

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS  
CAMPUS DE DRACENA**

**EFEITO DE DOSES, FONTES E GRANULOMETRIA DE  
ENXOFRE NA PRODUÇÃO E ESTADO NUTRICIONAL DOS  
CAPINS MOMBAÇA E PIATÃ**

**Luiz Felipe de Melo Santos  
Biólogo**

**2018**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS**  
**CAMPUS DE DRACENA**

**EFEITO DE DOSES, FONTES E GRANULOMETRIA DE  
ENXOFRE NA PRODUÇÃO E ESTADO NUTRICIONAL DOS  
CAPINS MOMBAÇA E PIATÃ**

**Luiz Felipe de Melo Santos**

**Orientador: Prof. Dr. Reges Heinrichs**

**Coorientador: André Rodrigues dos Reis**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Animal da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Animal.

**2018**

FICHA CATALOGRÁFICA  
Desenvolvida pela Seção Técnica de Biblioteca e Documentação  
Campus de Dracena

S237e

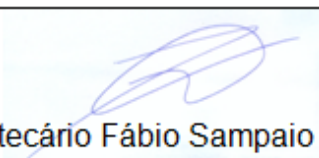
Santos, Luiz Felipe de Melo.

Efeito de doses, fontes e granulometria de enxofre na produção e estado nutricional dos Capins Mombaça e Piatã / Luiz Felipe de Melo Santos. – Dracena: [s.n.], 2018.  
74 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp). Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena. Área do conhecimento: Produção Animal, 2018.

Orientador: Reges Heinrichs  
Inclui bibliografia.

1. Sulfato. 2. Enxofre elementar. 3. Megathyrsus maximum.  
4. Urochloa brizantha. I. Título.



Bibliotecário Fábio Sampaio Rosas  
CRB 8/6665

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

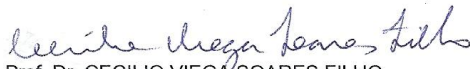
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: EFEITO DAS DOSES E FONTES DE SULFATO E ENXOFRE ELEMENTAR NA PRODUÇÃO E ESTADO NUTRICIONAL DOS CAPINS MOMBAÇA E PIATÃ

AUTOR: LUIZ FELIPE DE MELO SANTOS  
ORIENTADOR: REGES HEINRICHS  
COORIENTADOR: ANDRÉ RODRIGUES DOS REIS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em CIÊNCIA E TECNOLOGIA ANIMAL, área: Produção Animal pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. REGES HEINRICHS  
Curso de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena



Prof. Dr. CECILIO VIEGA SOARES FILHO  
Departamento de Apoio, Produção e Saúde Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/Unesp



Prof. Dr. JOSÉ LAVRES JUNIOR  
Centro de Energia Nuclear na Agricultura / Universidade de São Paulo

Dracena, 27 de novembro de 2018

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

Luiz Felipe de Melo Santos, nascido em 04 de Março de 1995 no município de Porecatu, Paraná. Graduado em Ciências Biológicas pela UNIFADRA / FUNDEC - Faculdades de Dracena, Dezembro de 2015. Ingressou no curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Animal em março de 2017, na área de Produção, Manejo e Conservação de Alimentos, Gestão e Sustentabilidade. Membro do GENAP – Grupo de Experimentação em Nutrição e Adubação de Plantas, certificado junto ao CNPq.

**Aos meus pais Luiz Marcos e Selma,  
que dignamente me apresentaram à  
importância da família e ao caminho da  
honestidade e persistência.**

**A Deus, por me iluminar e me dar força  
e saúde, MINHA GRATIDÃO.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pelas oportunidades, saúde e proteção concedidas durante esses 23 anos de vida.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, em especial à Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Campus de Dracena e Faculdade de Engenharia.

Ao prof. Dr. Reges Heinrichs, pela oportunidade, orientação, confiança, compreensão, dedicação, apoio e conhecimentos transmitidos. Manifesto minha eterna gratidão pela grande contribuição em minha vida acadêmica, pessoal, a você professor, meu muito Obrigado!

Aos professores/pesquisadores que aceitaram compor as bancas de qualificação e defesa.

A todos os docentes do programa de mestrado em Ciência e Tecnologia Animal.

Aos técnicos de laboratório e de campo pela contribuição na execução das coletas e análises do experimento.

Aos alunos e amigos do mestrado em ciência e tecnologia animal e GENAP (Grupo de Experimentação em Nutrição e Adubação de Plantas), pelo companheirismo e ajuda na execução dos trabalhos, em especial Allan de Marcos Lapaz.

Aos meus familiares e amigos por fazerem parte da minha vida e tornarem os meus dias mais leves.

E por fim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desta pesquisa. Muito obrigado!

## EFEITO DE DOSES, FONTES E GRANULOMETRIA DE ENXOFRE NA PRODUÇÃO E ESTADO NUTRICIONAL DOS CAPINS MOMBAÇA E PIATÃ

**RESUMO** - O enxofre é, provavelmente, o macronutriente menos empregado nas adubações, o que resulta na redução de rendimento e qualidade de forragem. Entre os nutrientes, apresenta um importante papel por participar em várias funções biológicas, faz parte da composição dos aminoácidos cisteína, metionina e cistina, acetil-CoA, bem como de enzimas que participam da fotossíntese e o metabolismo do nitrogênio. O objetivo foi avaliar a produção e estado nutricional dos capins Piatã e Mombaça em resposta a aplicação de doses e fontes de sulfato e enxofre elementar em Argissolo Vermelho Amarelo. Em virtude disso, realizou-se dois experimentos em casa de vegetação na Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, UNESP, Campus de Dracena – SP, o primeiro foi no período de janeiro a março de 2017 e o segundo de outubro a janeiro de 2018, com o capim Piatã e de Mombaça, respectivamente. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições, arranjados em esquema fatorial, 4x5, com quatro fontes de enxofre (Gipsita, Fosfogesso, S elementar em pó e S elementar pastilhado) e cinco doses de enxofre (0, 50, 100, 150 e 200 mg kg<sup>-1</sup>). Foram determinados os parâmetros biométricos como número de perfilhamento, massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raízes (MSR). O estado nutricional das plantas foi avaliado por meio da leitura SPAD e análise de macronutrientes N, P, K, Ca, Mg, S na parte aérea das plantas. Avaliou-se também o enxofre residual do solo e o pH do solo. Os resultados demonstraram que adubação com S aumentou a produção de MSPA, MSR, número de perfilhos, quantidade de folhas por colmo, índice SPAD e promoveu uma melhor qualidade de estado nutricional da forragem em ambos os experimentos. A granulométrica das fontes apresentou uma forte influencia na disponibilização de S, o que é possível de ser constatado pelos menores incrementos na produção e absorção de S verificados com o uso da fonte SEPA em relação às demais fontes, tanto na espécie *Urochloa brizantha* quanto da espécie *Megathyrsus maximum*. De forma geral a aplicação ideal de S foi essencial para otimizar o rendimento dos capins Piata e Mombaça em todas as fontes testