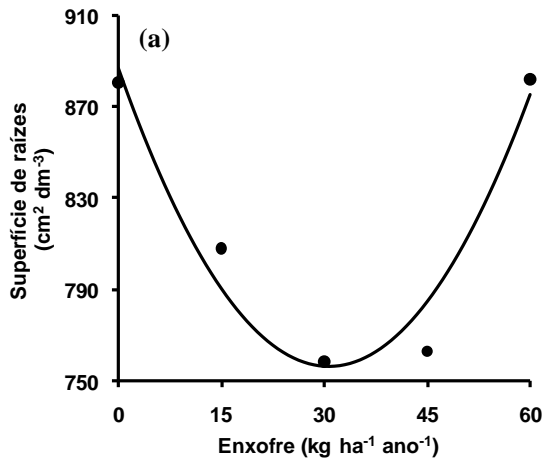


Figura 33 – Superfície de raízes na terceira (a) e quarta (b) avaliações do capim-braquiária, no primeiro período chuvoso do experimento

A interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa para a superfície radicular na primeira coleta do capim-braquiária, no período seco do primeiro ano. As doses de enxofre isoladas tiveram efeito significativo na superfície de raízes na profundidade 0-10 cm do solo e os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão. A dose de enxofre de $31 \text{ kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ foi responsável pela superfície mínima de raízes (Figura 34a).

Na terceira avaliação do capim, a interação doses de nitrogênio x doses de enxofre foi significativa para a superfície de raízes nas profundidades 0-10 e 0-40 cm do solo. Os valores mais elevados de superfície de raízes foram atingidos quando a mais elevada dose de nitrogênio ($600 \text{ kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) foi associada às doses de enxofre mais baixas ($0-30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$), para ambas as profundidades do solo (Figuras 34b e 34c). Para essa mesma avaliação, as doses isoladas de nitrogênio apresentaram efeito significativo na superfície radicular na profundidade 30-40 cm do solo e os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão, sendo a dose de nitrogênio de $351 \text{ kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ responsável pela superfície mínima de raízes (Figura 34d).

● 0-10 cm : $Y=887,0046-8,5049S+0,1385S^2$ ($R^2=0,95$)



● 30-40 cm : $Y=219,14-0,421N+0,0006N^2$ ($R^2=0,90$)

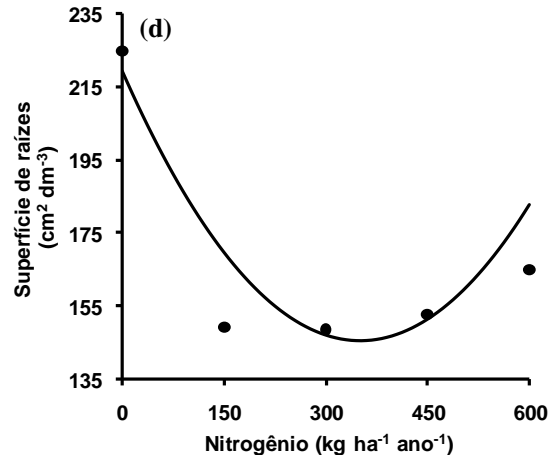


Figura 34 – Superfície de raízes na primeira (a) e terceira (b, c e d) avaliações do capim-braquiária, no primeiro período seco do experimento

A interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa nas avaliações de superfície do sistema radicular do capim-braquiária no segundo período chuvoso. Na terceira coleta do capim nesse período, as doses de enxofre afetaram significativamente a superfície de raízes e os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão, sendo as doses de enxofre de 29 e 30 kg ha⁻¹ ano⁻¹ responsáveis pelas superfícies máximas de raízes nas profundidades 10-20 e 30-40 cm do solo, respectivamente (Figura 35a). Na quarta amostragem do capim, foi observada significância para as doses de enxofre na superfície radicular e os resultados se

ajustaram ao modelo quadrático de regressão, sendo a dose de 32 kg ha⁻¹ ano⁻¹ responsável pela superfície mínima de raízes na profundidade 10-20 cm do solo (Figura 35b).

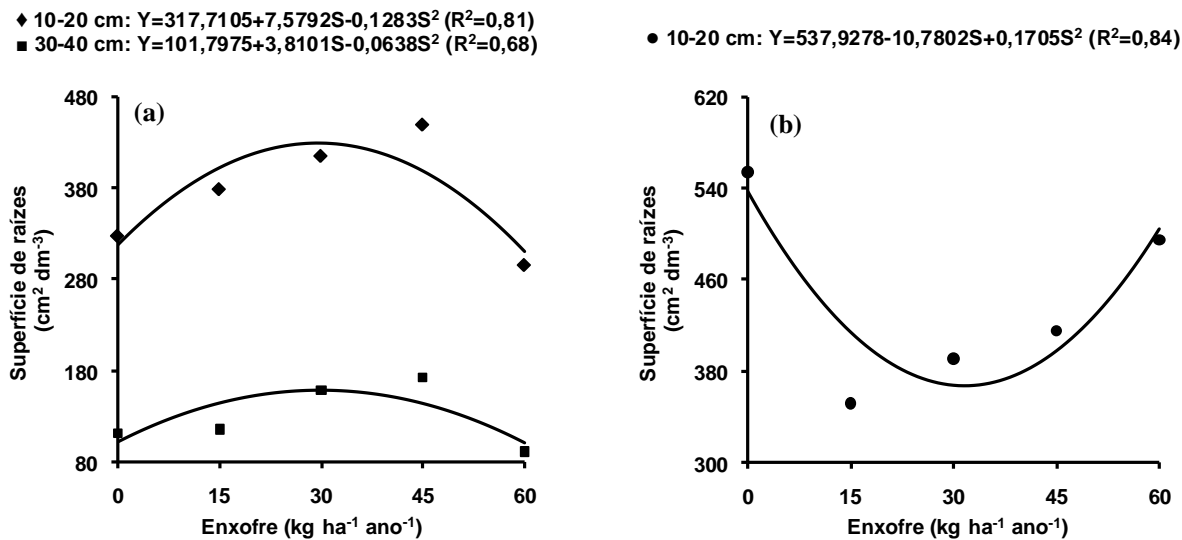


Figura 35 – Superfície de raízes na terceira (a) e quarta (b) avaliações do capim-braquiária, no segundo período chuvoso do experimento

A interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa nas três avaliações das raízes do capim-braquiária no segundo período seco. Na primeira coleta do capim, as doses de nitrogênio afetaram significativamente a superfície de raízes, tendo os resultados ajustados ao modelo linear de regressão e os valores de superfície radicular variado de 228 a 415 e 193 a 337 cm² dm⁻³ nas profundidades 20-30 cm e 30-40 cm do solo, respectivamente. As doses de enxofre também influenciaram significativamente a superfície de raízes nessa avaliação e os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão. A dose de enxofre responsável pela superfície mínima de raízes, na profundidade 0-10 cm do solo, foi de 26 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Figura 36a).

Na segunda e terceira avaliações da gramínea nesse período seco do ano, foi observada significância para as doses de nitrogênio na superfície de raízes e os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão. As doses de nitrogênio responsáveis pela superfície mínima de raízes, na segunda avaliação, foram de 271 e 294 kg ha⁻¹ ano⁻¹ nas profundidades 0-40 e 10-20 cm do solo, respectivamente (Figura

36b), e 281 kg ha⁻¹ ano⁻¹ na profundidade 0-10 cm do solo, na terceira coleta do capim-braquiária (Figura 36c).

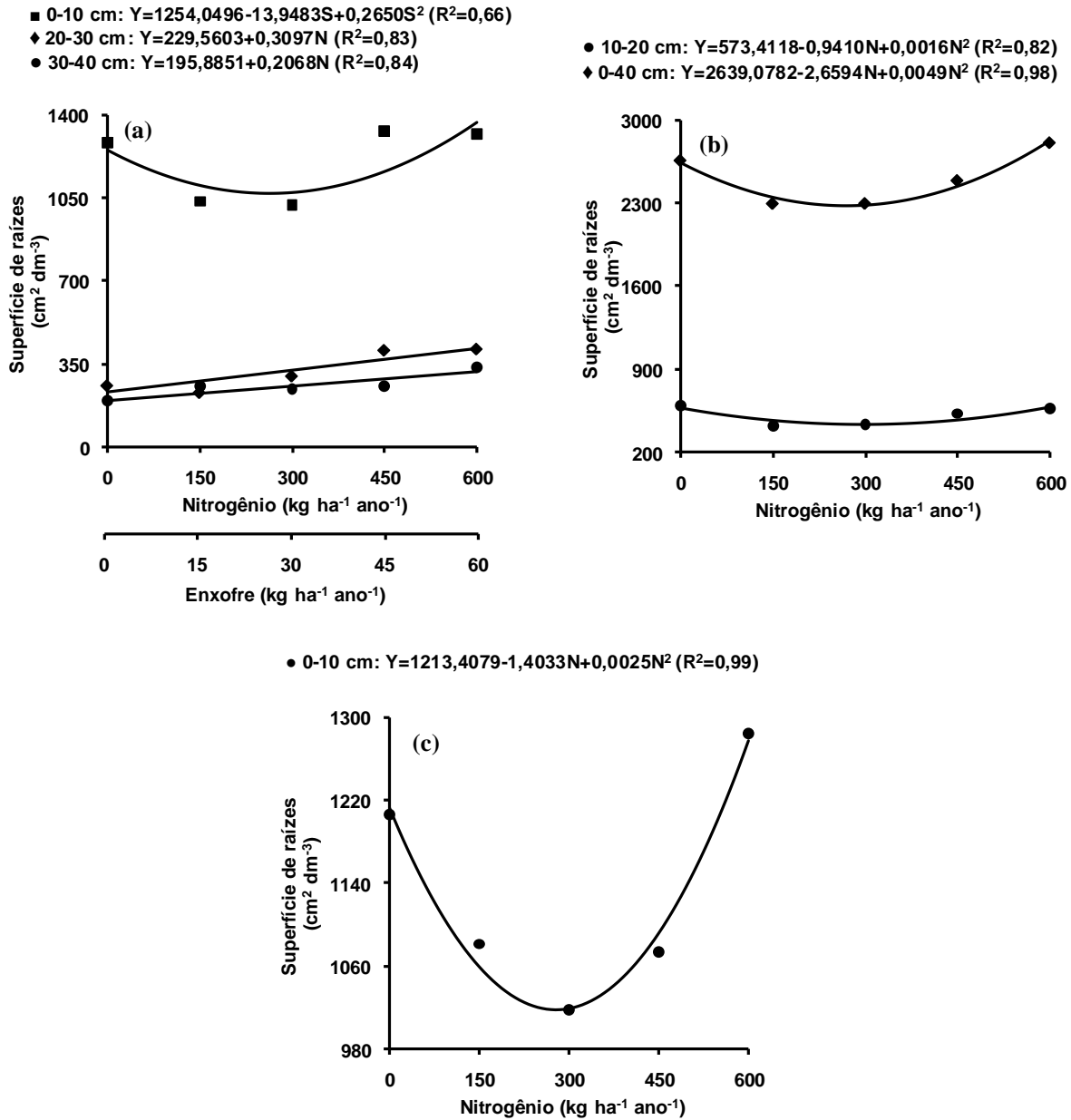


Figura 36 – Superfície de raízes na primeira (a), segunda (b) e terceira (c) avaliações do capim-braquiária, no segundo período seco do experimento

A superfície radicular do capim-braquiária mostrou comportamento semelhante ao comprimento radicular, sendo afetada significativamente pelas doses de nitrogênio e

pelas doses de enxofre. Segundo Corsi et al. (2001), o comprimento e a superfície de raízes têm sido apontados como atributos representativos do vigor do sistema radicular.

A interação doses de nitrogênio x doses de enxofre afetando significativamente a superfície radicular também foi constatada por Batista (2006), que ressaltou a importância do suprimento adequado de nitrogênio e de enxofre, ao observar que em condições de altas doses de nitrogênio e de enxofre ocorreu redução na área do sistema radicular do capim-marandu. Por sua vez, Bonfim-da-Silva (2005) relatou ser o nitrogênio, isoladamente, o responsável por alterações na superfície radicular do capim-braquiária.

4.10 Nitrogênio nas raízes

A concentração de nitrogênio nas raízes coletadas na profundidade 0-40 cm do solo não foi alterada significativamente pela interação doses de nitrogênio x doses de enxofre nas cinco avaliações do capim-braquiária no primeiro período chuvoso. As doses de nitrogênio tiveram efeito significativo, com ajuste dos resultados ao modelo de regressão de primeiro grau na terceira, quarta e quinta colheitas realizadas. A concentração de nitrogênio nas raízes variou de 7 a 10 g kg⁻¹, nessas três avaliações do capim (Figura 37).

A interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa para a concentração de nitrogênio nas raízes do capim-braquiária nas três coletas realizadas no primeiro período seco. Na primeira coleta desse período, foi verificada significância para as doses de nitrogênio e de enxofre, separadamente e os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão, sendo a concentração mais alta de nitrogênio nas raízes atingida quando se forneceu a dose de nitrogênio de 343 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e de enxofre de 25 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Figura 38a). Na segunda e terceira colheitas da gramínea forrageira, a concentração de nitrogênio nas raízes foi afetada significativamente e positivamente pelas doses de nitrogênio, com os resultados se ajustando ao modelo linear de regressão. A concentração de nitrogênio nas raízes variou de 7,2 a 10,5 g kg⁻¹ na segunda (Figura 38b) e de 8,2 a 10,6 g kg⁻¹ na terceira coleta das raízes do capim-braquiária (Figura 38c).

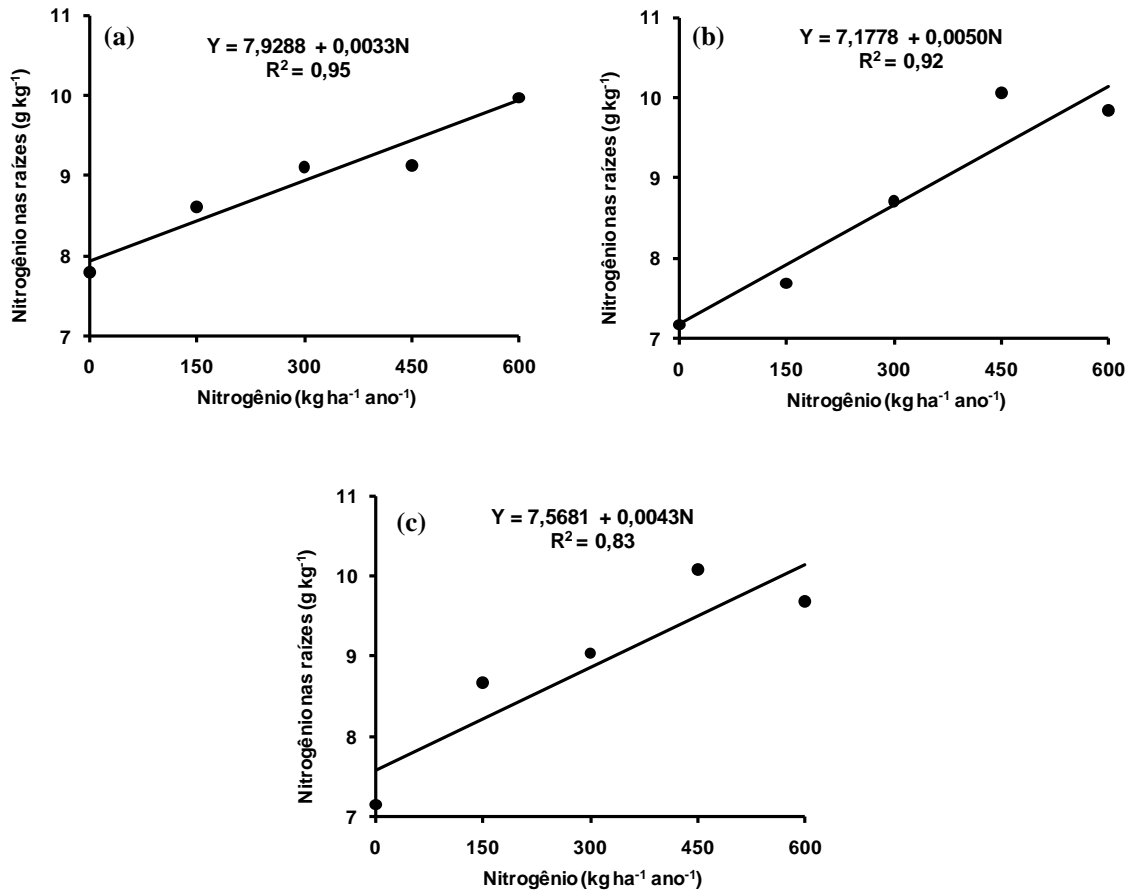


Figura 37 – Concentração de nitrogênio nas raízes coletadas de 0 a 40 cm do solo, na terceira (a), quarta (b) e quinta (c) avaliações do capim-braquiária, no primeiro período chuvoso do experimento

A concentração de nitrogênio nas cinco colheitas das raízes do capim-braquiária, avaliado durante o segundo período chuvoso, não apresentou significância para a interação doses de nitrogênio x doses de enxofre. Entretanto, respostas significativas foram observadas para as doses individuais de nitrogênio. Na segunda e quarta coletas de raízes da gramínea forrageira, os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão e a concentração de nitrogênio variou de 7 a 10 g kg⁻¹ e de 8 a 12 g kg⁻¹ para a segunda (Figura 39a) e quarta (Figura 39c) avaliações do capim, respectivamente. Na terceira e quinta coletas do capim-braquiária, essa concentração apresentou resultados ajustando-se ao modelo quadrático de regressão e a concentração máxima de nitrogênio nas raízes do capim-braquiária ocorreu nas doses de nitrogênio de 410

kg ha⁻¹ ano⁻¹ na terceira coleta (Figura 39b) e de 483 kg ha⁻¹ ano⁻¹ na quinta coleta (Figura 39d) de raízes do capim.

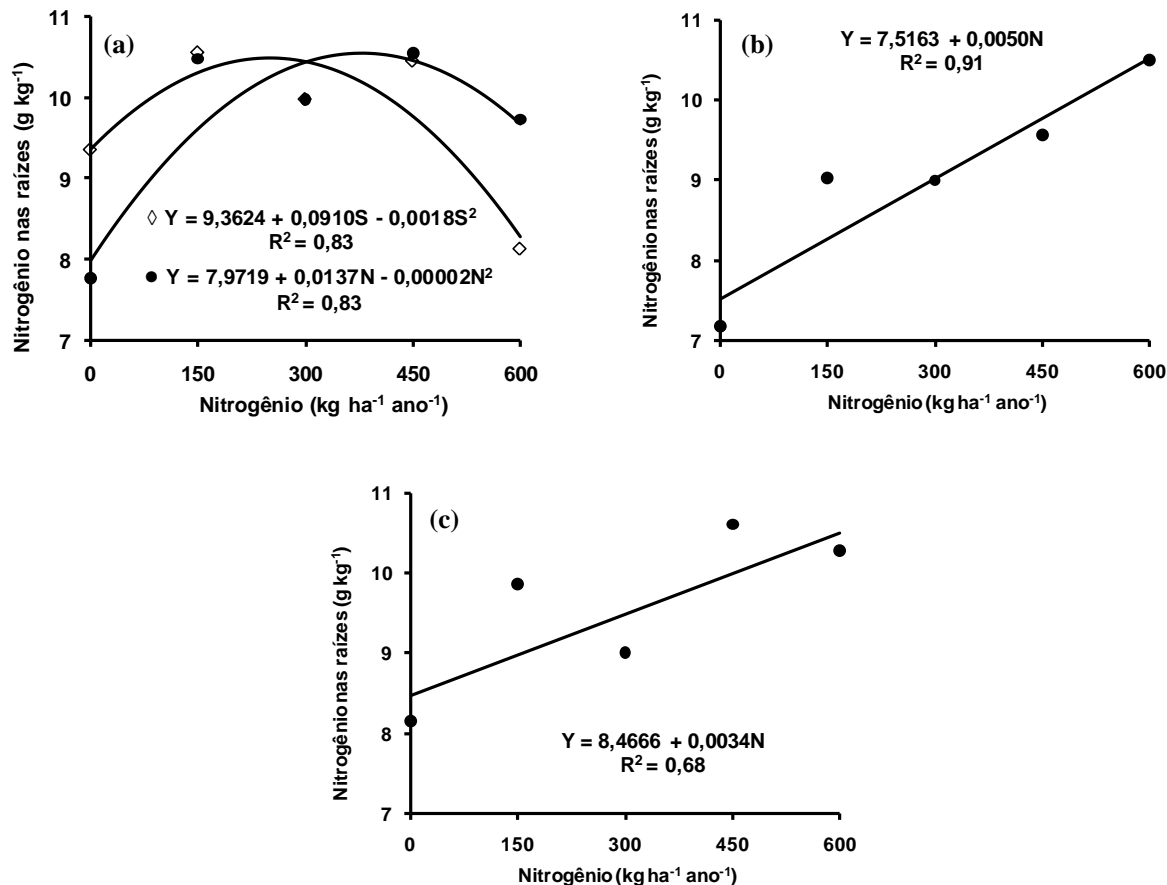


Figura 38 – Concentração de nitrogênio nas raízes coletadas de 0 a 40 cm do solo, na primeira (a), segunda (b) e terceira (c) avaliações do capim-braquiária, no primeiro período seco do experimento

A interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa para a concentração de nitrogênio nas três colheitas de raízes do capim-braquiária no segundo período seco, mas as doses de nitrogênio afetaram significativamente e positivamente essa variável. Na primeira e terceira coletas de raízes, os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão e a concentração de nitrogênio nas raízes variou de 9 a 11 g kg⁻¹ na primeira (Figura 40a) e de 8 a 10 g kg⁻¹ na terceira amostragem do capim (Figura 40c). Na segunda coleta de raízes nesse período, os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão e a concentração de nitrogênio nas raízes do capim-braquiária atingiu o máximo na dose de nitrogênio de 390 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Figura 40b).

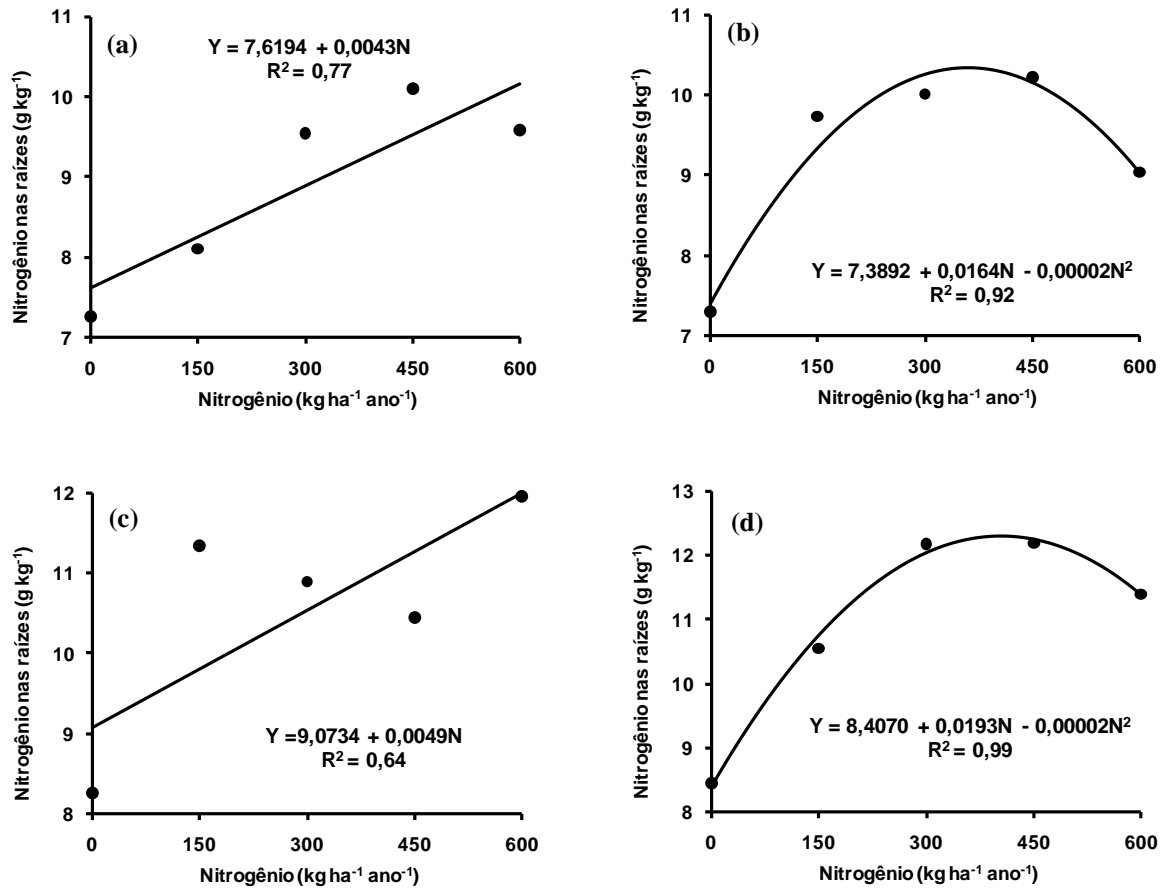


Figura 39 – Concentração de nitrogênio nas raízes coletadas de 0 a 40 cm do solo, na segunda (a), terceira (b), quarta (c) e quinta (d) avaliações do capim-braquiária, no segundo período chuvoso do experimento

A concentração de nitrogênio nas raízes do capim-braquiária foi afetada significativamente pelas doses de nitrogênio em todas as avaliações das plantas (Figuras 37, 38, 39 e 40). Santos (1997) e Bonfim-da-Silva (2005) também observaram que as doses de nitrogênio incrementaram a concentração de nitrogênio nas raízes do capim-braquiária e Kanno et al. (2001) para o capim-Tanzânia. Batista (2006) verificou interação doses de nitrogênio x doses de enxofre significativa para a concentração de nitrogênio nas raízes do capim-marandu e afirmou que 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 nas raízes.

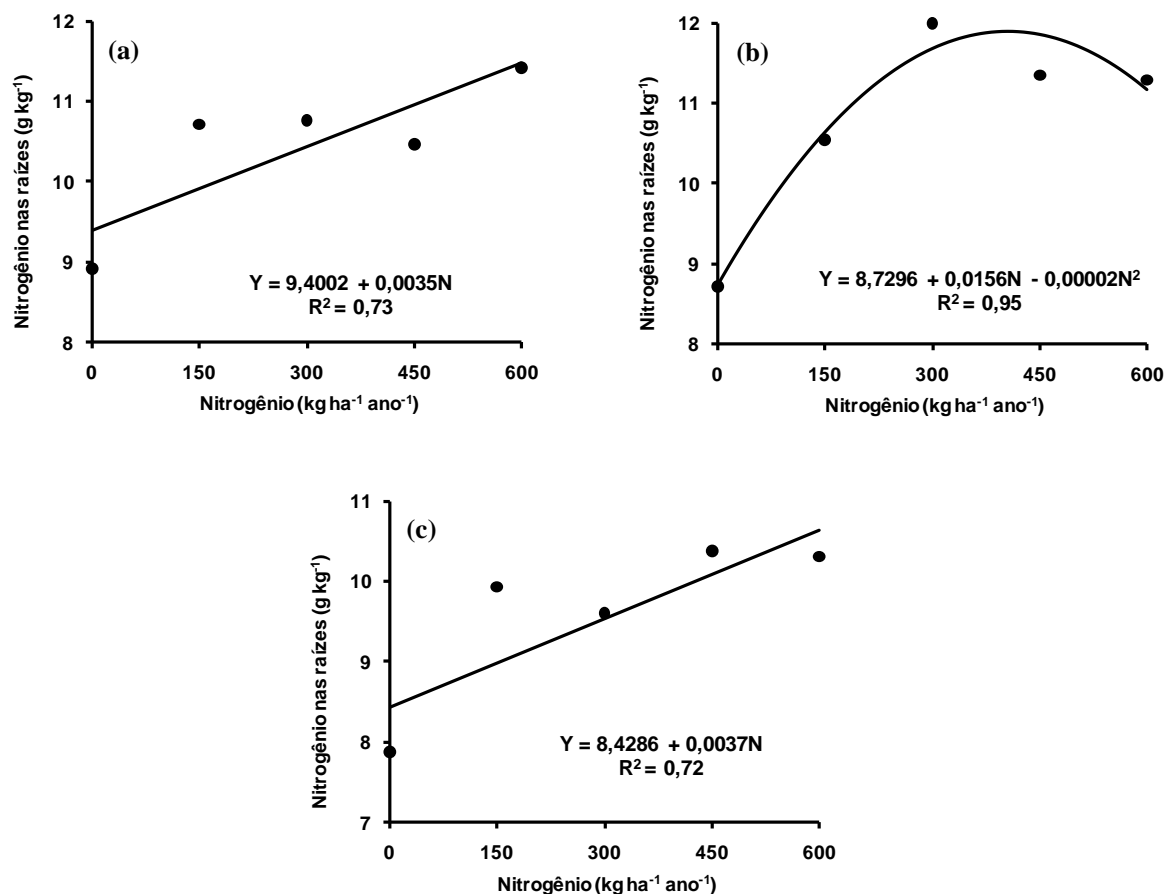


Figura 40 – Concentração de nitrogênio nas raízes coletadas de 0 a 40 cm do solo, na primeira (a), segunda (b) e terceira (c) avaliações do capim-braquiária, no segundo período seco do experimento

4.11 Enxofre nas raízes

A interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa para a concentração de enxofre nas raízes do capim-braquiária nos dois anos de experimento. Nos períodos chuvoso e seco do segundo ano de experimento, em termos da concentração de enxofre, foi observada significância para as doses de nitrogênio na quarta (Figura 41) e primeira (Figura 42a) coletas das raízes da gramínea forrageira, respectivamente, e os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão.

Na terceira coleta das raízes do capim-braquiária, no período seco do segundo ano experimental, a concentração de enxofre nas raízes foi afetada significativamente

pelas doses de enxofre e os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão (Figura 42b).

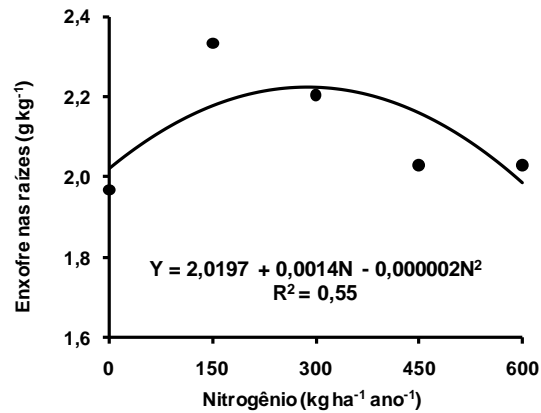


Figura 41 – Concentração de enxofre nas raízes coletadas de 0 a 40 cm do solo, na quarta avaliação do capim-braquiária, no segundo período chuvoso do experimento

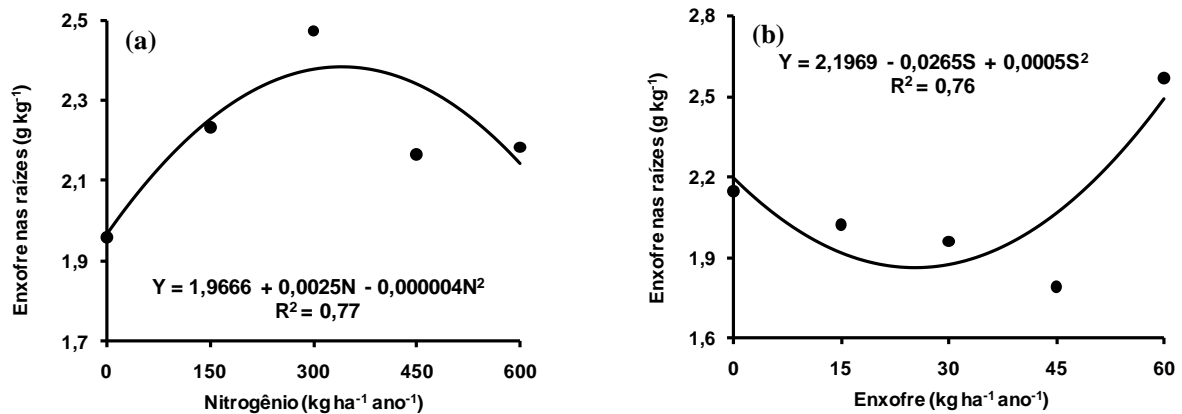


Figura 42 – Concentração de enxofre nas raízes coletadas de 0 a 40 cm do solo, na primeira (a) e quinta (b) avaliações do capim-braquiária, no segundo período seco do experimento

A concentração de enxofre nas raízes do capim-braquiária foi afetada pelas doses de nitrogênio e de enxofre em apenas três avaliações das plantas no segundo ano experimental. Efeitos isolados das doses de nitrogênio e de enxofre na concentração de enxofre nas raízes também foram observados por Batista (2006) para o capim-marandu, que constatou terem as doses de nitrogênio promovido redução na concentração de enxofre nas raízes e as doses de enxofre, aumentado a concentração

de enxofre nas raízes. Bonfim-da-Silva (2005), para o capim-braquiária, verificou apenas efeito significativo das doses de nitrogênio e considerou que provavelmente a concentração de enxofre nas raízes diminuiu devido ao efeito diluição.

4.12 Atributos fertilidade do solo

4.12.1 pH em CaCl₂

A interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa para os valores de pH em CaCl₂ nas amostras de solo, nos dois anos experimentais. No final do primeiro período chuvoso, foi verificada significância para as doses de nitrogênio, e os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão nas profundidades 0-10 e 20-30 cm do solo e ao modelo quadrático de regressão na profundidade 10-20 cm do solo. Os valores de pH variam de 4,5 a 5,2 na profundidade de 0-10 cm do solo (Figura 43a), de 4,5 a 5,1 na profundidade de 10-20 cm do solo (Figura 43b) e de 4,6 a 5,1 na profundidade de 20-30 cm do solo (Figura 43c).

No final do primeiro período seco, nas profundidades 0-10 e 10-20 cm do solo, as doses de nitrogênio afetaram significativamente os valores de pH. Na profundidade de 0-10 cm do solo, os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão e na profundidade de 10-20 cm do solo, os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão, sendo que os valores de pH variaram de 4,3 a 4,9 nas profundidades 0-10 e 10-20 cm do solo, respectivamente (Figuras 44a e 44b).

Na profundidade 20-30 cm do solo coletada no final do período seco, os resultados de pH se ajustaram ao modelo linear para as doses de nitrogênio e ao modelo quadrático de regressão para as doses de enxofre, sendo que os valores de pH variaram de 4,5 a 5,0 (Figura 44c). Na profundidade 30-40 cm do solo, tanto para as doses de nitrogênio quanto para as doses de enxofre, os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão e os valores de pH variaram de 4,6 a 5,0 (Figura 44d).

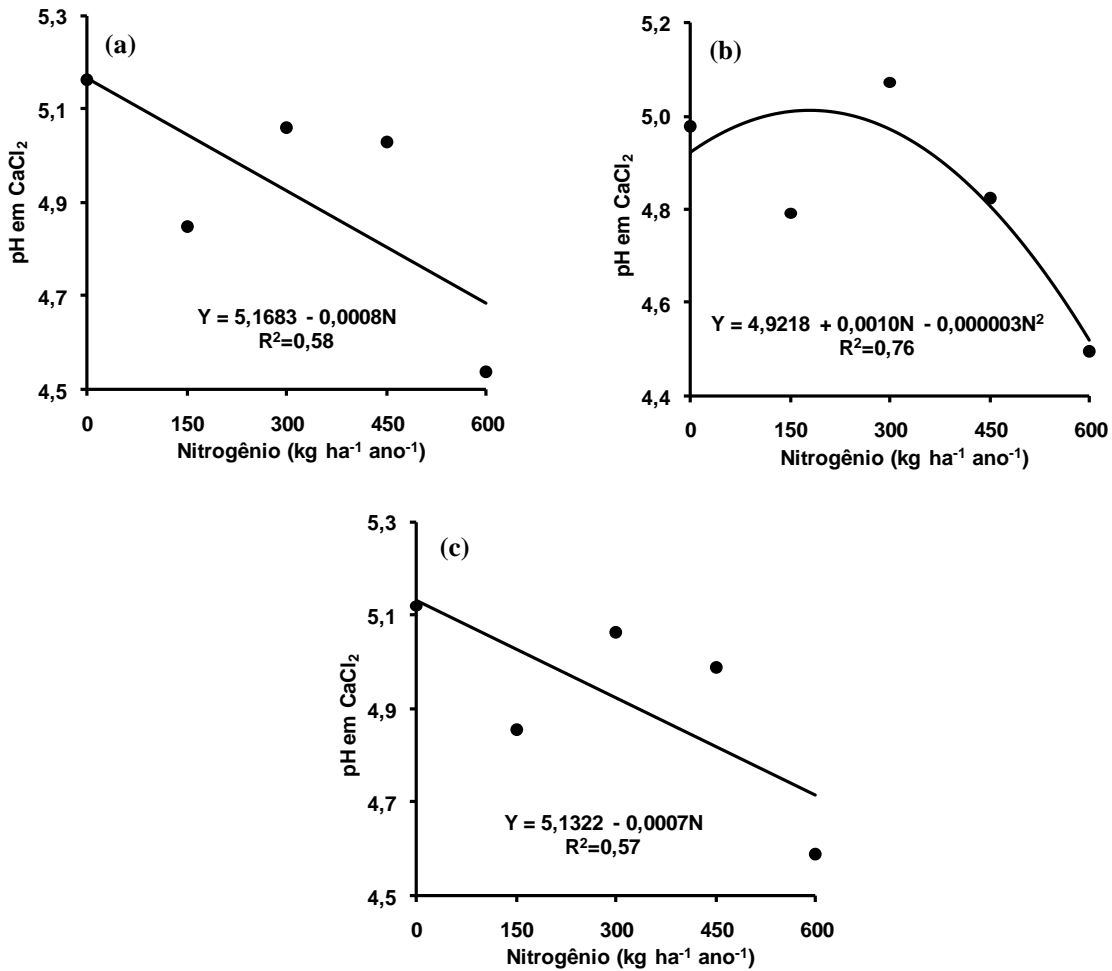


Figura 43 – Valores de pH em CaCl₂ nas profundidades de 0-10 cm (a), 10-20 cm (b) e 20-30 cm (c) do solo, no final do primeiro período chuvoso do experimento

Na amostragem de solo ao final do segundo período chuvoso, foi verificada significância para as doses de nitrogênio nos valores de pH e os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão, nas quatro profundidades avaliadas do solo. Os valores de pH variam de 4,1 a 5,0 em 0-10 cm (Figura 45a), de 4,1 a 4,9 em 10-20 cm (Figura 45b), de 4,3 a 5,0 em 20-30 cm (Figura 45c) e de 4,5 a 5,0 em 30-40 cm do solo (Figura 45d).

No final do segundo período seco, as doses de nitrogênio afetaram significativamente os valores de pH. Nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm do solo, os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão e na profundidade 30-40 cm do solo, ao modelo quadrático de regressão. Para essas profundidades, os

valores de pH variaram de 4,5 a 5,2 (Figura 46a), 4,2 a 5,0 (Figura 46b) e 4,3 a 5,1 (Figura 46c) e 4,3 a 5,0 (Figura 46d), respectivamente.

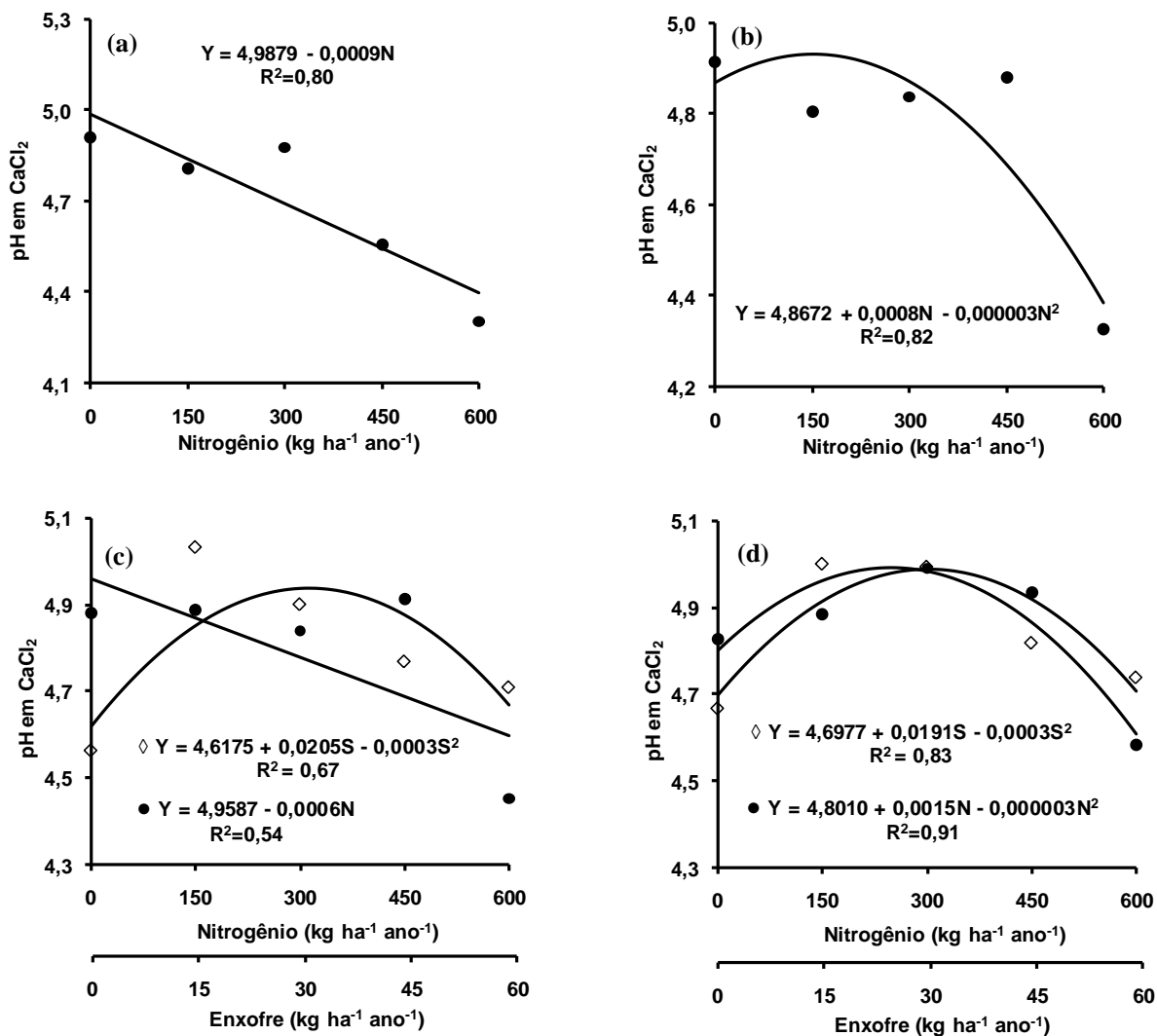


Figura 44 – Valores de pH em CaCl_2 nas profundidades de 0-10 cm (a), 10-20 cm (b), 20-30 cm (c) e 30-40 cm (d) do solo, no final do primeiro período seco do experimento

A queda nos valores de pH do solo (variação de 0,7 e 0,6 unidades) com o aumento de adubações nitrogenadas é um resultado bem conhecido, como consequência da liberação de hidrogênio quando se aplica amônio, pois quando o processo de nitrificação converte o íon amônio a nitrato, íons de hidrogênio são liberados, os quais causam acidez (RAIJ, 1991; HAVLIN et al., 2005). Decréscimos nos valores de pH do solo pela adição de doses de nitrogênio pode também ser observado

nos resultados de Bonfim-da-Silva (2005) para o capim-braquiária, Batista (2006) e De Bona (2008) para o capim-marandu.

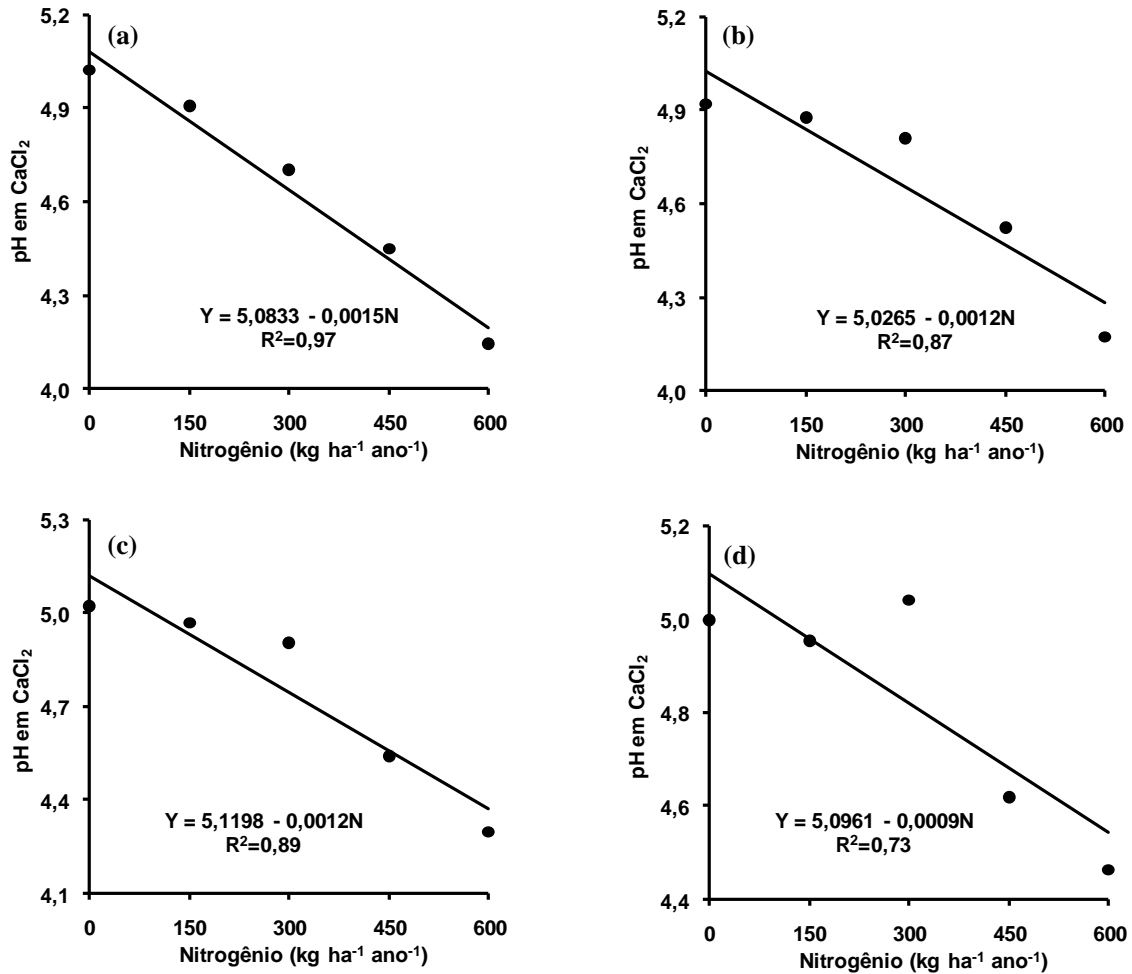


Figura 45 – Valores de pH em CaCl₂ nas profundidades de 0-10 cm (a), 10-20 cm (b), 20-30 cm (c) e 30-40 cm (d) do solo, no final do segundo período chuvoso do experimento

A redução do pH nas profundidades 20-30 e 30-40 cm (Figuras 43c, 44c, 44d, 45c, 45d, 46c e 46d) mostra que a acidificação provocada por adubos nitrogenados não se restringe apenas à camada superficial, mas afeta também a subsuperfície do solo, fato também observado por Costa et al. (2008). Segundo Carvalho et al. (1992), essa acidificação apresenta reflexos negativos na produtividade de pastagem, mesmo com o uso de espécies tolerantes à acidez, como as braquiárias. Esse fato pode ser observado nas Figuras 3 e 4 em que, a dose mais elevada (600 kg ha⁻¹ ano⁻¹) de

nitrogênio não foi responsável pelas maiores produtividades de massa do capim-braquiária.

Nos resultados em que os valores de pH foram afetados significativamente pelas doses de enxofre (Figuras 44c e 44d) podem ser explicados pelo fato do íon sulfato, quando oriundo da mineralização da matéria orgânica, acidificar o solo. O mesmo pode ocorrer quando sulfatos são adicionados ao solo em contrapartida de cátions básico (RAIJ, 1991). Batista (2006) afirmou que, os valores de pH do solo foram reduzidos com o aumento das doses de enxofre, devido aos fatos do enxofre ter sido fornecido na forma de sulfato de cálcio e do solo apresentar baixo teor de matéria orgânica, já que a quantidade de cálcio disponibilizada não foi suficiente para impedir a acidificação.

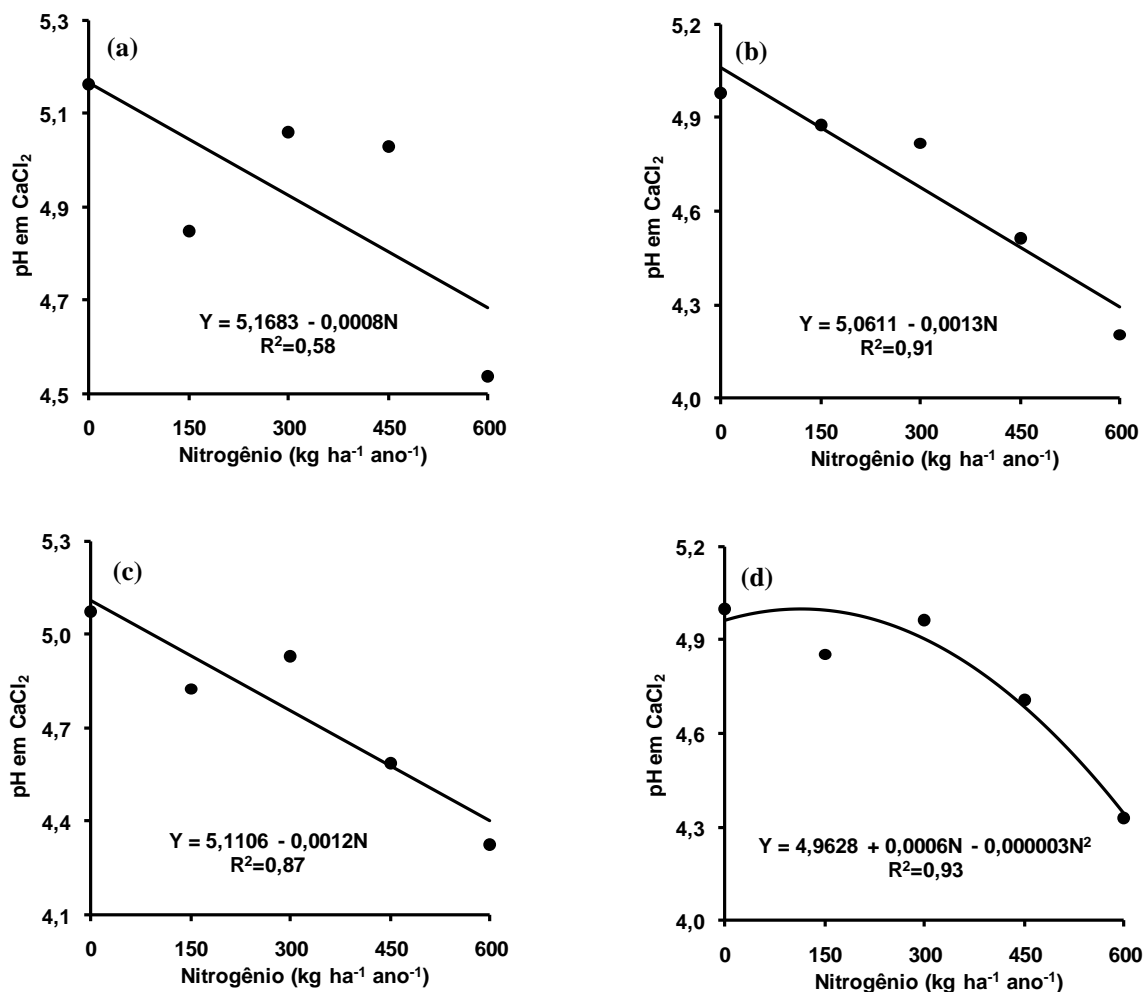


Figura 46 – Valores de pH em CaCl₂ nas profundidades de 0-10 cm (a), 10-20 cm (b), 20-30 cm (c) e 30-40 cm (d) do solo, no final do segundo período seco do experimento

4.12.2 Matéria orgânica

Na amostragem de solo no final do primeiro período chuvoso, a interação doses de nitrogênio x doses de enxofre foi significativa para o teor de matéria orgânica na profundidade 10-20 cm do solo e de acordo com o estudo de superfície de resposta, os teores mais elevados dessa variável foram encontrados quando não se forneceu nitrogênio e enxofre (Figura 47). Nas amostras de solo coletadas no final do primeiro período seco e do segundo período chuvoso e seco (segundo ano experimental), não foi observado efeito significativo das doses de nitrogênio e de enxofre para os teores de matéria orgânica no solo.

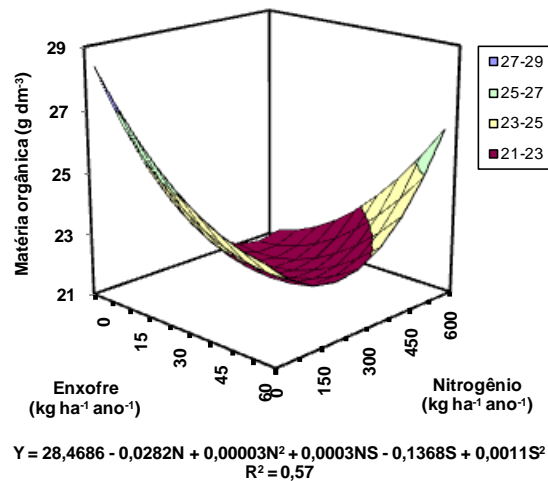


Figura 47 – Matéria orgânica na profundidade de 10-20 cm do solo, no final do primeiro período chuvoso do experimento

Os teores de matéria orgânica na profundidade 10-20 cm do solo no final do primeiro período chuvoso, na dose mais elevada de nitrogênio (600 kg ha⁻¹ ano⁻¹), aumentaram de 23,2 para 25,7 g dm⁻³, em relação à não-aplicação desse nutriente (Figura 47). Esse aumento nos teores de matéria orgânica pode ser justificado pela resposta da planta forrageira às doses de nitrogênio em produção de massa seca do capim-braquiária (Figuras 3 e 4). Hillesheim e Corsi (1990) relataram que as principais fontes de matéria orgânica na pastagem são perdas de forragem sob pastejo que ficam depositadas sobre o solo e que essas perdas são positivamente relacionadas com a altura das plantas.

Costa et al. (2008), trabalhando com doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu, verificaram que os teores de matéria orgânica do solo aumentaram com o incremento nas doses de nitrogênio, e que, nas doses mais elevadas desse nutriente, os teores de matéria orgânica aumentaram 48% para o sulfato de amônio e 42% para a uréia, em relação a não-aplicação de nitrogênio.

De Bona (2008), avaliando o teor de matéria orgânica de um solo cultivado com capim-marandu adubado com doses de nitrogênio e enxofre, afirmou que o aporte de carbono lábil via raízes mortas e/ou exsudados radiculares associado ao processo de reagregação do solo promoveram o aumento do teor da matéria orgânica no solo, após o primeiro corte e a retomada do crescimento das plantas.

4.12.3 Nitrogênio total

Nas amostras de solo coletadas no final dos primeiros períodos chuvoso e seco e no final do segundo período seco, a interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa nos teores de nitrogênio total nas profundidades avaliadas do solo. Respostas significativas também não foram encontradas para as doses individuais tanto de nitrogênio quanto de enxofre. Somente no final do segundo período chuvoso, as doses de nitrogênio afetaram significativamente os teores de nitrogênio total no solo e os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão, quando consideradas as amostras da profundidade 10-20 cm do solo e ao modelo quadrático de regressão na profundidade 30-40 cm do solo. Para essas respectivas profundidades, os teores de nitrogênio total no solo reduziram de 0,48 a 0,40 (Figura 48a) e 0,45 a 0,38 g kg⁻¹ (Figura 48b), na não-aplicação e dose mais elevada de nitrogênio, respectivamente.

O incremento nas doses de nitrogênio promoveu redução no teor de nitrogênio total no solo cultivado com capim-braquiária, e isto pode ser atribuído à mineralização e à extração do nitrogênio pelas plantas. Porém, Bonfim-da-Silva (2005), ao estudar os efeitos da aplicação de nitrogênio e enxofre para a recuperação de pastagem de capim-braquiária em degradação, observou que as doses de nitrogênio foram significativas para o aumento do teor de nitrogênio total no solo, em três períodos de crescimento das plantas.

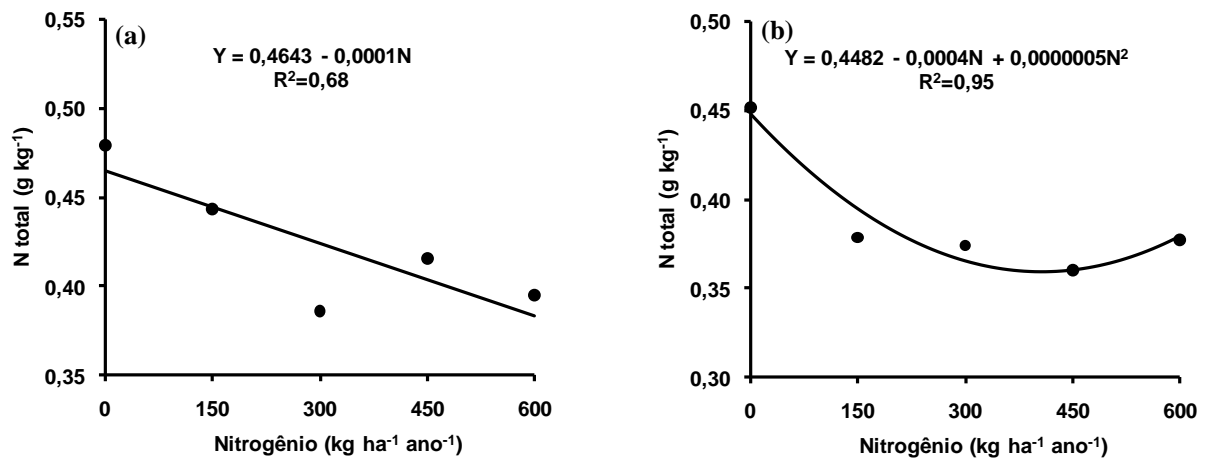


Figura 48 – Nitrogênio total nas profundidades de 10-20 cm (a) e 30-40 cm (b) do solo, no final do segundo período chuvoso do experimento

De Bona (2008) verificou que a adubação nitrogenada afetou positivo e linearmente o teor de nitrogênio total do solo amostrado no final do primeiro e do terceiro crescimento do capim-marandu e observou também interação doses de nitrogênio x doses de enxofre significativa para essa variável no solo coletado à época do segundo corte das plantas. Para o mesmo capim, Batista (2006) não encontrou significância da interação doses de nitrogênio x doses de enxofre, nem das doses individuais de nitrogênio e enxofre no teor de nitrogênio no solo, justificando-se que provavelmente todo o nitrogênio fornecido às plantas na adubação foi absorvido pelo capim-marandu, e acrescentou que os teores médios de nitrogênio total do solo foram de 0,5, 0,4 e 0,3 g kg⁻¹ nas amostras de solo coletadas no primeiro, segundo e terceiro cortes das plantas, respectivamente.

4.12.4 Nitrato

Nas amostras de solo coletadas no final dos períodos chuvosos e secos dos dois anos experimentais, a interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa para os teores de nitrato nas profundidades do solo. No final do segundo período chuvoso, as doses de nitrogênio afetaram significativamente os teores de nitrato e os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão. Os teores de nitrato

no solo variaram de 20 a 106 (Figura 49a), 18 a 92 (Figura 49b), 22 a 94 (Figura 49c) e 24 a 88 mg kg⁻¹ (Figura 49d), nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm do solo, respectivamente.

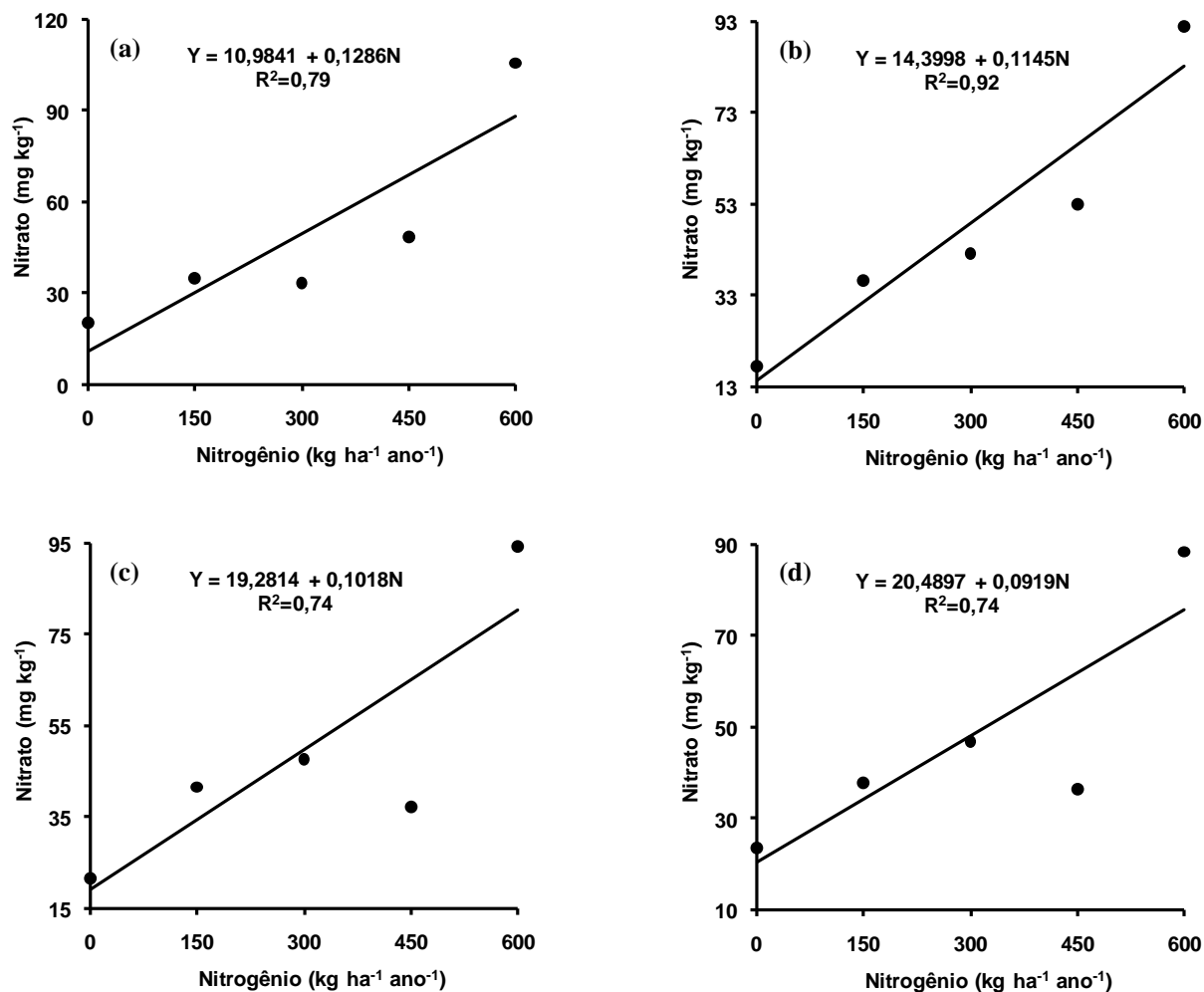


Figura 49 – Nitrato nas profundidades de 0-10 cm (a), 10-20 cm (b), 20-30 cm (c) e 30-40 cm (d) do solo, no final do segundo período chuvoso do experimento

Bonfim-da-Silva (2005) também reportou aumentos no teor de nitrato em resposta à aplicação de nitrogênio no solo com capim-braquiária e os teores mais elevados de nitrato no solo foram encontrados em condições de mais alto fornecimento de nitrogênio. Para o capim-marandu, Batista (2006) encontrou que o teor de nitrato nas amostras de solo coletadas à época do primeiro, segundo e terceiro cortes das plantas apresentou significância para as doses de nitrogênio, evidenciando que todo o

nitrogênio aplicado em doses elevadas não foi totalmente absorvido pelas plantas. Acrescentou que uma possível justificativa ao maior teor de nitrato no solo com o aumento das doses de nitrogênio seria falha na absorção do nitrato pelas plantas ou à reutilização desse nitrato pelos microrganismos do solo.

Como o experimento foi realizado a campo pode ter havido a movimentação de nitrato em profundidade do solo, ou seja, o nitrato pode ter se deslocado no solo, uma vez que, o teor de nitrato aumentou nas quatro profundidades do solo no segundo ano experimental. As amostras de terra coletadas ao final do primeiro período chuvoso, nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm do solo, apresentaram teores de nitrato de 21, 22, 19 e 16 mg kg⁻¹, respectivamente, e ao final do segundo período chuvoso, os teores de nitrato aumentaram para 50, 49, 50 e 48 mg kg⁻¹, nessas respectivas profundidades do solo.

4.12.5 Amônio

Nas amostras de solo coletadas no final do primeiro período chuvoso e no final do segundo período seco, a interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa para os teores de amônio nas profundidades do solo. Porém, essa interação foi significativa para os teores de amônio nas profundidades 0-10 e 10-20 cm do solo, no final do primeiro período seco, e o estudo da superfície de reposta mostrou que a associação da dose mais elevada de nitrogênio (600 kg ha⁻¹ ano⁻¹) com a dose mais elevada de enxofre (60 kg ha⁻¹ ano⁻¹) foi a que resultou nos teores mais elevados de amônio (Figuras 50a e 50b).

As doses de nitrogênio e de enxofre, separadamente, foram significativas para os teores de amônio nas profundidades 20-30 e 30-40 cm do solo. Nessas profundidades do solo, os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão para as doses de nitrogênio e os teores de amônio variaram de 61 a 100 (Figura 50c) e 60 a 95 mg kg⁻¹ (Figura 57d), respectivamente. Para as doses de enxofre, na profundidade 20-30 cm do solo, os resultados dos teores de amônio se ajustaram ao modelo quadrático de regressão e ao modelo linear de regressão na profundidade 30-40 cm do solo. Os teores de amônio no solo variaram de 66 a 86 (Figura 50c) e 65 a 93 mg kg⁻¹ (Figura

50d) com as doses de enxofre, nas profundidades 20-30 e 30-40 cm do solo, respectivamente.

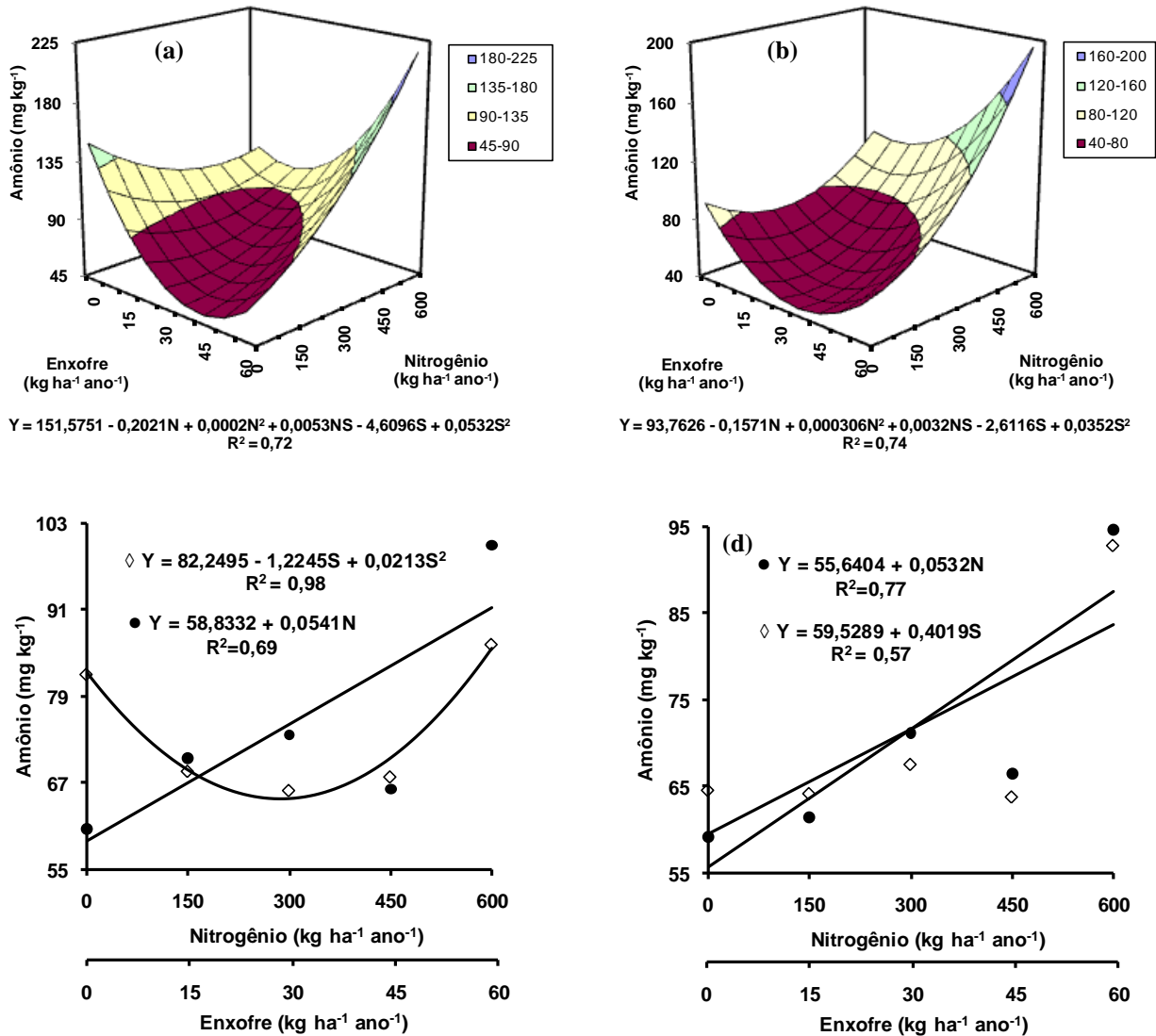


Figura 50 – Amônio nas profundidades de 0-10 cm (a), 10-20 cm (b), 20-30 cm (c) e 30-40 cm (d) do solo, no final do primeiro período seco do experimento

Os resultados reportados no presente trabalho mostram que o teor de amônio foi superior ao do nitrato nas profundidades avaliadas do solo. Bonfim-da-Silva (2005), trabalhando com capim-braquiária em degradação e adubado com nitrogênio e enxofre, encontrou significância para as doses de nitrogênio nas amostras coletadas na época do segundo e do terceiro cortes do capim e verificou também que o teor de amônio foi superior ao de nitrato no solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Batista

(2006) no segundo corte do capim-marandu, quando observou significância das doses de nitrogênio para o teor de amônio no solo e mostrou que esse teor foi maior que o de nitrato.

A predominância da forma amoniacal em relação à forma nítrica em solos de pastagens ou de florestas foi relatada por Niell et al. (1997), Vasconcellos et al. (2001) e Moreira e Siqueira (2002). Esses autores atribuíram maiores teores de amônio do que nitrato à inibição da nitrificação devido a substâncias excretadas por raízes de gramíneas e monoterpenos liberados pelas árvores, sendo que o baixo pH também contribui para isso. Entre os fatores que influenciam o processo de nitrificação, existem aqueles que controlam os teores de nitrato e amônio no solo e são os inibidores das atividades da uréase e da ação dos microrganismos nitrificadores (CLARK; PAUL, 1970; VICTORIA et al., 1988).

A redução no processo de nitrificação do amônio no solo também pode ser explicado pela diminuição do pH do solo em razão da aplicação de elevadas doses de nitrogênio (COSTA et al., 2008). Bissani et al. (2004) destacaram que em pH baixo a nitrificação é afetada devido à especialização das bactérias nitrificadoras, que exigem pH mais elevado. Em clima seco ou pH baixo, o processo de nitrificação pode paralisar-se bem antes da mineralização da matéria orgânica.

4.12.6 Sulfato

A interação doses de nitrogênio x doses de enxofre foi significativa para os teores de sulfato na profundidade de 10-20 cm do solo, no final do primeiro período chuvoso. O estudo de superfície de resposta mostrou que as doses de nitrogênio de 0 a 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹ combinadas com as doses mais elevadas de enxofre de 45 a 60 kg ha⁻¹ ano⁻¹ foram responsáveis pelos teores mais elevados de sulfato nessa profundidade do solo (Figura 51a). Isto pode ser explicado pelo fato de que, quando não se aplicou nitrogênio ou se forneceu nitrogênio em doses relativamente menores, as plantas cresceram menos e absorveram menos enxofre do que as adubadas com elevadas doses de nitrogênio. As doses de enxofre afetaram significativamente o teor de sulfato na profundidade 20-30 cm do solo e os resultados se ajustaram ao modelo

linear de regressão, tendo os valores de sulfato variado de 1,8 a 2,5 mg dm⁻³, nessa profundidade do solo (Figura 51b).

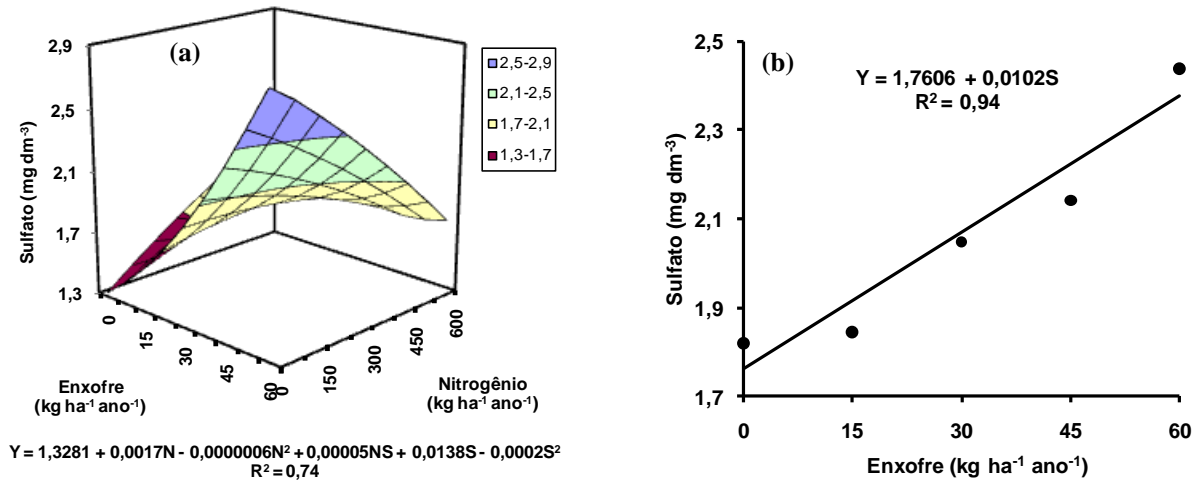


Figura 51 – Sulfato nas profundidades de 10-20 cm (a) e 20-30 cm (b) do solo, no final do primeiro período chuvoso do experimento

A interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa para os teores de sulfato no solo, tanto para as amostras de terra do final do segundo período chuvoso quanto do seco. As doses de enxofre afetaram significativamente os teores de sulfato nas profundidades 10-20 e 20-30 cm do solo no final do segundo período chuvoso e os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão. Os valores de sulfato variaram de 0,6 a 2,4 (Figura 52a) e 0,6 a 2,3 mg dm⁻³ (Figura 52b), nas profundidades 10-20 e 20-30 cm do solo, respectivamente.

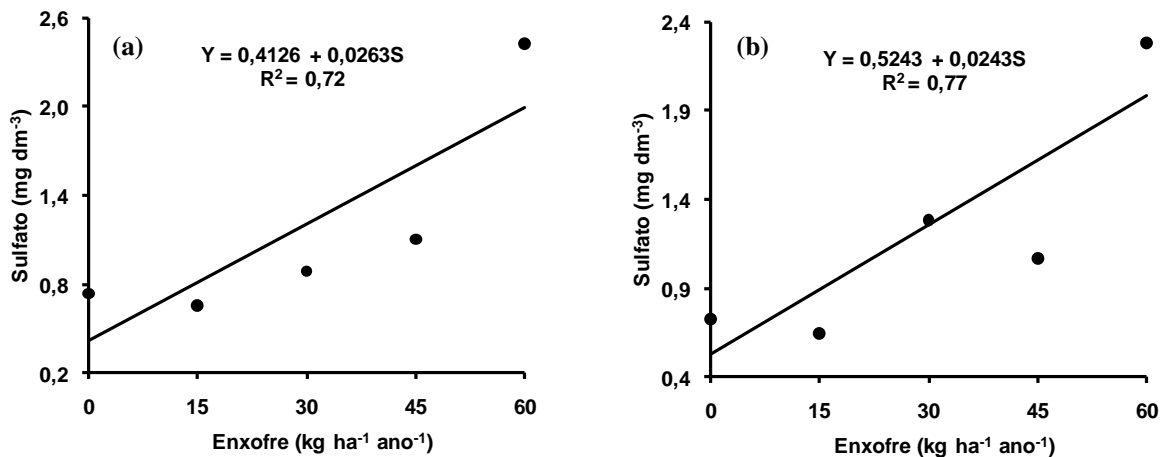


Figura 52 – Sulfato nas profundidades 10-20 cm (a) e 20-30 cm (b) do solo, no final do segundo período chuvoso do experimento

De acordo com as interpretações dos teores de sulfato ($S-SO_4^{2-}$) no solo, em análises de amostras de solo do estado de São Paulo realizadas por Vitti (1989), os teores de $S-SO_4^{2-}$ apresentados nesse experimento foram muito baixos (inferiores a $2,5 \text{ mg dm}^{-3}$). Segundo Macedo (2004), teores de $S-SO_4^{2-}$ no solo acima de 10 mg dm^{-3} são considerados suficientes para o estabelecimento de pastagens, nas condições brasileiras. Portanto, a dose de gesso como fonte de enxofre não foi suficiente para elevar os teores de sulfato no solo, mesmo que, para pastagens bem supridas com nitrogênio e fósforo, as doses consideradas adequadas de enxofre, na forma de gesso, variam de $30 \text{ a } 50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (VITTI; NOVAES, 1986; WERNER; MONTEIRO, 1988).

A análise química do solo realizada antes da instalação do experimento mostrou $S-SO_4^{2-}$ de $8,4 \text{ mg dm}^{-3}$ na profundidade 0-20 cm do solo e no decorrer dos anos experimentais os teores de $S-SO_4^{2-}$ no solo decresceram, e mostraram teores de $2,1 \text{ mg dm}^{-3}$ na profundidade 0-10 cm do solo, $1,6 \text{ mg dm}^{-3}$ na profundidade 10-20 cm do solo e $1,7 \text{ mg dm}^{-3}$ nas profundidades 20-30 e 30-40 cm do solo. Portanto, pode-se afirmar que, possivelmente as plantas extraíram $S-SO_4^{2-}$ prontamente disponível do solo, já que a produção da planta não ocorreu em função da decomposição da matéria orgânica do solo como fonte de enxofre.

4.12.7 Bases trocáveis do solo

4.12.7.1 Potássio trocável

A interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa para os teores de potássio no solo, para todas as amostras de terra coletadas em todos os períodos de avaliação. As doses de nitrogênio influíram significativamente nos teores de potássio do solo no final do primeiro período chuvoso, tendo os resultados ajustados ao modelo linear de regressão e o potássio trocável decresceu de $0,5 \text{ a } 3,6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na profundidade 0-10 cm do solo (Figura 53).

Para a profundidade 0-10 cm do solo, coletada no final do segundo período chuvoso, as doses de enxofre afetaram significativamente os teores de potássio do solo

e os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão, tendo o potássio trocável variado de 0,6 a 1,6 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ (Figura 54).

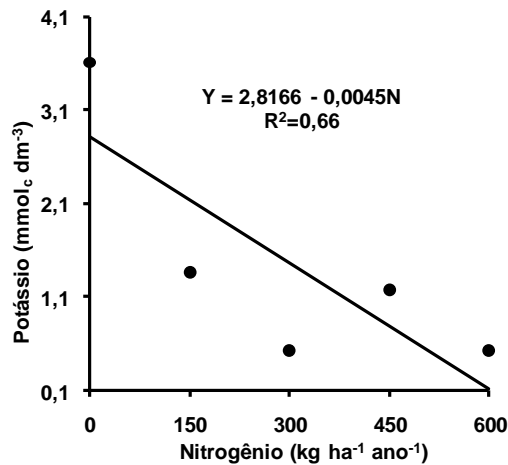


Figura 53 – Potássio trocável na profundidade de 0-10 cm do solo, no final do primeiro período chuvoso do experimento

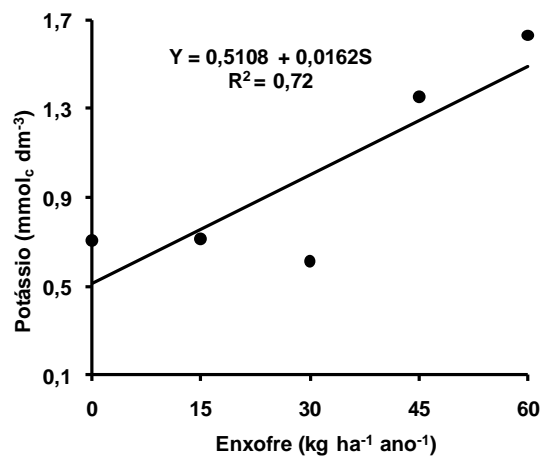


Figura 54 – Potássio trocável na profundidade de 0-10 cm do solo, no final do segundo período chuvoso do experimento

A análise química do solo realizada antes da instalação do experimento mostrou teores de potássio de 1,75 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ na profundidade 0-20 cm do solo e no decorrer dos períodos de avaliação, o teor de potássio no solo decresceu para 0,9 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ nessa profundidade do solo. Esse fato pode ser explicado pelos incrementos na retirada de potássio do solo em função dos aumentos na produção do capim-braquiária devido à

adubação nitrogenada, ou seja, as plantas extraíram potássio do solo. Pode também ser devido à lixiviação de potássio no solo, ou então, a adubação potássica de 30 kg ha⁻¹ ano⁻¹ não foi suficiente em manter o teor inicial de potássio no solo.

4.12.7.2 Cálcio trocável

A interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa para os teores de cálcio trocável no solo em todas as amostras de terra coletadas nos dois anos de experimento. As doses de nitrogênio e de enxofre, separadamente, influenciaram significativamente os teores de cálcio do solo no final do primeiro período seco. Os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão, e os teores de cálcio atingiram o máximo nas doses de nitrogênio de 222 (Figura 55a) e 225 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Figura 55b), quando se consideram as profundidades 0-10 e 10-20 cm do solo, respectivamente. Para as doses de enxofre, o teor de cálcio foi máximo quando se forneceu a dose de enxofre de 30 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Figura 55c).

As doses de nitrogênio e de enxofre, separadamente, afetaram significativamente os teores de cálcio trocável na profundidade 0-10 cm do solo no final do segundo período chuvoso. Os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão, e os teores de cálcio trocável decresceram de 9,0 a 3,9 mmol_c dm⁻³ para as doses de nitrogênio e aumentou de 4,7 a 7,1 mmol_c dm⁻³ para as doses de enxofre (Figura 56a). Para esse mesmo período, também foi observado significância para as doses de nitrogênio nos teores de cálcio trocável nas profundidades do solo de 10-20, e 20-30 cm e os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão. Os teores de cálcio trocável decresceram de 7,8 a 4,3 (Figura 56b) e 7,8 a 4,8 mmol_c dm⁻³ (Figura 56c) nas profundidades 10-20 e 20-30 cm do solo, respectivamente.

No segundo período seco, as doses de enxofre foram significativas para os teores de cálcio trocável na profundidade 0-10 cm do solo, enquanto as doses de nitrogênio afetaram significativamente os teores de cálcio nas profundidades 10-20, 20-30 e 30-40 cm do solo e os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão. Os teores de cálcio trocável, na camada 0-10 cm do solo, variaram de 6,1 a 9,1 mmol_c dm⁻³ para as doses de enxofre (Figura 57a), e para as doses de nitrogênio, decresceram de

10,6 a 5,1 (Figura 57b), 10,2 a 6,7 (Figura 57c) e 10,7 a 6,7 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ (Figura 57d) nas profundidades 10-20, 20-30 e 30-40 cm do solo, respectivamente.

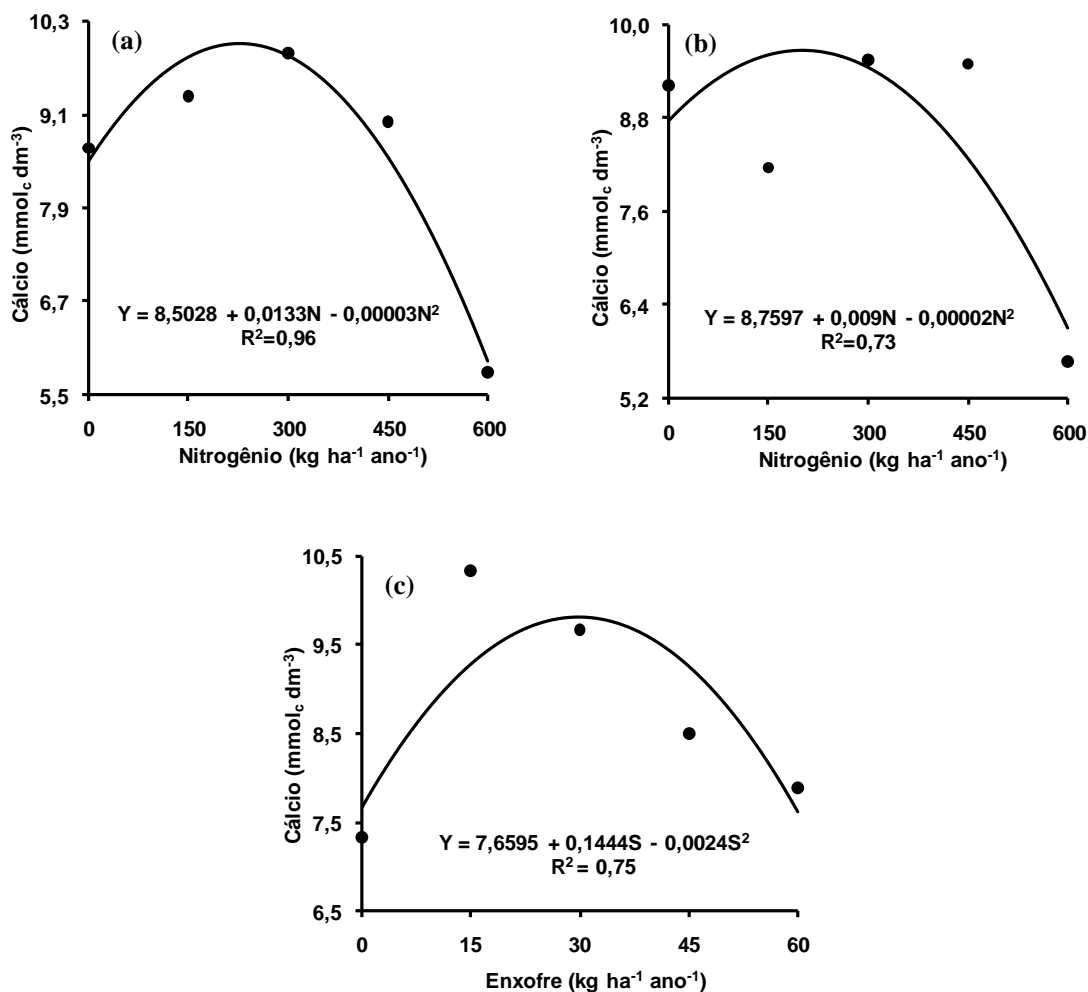


Figura 55 – Cálcio trocável nas profundidades de 0-10 cm (a), 10-20 cm (b) e 20-30 cm (c) do solo, no final do primeiro período seco do experimento

As doses de nitrogênio isoladas afetaram negativa e significativamente o teor de cálcio em todas as profundidades avaliadas do solo, ou seja, o aumento das doses de nitrogênio proporcionou incrementos na produção do capim-braquiária, conseqüentemente, as plantas adubadas com elevadas doses de nitrogênio extraíram mais cálcio do solo do que as plantas que não receberam adubação nitrogenada. Por outro lado, as doses de enxofre alteraram positiva e significativamente o teor de cálcio na profundidade 0-10 cm do solo (Figuras 56a, 57a), porque o gesso apresenta cálcio

em sua composição e foi aplicado na superfície do solo. Na profundidade 20-30 cm do solo, não foi observado esse mesmo comportamento com relação ao gesso, pois o aumento nas doses de enxofre diminuiu o teor de cálcio no solo (Figura 55c). Devido, possivelmente, ao fato de ter ocorrido lixiviação de cálcio nessa profundidade, uma vez que os teores de cálcio foram inferiores aos das outras profundidades (teores de cálcio no solo de $11,9 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na profundidade 0-10 cm do solo, de $8,8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na profundidade 10-20 cm do solo, de $6,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na profundidade 20-30 cm do solo e de $8,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na profundidade 30-40 cm do solo).

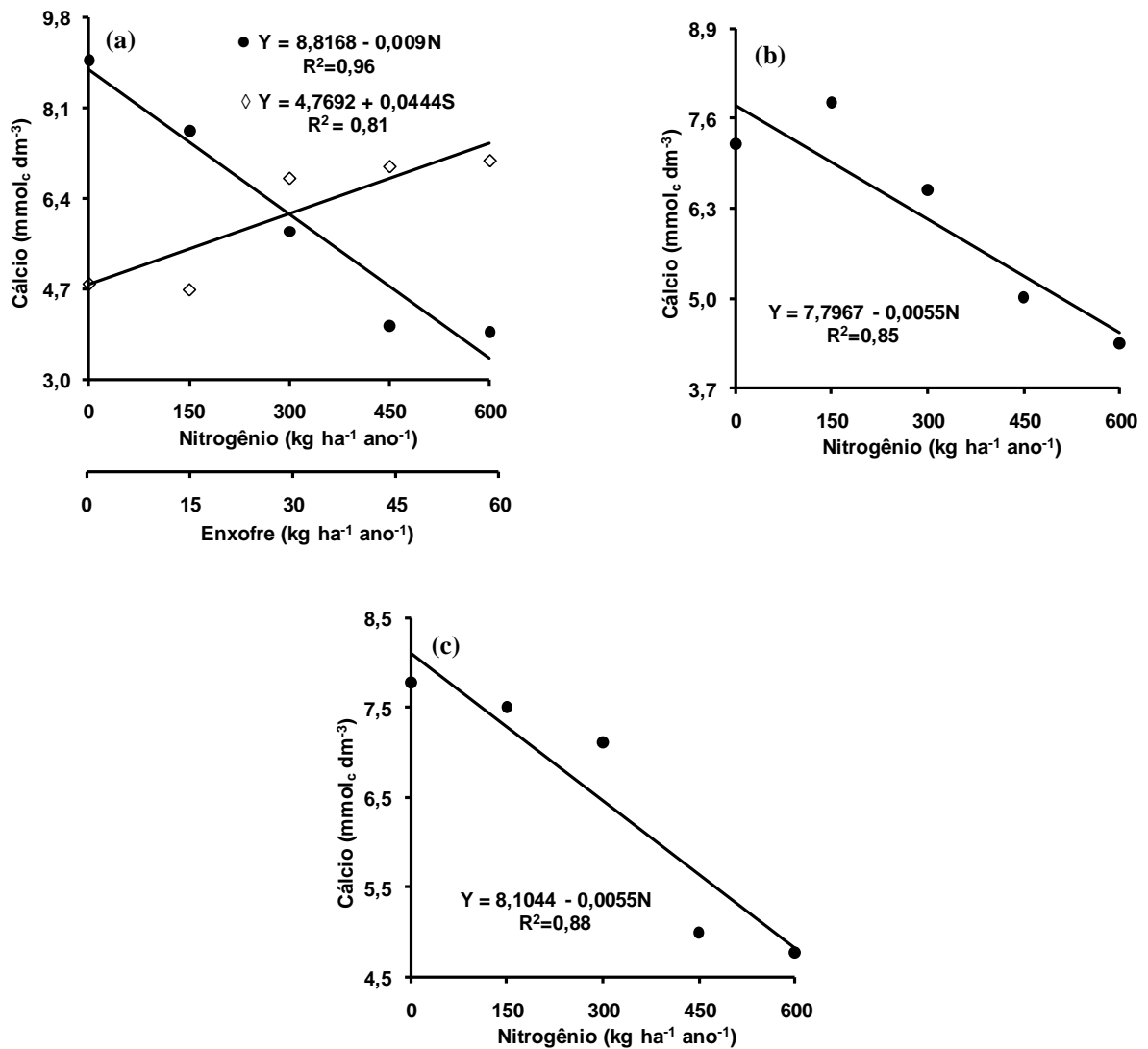


Figura 56 – Cálcio trocável nas profundidades de 0-10 cm (a), 10-20 cm (b) e 20-30 cm (c) do solo, no final do segundo período chuvoso do experimento

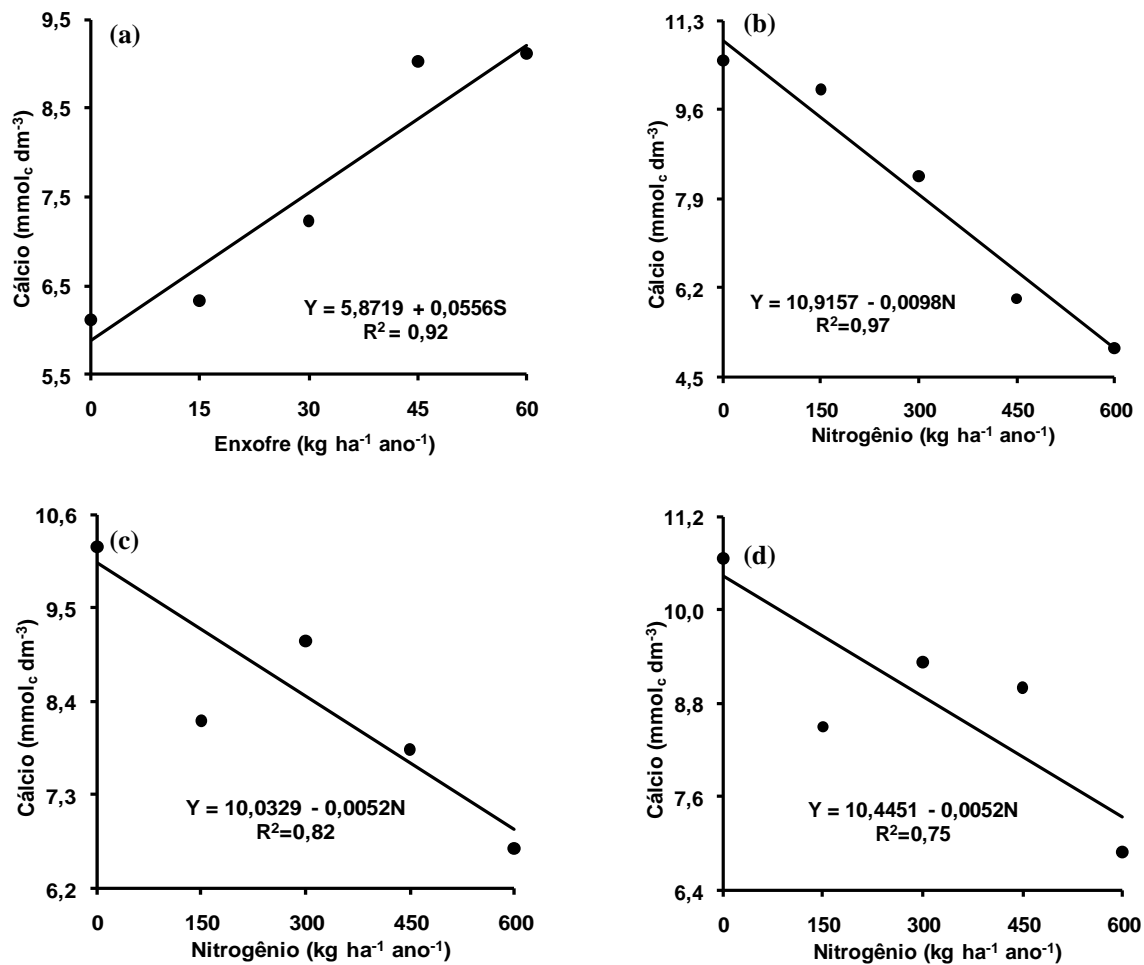


Figura 57 – Cálcio trocável nas profundidades de 0-10 cm (a), 10-20 cm (b), 20-30 cm (c) e 30-40 cm (d) do solo, no final do segundo período seco do experimento

4.12.7.3 Magnésio trocável

A interação doses de nitrogênio x doses de enxofre não foi significativa para os teores de magnésio trocável no solo em todas as amostras de terra coletadas nos períodos chuvosos e secos nos dois anos experimentais, porém observou-se significância para as doses de nitrogênio. No final do primeiro período chuvoso, os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão e os teores de magnésio trocável variaram de 4,9 a 8,4 mmol_c dm⁻³ na profundidade 10-20 cm do solo (Figura 58).

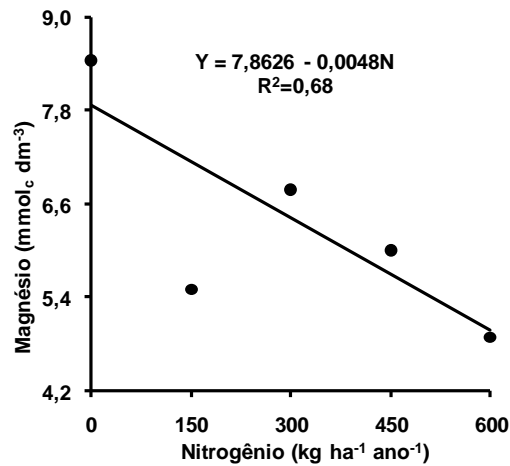


Figura 58 – Magnésio trocável nas profundidades de 10-20 cm do solo, no final do primeiro período chuvoso do experimento

No final do segundo período chuvoso, os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão e os teores de magnésio trocável reduziram com as doses de nitrogênio de 5,7 a 3,0 (Figura 59a), 4,8 a 3,0 (Figura 59b), 5,0 a 2,6 (Figura 59c) e 5,0 a 2,7 mmol_c dm⁻³ (Figura 59d) nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm do solo, respectivamente. Nas amostras coletadas no final do segundo período seco, os resultados se ajustaram ao modelo linear de regressão e os teores de magnésio trocável reduziram de 4,6 a 1,8 (Figura 60a), 4,4 a 1,9 (Figura 60b) e 4,1 a 1,6 mmol_c dm⁻³ (Figura 60c) nas profundidades 10-20, 20-30 e 30-40 cm do solo, respectivamente, com a aplicação de nitrogênio.

As doses de nitrogênio isoladas afetaram negativa e significativamente o teor de magnésio no solo, enquanto as doses de gesso não foram suficientemente elevadas para promover a remoção das bases do solo (magnésio, mais precisamente). Para a não-aplicação de nitrogênio, o teor de magnésio foi de 6,8; 6,2; 5,8 e 5,4 mmol_c dm⁻³ nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm do solo, respectivamente e com a dose mais elevada de nitrogênio (600 kg ha⁻¹ ano⁻¹) foi reduzido para 4,6; 3,3; 3,2 e 3,4 mmol_c dm⁻³, respectivamente para as profundidades avaliadas do solo. Os teores de magnésio diminuíram com as profundidades do solo, devido ao fato da baixa mobilidade deste elemento no perfil do solo, e também, do capim-braquiária ter recebido calagem superficial, acumulando magnésio nas camadas superficiais do solo.

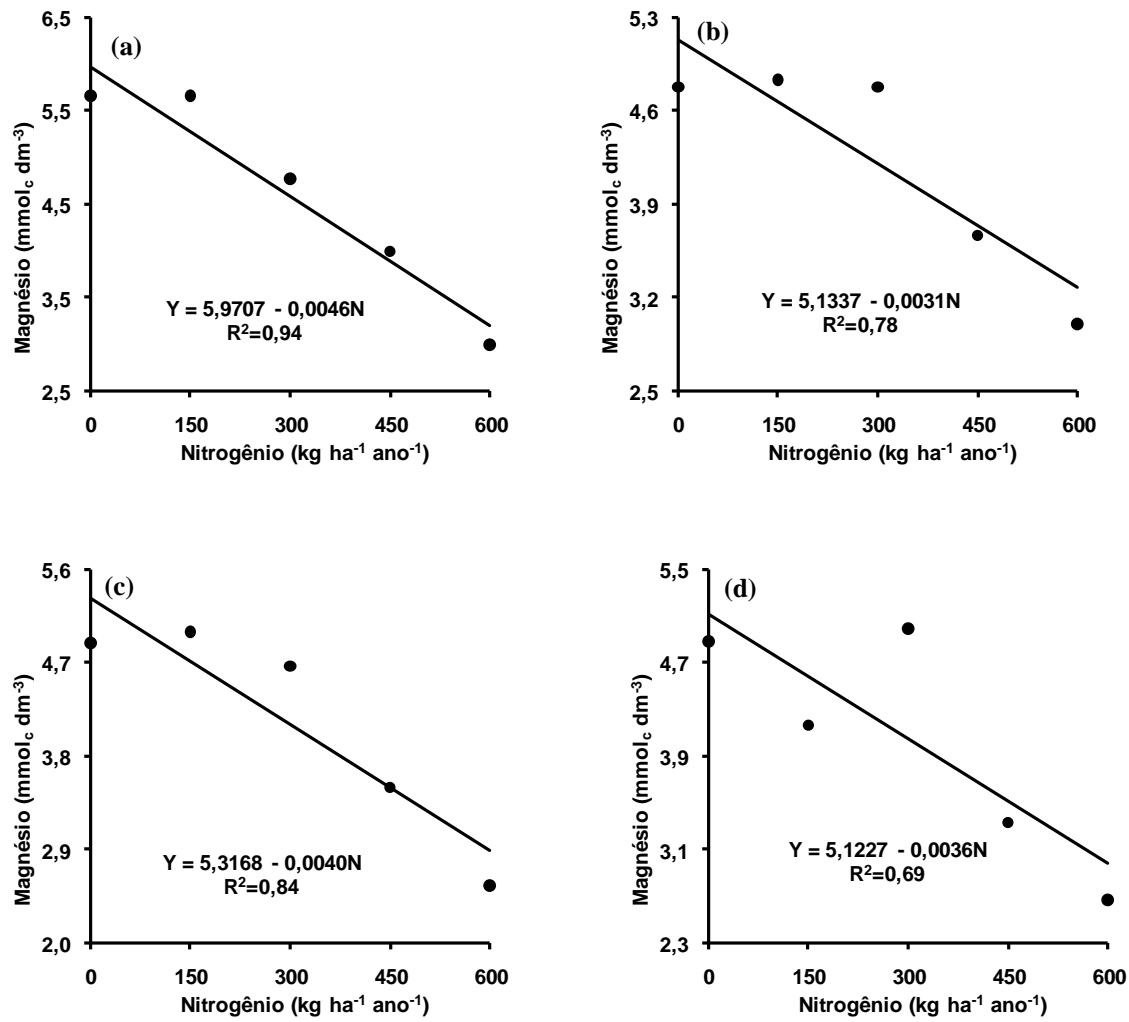


Figura 59 – Magnésio trocável nas profundidades de 0-10 cm (a), 10-20 cm (b), 20-30 cm (c) e 30-40 cm (d) do solo, no final do segundo período chuvoso do experimento

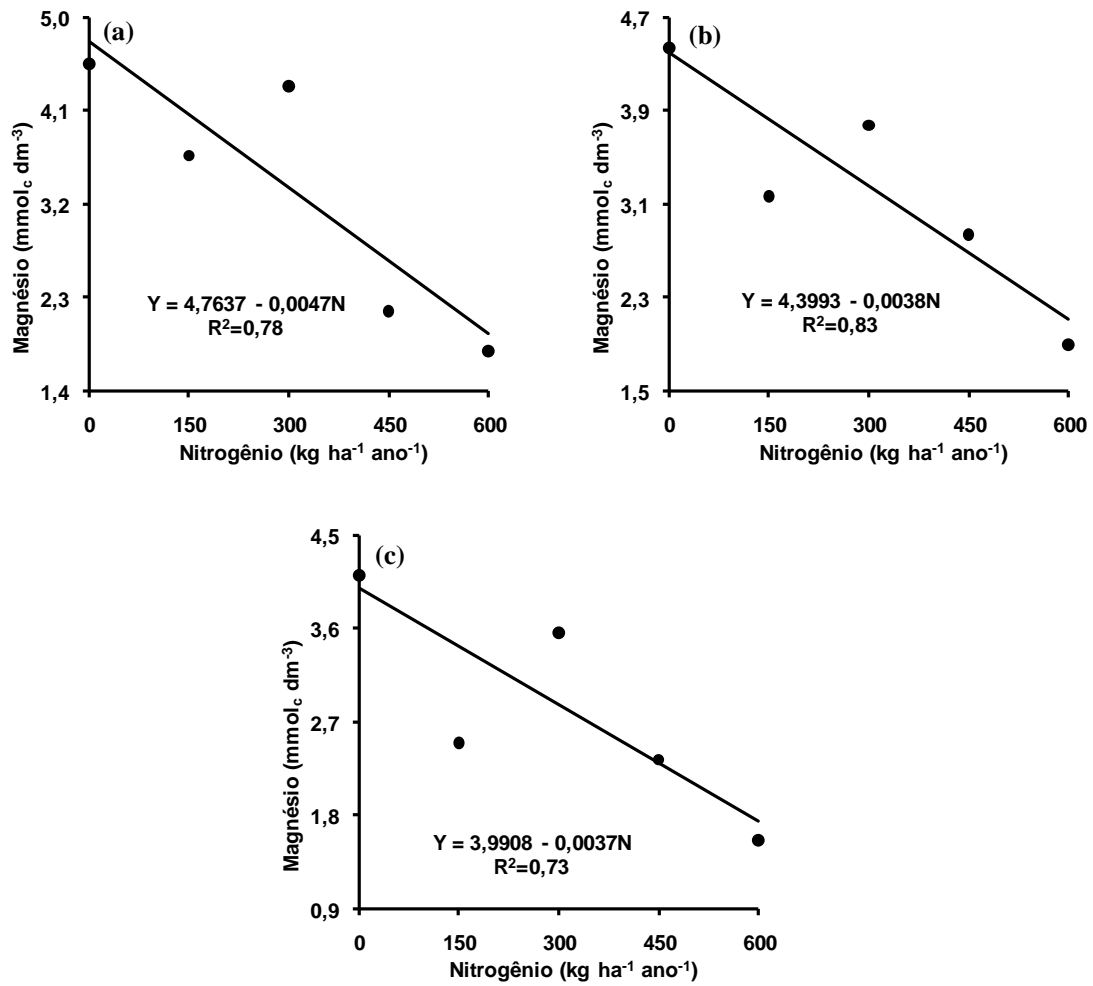


Figura 60 – Magnésio trocável nas profundidades de 10-20 cm (a), 20-30 cm (b) e 30-40 cm (c) do solo, no final do segundo período seco do experimento

5 CONCLUSÕES

As combinações de doses de nitrogênio e de enxofre promoveram a recuperação da produtividade do capim-braquiária no primeiro período chuvoso e no primeiro ano, enquanto a adubação nitrogenada foi responsável pelo aumento da massa de forragem nos dois períodos secos, no segundo período chuvoso e no segundo ano de experimento;

As doses de nitrogênio aumentaram o índice de área foliar e a concentração de nitrogênio nas folhas diagnósticas em todas as avaliações do capim-braquiária;

Os valores SPAD aumentaram com as doses de nitrogênio e de enxofre nos dois anos de avaliação da pastagem;

A não-aplicação de enxofre na adubação da pastagem resultou em deficiência desse nutriente na forragem, mostrada pelas baixas concentrações do nutriente e elevadas relações N:S nas folhas diagnósticas;

As doses de nitrogênio e de enxofre foram responsáveis por alterações nas raízes, em termos de massa seca, comprimento, superfície e concentração desses nutrientes;

A aplicação de doses elevadas de nitrogênio proporcionou aumentos nos teores de matéria orgânica, nitrato e amônio no solo, com os teores de amônio sendo mais elevados que os de nitrato, e reduções no pH, teor de nitrogênio total e bases trocáveis do solo. Incrementos nos teores de sulfato, amônio, potássio e cálcio trocáveis no solo foram obtidos com as doses de enxofre.

REFERÊNCIAS

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

ALVIM, M.J.; XAVIER, D.F.; VERNEQUE, R.S.; BOTREL, M.A. Resposta do tifton 85 a doses de nitrogênio e intervalos de cortes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, p. 2345-2352, 1999.

ANGHINONI, I.; MEURES, E.J. Eficiência de absorção de nutrientes pelas raízes. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: metodologias e estudo de casos, 1999, Aracaju. **Anais...** Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 1999. p. 57-87.

BAHMANI, I. **Tiller dynamics and leaf growth processes of the perennial ryegrass cultivars “Ellet” and “Grasslands Ruanui” as influenced by environmental factors.** 1999. 198 p. Thesis (Doctor of Philosophy in Plant Science) – Institute of Natural Resources, Massey University, Palmerston North, 1999.

BARCELLOS, A.O. Sistemas extensivos e semi-intensivos de produção: pecuária bovina de corte nos Cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO, 8., 1996, Brasília. **Anais...** Planaltina: EMBRAPA, CPAC, 1996. p. 130-136.

BARKER, D.J.; ZHANG, D.M.; MACKAY, A.D. Root distribution in a low fertility hill country sward grazed by sheep. **New Zealand Journal of Experimental Agriculture**, Wellington, v. 16, p. 73-76, 1988.

BATISTA, K. **Nitrogênio e enxofre implantação do capim-marandu em substituição ao capim-braquiária em degradação num solo com baixa matéria orgânica.** 2006. 125 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

BATISTA, K.; MONTEIRO, F.A. Sistema radicular do capim-marandu, considerando as combinações de doses de nitrogênio e de enxofre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 821-828, 2006.

BEATON, J.D.; BURNS, G.R.; PLATOU, J. **Determination of sulphur in soils and plant material.** Washington: The Sulphur Institute, 1968. 56 p. (Technical Bulletin, 14).

BISSANI, C.A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J.; CAMARGO, F.A.D.O. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas.** Porto Alegre: Gênese, 2004. 328 p.

BODDEY, R.M.; MACEDO, R.; TARRÉ, R.M.; FERREIRA, E.; OLIVEIRA, O.C.; REZENDE, C.P.; CANTARUTTI, R.B.; PEREIRA, J.M.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. Nitrogen cycling in *Brachiaria* pastures: the key to understanding the process of pasture decline. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 103, p. 389-403, 2004.

BOHNEN, H. Acidez do solo: origem e correção. In: KAMINSKI, J. (Coord.). **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: SBCS, Núcleo Regional Sul, 2000. p. 9-20. (SBCS. Núcleo Regional Sul. Boletim Técnico, 4).

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. 123 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

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

BRASIL, F.C.; STOCCO, F.C.; PESSANHA, A.L.; SOUTO, R.L.; ZONTA, E.; ROSSELO, R.O.P. Distribuição e variação temporal de características radiculares de *Brachiaria humidicola* em um Planossolo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., 2000, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SBZ, 2000. 1 CD-ROM.

BREMNER, J. M. Nitrogen: total. In: SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. **Methods of soil analysis**. Madison: SSSA Books Series, 2002. pt. 3: Chemical methods, chap. 37, p.921-960.

BROUGHAM, R.M. Effects of intensity of defoliation on regrowth of pasture. **Australian Journal of Agriculture Research**, Collingwood, v. 7, p. 377-387, 1956.

BROWER, R. Nutritive influences on the distribution of dry matter in the plant. **Journal of Agricultural Science**, New York, v. 10, p. 342-399, 1962.

BROWN, R.H.; BLASER, R.E. Leaf area index in pasture growth. **Herbage Abstract**, Farnham Royal, v. 38, p. 1-9, 1968.

BROWN, L.; SCHOLEFIELD, D.; JEWKES, E.C.; PREEDY, N.; WADGE, K.; BUTLER, M. The effect of sulphur application on the efficiency of nitrogen use in two contrasting grassland soils. **Journal of Agricultural Science**, New York, v. 135, p. 131-138, 2000.

BULLOCK, D.G.; ANDERSON, D.S. Evaluation of the Minolta SPAD-502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 21, p. 741-755, 1998.

CANTARELLA, H.; PROCHNOW, L.I. Determinação de sulfato em solos. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Coord.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. cap. 14, p. 225-230.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O. Determinação de nitrogênio inorgânico em solo pelo método da destilação a vapor. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Coord.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. cap. 19, p. 270-276.

CANTARUTTI, R.B.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; COSTA, O.V. Impacto do animal sobre o solo: compactação e reciclagem de nutrientes. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001. p. 826-837.

CARVALHO, M.M.; MARTINS, C.E.; SIQUEIRA, C.; SARAIVA, O.F. Crescimento de uma espécie de braquiária, na presença de calagem em cobertura e doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p.69-74, 1992.

CARVALHO, M.M.; MARTINS, C.E.; VERNEQUE, R.S.; SIQUEIRA, C. Resposta de uma espécie de *Brachiaria* à fertilização com nitrogênio e potássio em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 195-200, 1991.

CASAGRANDE, J.C.; SOUZA, O.L. Efeitos de níveis de enxofre sobre quatro gramíneas forrageiras tropicais em solo sob vegetação de cerrado do Mato Grosso do Sul, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, p.21-25, 1982.

CECATO, U.; JOBIM, C.C.; REGO, F.C.A.; LENZI, A. Sistema radicular – componente esquecido das pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 2., 2004, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2004. p. 159-207.

CHAPMAN, D.F.; LEMAIRE, G. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. In: BAKER, M.J. (Ed.). **Grasslands for our world**. Wellington: SIR, 1993. chap. 3, p. 55-64.

CLARK, F.E.; PAUL, E.A. The microflora of grassland. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 22, p. 375-435, 1970.

CORSI, M.; NUSSIO, L.G. Manejo do capim elefante: correção e adubação do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 10., 1993, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1993. p. 87-116.

CORSI, M.; SILVA, R.T.L. Fatores que afetam a composição mineral de plantas forrageiras. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 3., 1985, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1985. p. 1-14.

CORSI, M.; MARTHA JÚNIOR, G.B.; PAGOTTO, D.S. Sistema radicular: dinâmica e resposta a regimes de desfolha. In: MATTOS, W.R.S.; FARIA, V.P.; SILVA, S.C.; NUSSIO, L.G.; MOURA, J.C. (Ed.). **A produção animal na visão dos brasileiros**. Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 838-852.

COSTA, C.; DWYER, L.M.; DUTILLEUL, P.; STEWART, D.W.; MA, B.L.; SMITH, L. Inter-relationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 24, p. 1173-1194, 2001.

COSTA, K.A.P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I.P.; RODRIGUES, C.; SEVERIANO, E.C. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu. I – Alterações nas características químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 1591-1599, 2008.

COWLING, D.W., BRISTOW, A.W. Effects of SO₂ on sulphur and nitrogen fractions and on free amino acids in perennial ryegrass. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, New York, v. 30, p. 354-360, 1979.

CRAWFORD, N.M.; KAHN, M.L.; LEUSTEK, T.; LONG, S.R. Nitrogen and sulphur. In: BUCHANAN, B.B.; GRUISSEM, W.; JONES, R.L. (Ed.). **Biochemistry and molecular biology of plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. chap. 16, p. 789-849.

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.

DA SILVA, S.C.; NASCIMENTO JR., D. Ecofisiologia da produção animal em pastagens e suas implicações sobre o desempenho e a produtividade de sistemas pastoris. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 4., 2007, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Ed. Suprema, 2007. p. 1-48.

DA SILVA, S.C.; SBRISSIA, A.F. A planta forrageira no sistema de produção. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 17., 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2000. p. 3-20.

DA SILVA, S.C.; NASCIMENTO JR., D.; EUCLIDES, V.B.P. **Pastagens: conceitos básicos, produção e manejo**. Viçosa: Ed. Suprema, 2008. 115 p.

DE BONA, F.D. **Nitrogênio e enxofre para gramínea forrageira: atributos do solo e aspectos metabólicos, nutricionais e produtivos da planta**. 2008. 124 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

DIAS-FILHO, M.B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 2. ed. Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental, 2005. 173 p.

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.; VAN WIJK, A.L. The sulphur requirements of plants as evidenced by the sulphur-nitrogen ratio in the organic matter: a review of published data. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 26, p. 129-157, 1967.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

ERNANI, P.R.; MIQUELLUTI, D.J.; FONTOURA, S.M.V.; KAMINSKI, J.; ALMEIDA, J.A. Downward movement of soil cations in highly weathered soils caused by addition of gypsum. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 37, p. 571-586, 2006.

ESHEL, A.; WAISEL, Y. Multiform and multifunction of various constituents of the 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.; HOFFMANN, C.R.; EVANGELISTA, A.R.; GUEDES, G.A.A. O potássio no crescimento da braquiária e do colônio em amostras de um Latossolo da região noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, p. 87-97, 1995.

FERRARI NETO, J., FAQUIN, V., VALE, F.R.; EVANGELISTA, A.R. Limitações nutricionais do colônio (*Panicum maximum*, Jacq) e da braquiária (*Brachiaria decumbens*, Stapf) em amostras de um latossolo do noroeste do Paraná. I. Produção de matéria seca e perfilhamento. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 23, p. 538-551, 1994.

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

FRIEDRICH, J.W.; SCHRADER, L.E. Sulfur deprivation and nitrogen metabolism in maize seedlings. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 61, p. 900-903, 1978.

GASTAL, F.; LEMAIRE, G.N. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, p. 789-799, 2002.

GASTAL, F.; NELSON, C.J. Nitrogen use within the growing leaf blade of tall fescue. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 150, p. 191-197, 1994.

GOH, K.M.; KEE, K.K. Effects of nitrogen and sulphur fertilization on the digestibility and chemical composition of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 50, p. 161-177, 1978.

HARDING, W.A.T.; GROF, B. Effect of fertilizer nitrogen on yield, nitrogen content and animal productivity of *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk on the wet tropical coast of North Queensland. **Queensland Journal of Agricultural and Animal Sciences**, Brisbane, v. 35, p. 11-21, 1978.

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.

HILLESHEIM, A.; CORSI, M. Capim-elefante sob pastejo. II. Fatores que afetam as perdas e utilização de matéria seca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, p. 1233-1246, 1990.

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

HUMPHREYS, L.R. **Tropical pasture utilization**. Cambridge: Cambridge University Press, 1991. 206 p.

JACQUES, A.V.A. Fisiologia do crescimento do capim elefante. In: SIMPÓSIO SOBRE CAPIM ELEFANTE, 1990, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: EMBRAPA, 1990. p. 23-34.

KALMBACHER, R.S.; EZENWA, I.V.; ARTHINGTON, J.D.; MARTIN, F.G. Sulfur fertilization of Bahiagrass with varying levels of nitrogen fertilization on a Florida Spodosol. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, p. 661-667, 2005.

KANNO, T.; MACEDO, M.C.M.; UOZUMI, S.; EUCLIDES, V.P.B.; BONO, J.A.; YOSHIMURA, Y.; CORREA, M.R.; SANTOS JUNIOR, J.D.G. Development of grassland management technology for sustainable agropastoral systems in the Sub-Tropical zone in Brazil. **JIRCAS Working Report**, Okinawa, v. 19, p. 63-73, 2001.

LEMAIRE, G. The physiology of grass growth under grazing: tissue turn-over. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO, 1997, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 1997. p. 117-144.

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

LIMA, D.V.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; MORAIS, A.R.; CURI, N.; HIGA, N.T. Macro e micronutrients no crescimento do braquiarião e da soja em latossolos sob cerrado da região de Cuiabá, MT. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, p. 96-104, 2000.

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.

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

MACEDO, M.C.M. Sustainability of pasture production in the Savannas of Tropical America. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 18., 1997, Winnipeg. **Proceedings...** Winnipeg: International Grassland Congress Association, 1997. p. 7-15.

_____. Análise comparativa de recomendações de adubação em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 21., 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2004. p. 317-355.

MACHADO, L.A.Z.; KICHEL, A.N. **Ajuste de lotação no manejo de pastagens**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2004. 55 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos 62).

MARCELINO, K.R.A.; VILELA, L.; LEITE, G.G.; GUERRA, A.F.; DIOGO, J.M.S. Manejo da adubação nitrogenada de tensões hídricas sobre a produção de matéria seca e índice de área foliar de Tifton 85 cultivado no Cerrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, p. 268-275, 2003.

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

MARTHA JÚNIOR, G.B.; VILELA, L.; BARIONI, L.G.; SOUSA, D.M.G.; BARCELLOS, A.O. Manejo da adubação nitrogenada em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 21., 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2004. p. 155-215.

MASCARENHAS, H.A.A. **Cálcio, enxofre e ferro no solo e na planta**. Campinas: Fundação Cargill, 1977. 95 p.

MATHOT, M.; MERTENS, J.; VERLINDEN, G.; LAMBERT, R. positive effects of sulphur fertilization on grassland yields and quality in Belgium. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 28, p. 655-658, 2008.

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.

MAYNARD, L.A.; LOOSLI, J.K.; HINTZ, H.F.; WAGNER, R.G. **Animal nutrition**. 7th ed. New York: McGraw-Hill, 1979. 602 p.

- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Dordrechth: Kluwer Academic, 2001. 849 p.
- MESQUITA, P. **Dinâmica do acúmulo de forragem em pastos de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetidos à lotação contínua e ritmos de crescimentos contrastantes**. 2008. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- MONTEIRO, F.A.; CARRIEL, J.M. Aplicação de níveis de enxofre na forma de gesso para cultivo do capim Colonião em dois solos arenosos do Estado de São Paulo. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 44, p. 335-347, 1987.
- MONTEIRO, F.A.; WERNER, J.C. Reciclagem de nutrientes nas pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 14., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 55-84.
- MONTEIRO, F.A.; COLOZZA, M.T.; WERNER, J.C. Enxofre e micronutrientes em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 21., 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2004. p. 279-301.
- MOREIRA, F.M.S; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Ed. UFLA, 2002. 625 p.
- MORIKAWA, C.K.; FAQUIN, V.; CURI, N.; MARQUES, E.S.; WERNEK JUNIOR, M.R.; EVANGELISTA, A.R. Crescimento e produção de gramíneas forrageiras em amostras de Latossolo da região dos Campos Vertentes, MG, Brasil. **Pasturas Tropicais**, Cali, v. 20, p. 18-23, 1998.
- NABINGER, C.; MEDEIROS, R.B. Eficiência do uso de pastagens: disponibilidade e perdas de forragem. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 14., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 213-251.
- NASCIMENTO JUNIOR, D.; QUEIROZ, D.S.; SANTOS, M.V.F. Degradação das pastagens e critérios para avaliação. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 11., 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 107-151.
- NIELL, C.; PICCOLO, M.C.; CERRI, C.C.; STEUDLER, P.; MELLO, J.M.; BRITO, M. Net nitrogen mineralization and net nitrification rates in soils following deforestation for pasture across the southwest Brazilian Amazon Basin landscape. **Oecologia**, New York, v. 110, p. 243-252, 1997.
- OLIVEIRA, O.C. de; OLIVEIRA, I.P. de; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Chemical and biological indicators of decline/degradation of *Brachiaria* pastures in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 103, p. 289-300, 2004.

PAGOTTO, D.S. **Comportamento do sistema radicular do capim-Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.) sob irrigação e submetido a diferentes intensidades de pastejo.** 2001. 51 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

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

PEARSON, C.J.; ISON, R.L. **Agronomy of grassland systems.** Cambridge: Cambridge University Press, 1997. 218 p.

QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 111 p.

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

QUAGGIO, J.A.; DECHEN, A.R.; RAIJ, B. van. Efeitos da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e a lixiviação de bases no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 6, p. 189-194, 1982.

QUEIROZ NETO, F.; MARTHA JÚNIOR, G.B.; PENATI, M.A.; CORSI, M.; MENEZES, M.J.T. Impact of increasing nitrogen fertilizer rates upon an irrigated Tanzaniagrass pasture. 1. Dry matter yield. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., 2001, Águas de São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 209-210.

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.

RODRIGUES, A.C.G.; CADIMA-ZEVALLOS, A. Efeito da intensidade de pastejo sobre o sistema radicular de pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, p. 439-445, 1991.

RODRIGUES, L.R.; RODRIGUES, T.J.D.; RAMOS, A.K.B.; QUADROS, D.G. Dry matter production of shoots and root density of two cultivars of *Lablab purpureus* (L.) Sweet. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., 2001, Águas de São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 573-574.

- RODRIGUES, R.C. **Calcário, nitrogênio e enxofre para a recuperação do capim-braquiária cultivado em solo proveniente de uma pastagem degradada.** 2002. 141 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- SANTOS, A. R. **Diagnose nutricional e respostas do capim-braquiária submetido a doses de nitrogênio e enxofre.** 1997. 115 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.
- SANTOS JUNIOR, J.D.G. **Fertilidade do solo no acúmulo de forragem e nutrição do capim-Tanzânia sob pastejo na região dos Cerrados.** 2005. 105 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- SANZONOWICZ, C. Recomendação e prática de adubação e calagem na região centro-oeste do Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE CALAGEM E ADUBAÇÃO DE PASTAGENS, 1., 1985, Nova Odessa. **Anais...** Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 309-336.
- SARMENTO, P. **Respostas agrônômicas e morfológicas de *Panicum maximum* Jacq. (acesso BRA-006998), sob pastejo, à adubação nitrogenada.** 2005. 92 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2005.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas.** Piracicaba: ESALQ, 1974. 54 p.
- SCHEPERS, J.S.; FRANCIS, D.D.; VIGIL, M.; BELOW, F.E. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. **Communication Soil Science Plant Analysis**, Philadelphia, v. 23, p. 2173-2187, 1992.
- SCOTT, N.M.; WATSON, M.E.; CALDWELL, K.S. Response of grassland to the application of sulphur at two sites in northeast Scotland. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, New York, v. 34, p. 357-361, 1983.
- SCURLOCK, J.M.O.; HALL, D.O. The global carbon sink: a grassland perspective. **Global Change Biology**, Oxford, v. 4, p. 229-233, 1998.
- 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, 1992.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. **User's guide statistics:** version 8.0 edition. Cary, 1999. 956 p.

STEWART, B.A.; PORTER, L.K. Nitrogen:sulfur relationship in wheat (*Triticum aestivum* L.), corn (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agronomy Journal**, Madison, v. 61, p. 267-271, 1969.

SYERS, J.K.; LINGARD, J.; PIERI, C.; EZCURRA, E.; FAURE, G. Sustainable land management for the semiarid and sub-humid tropics. **Ambio**, Stockholm, v. 25, p. 484-491, 1996.

TABATABAI, M.A. Chemistry of sulfur in soils. In: TABATABAI, M.A.; SPARKS, D.L. (Ed.). **Chemical processes in soils**. Madison: SSSA, 2005. chap. 3, p. 193-226 (SSSA. Book Series, 8).

THEODORIDES, T.N.; PEARSON, C.J. Effect of temperature on total nitrogen distribution in *Pennisetum americanum*. **Australian Journal of Plant Physiology**, Sydney, v. 8, p. 201-210, 1981.

TISDALE, S.L. **Sulphur in forage quality and ruminant nutrition**. Washington: The Sulphur Institute, 1977. 13 p.

VASCONCELLOS, C.A.; MARRIEL, I.E.; SANTOS, F.G.; MAGALHÃES, P.C.; OLIVEIRA, C.A. Resíduos de sorgo e a mineralização do nitrogênio em Latossolo fase Cerrado. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, p. 373-379, 2001.

VICENTE-CHANDLER, J. Intensive grassland management in Puerto Rico. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 2, p. 173-215, 1973.

VICTORIA, R.L.; COLAÇO, W.; MAGALHÃES, A.M.T. Mineralização e volatilização de nitrogênio do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., 1988, Campinas, **Anais...** Campinas: SBCS, 1988. p. 379-387.

VIEIRA, F.C.B.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; ZANATTA, J.; BISSANI, C.A. Long-term acidification of Brazilian Acrisol as affected by no till cropping systems and nitrogen fertilizer. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 46, p. 17-26, 2008.

VITTI, G.C. O enxofre no solo. In: BÜLL, T.; ROSOLEM, C.A. (Ed.). **Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1989. p. 129-173.

VITTI, G.C.; NOVAES, N.J. Adubação com enxofre. In: SIMPÓSIO SOBRE CALAGEM E ADUBAÇÃO DE PASTAGENS, 1., 1985, Nova Odessa. **Anais...** Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 191-231.

VOORHEES, W.B.; CARLSON, V.A.; HALLAUER, E.A. Root length measurement with a computer-controlled digital scanning microdensitometer. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 847-850, 1980.

WATSON, D.J. Comparative physiological studies on the growth of Field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, Oxford, v. 11, p. 41-76, 1947.

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

_____. Adubação de pastagens de *Brachiaria* spp. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 11., 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 209-266.

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 e Fundação IAC, 1996. p. 261-273.

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

WRIGHT, S.R.; JENNETTE, M.W.; COBLE, H.; RUFTY JUNIOR, T.W. Root morphology of young *Glycine max*, *Senna obtusifolia*, and *Amaranthus palmeri*. **Weed Science**, Washington, v. 47, p. 706-711, 1999.

XIA, J.; WAN, S. Global response patterns of terrestrial plant species to nitrogen addition. **New Phytologist**, Oxford, v.179, p.428-439, 2008.

YAMADA, T. **Capacidade de adsorção máxima de sulfato do solo como parâmetro adicional na recomendação de gesso**. 1988. 73 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

ZIMMER, A.H.; EUCLIDES, V.B.P.; EUCLIDES FILHO, K.; MACEDO, M.C.M. **Considerações sobre índices de produtividade da pecuária de corte em Mato Grosso do Sul**. Campo Grande: Embrapa, CNPGC, 1998. 53 p. (Embrapa. CNPGC. Documentos, 70).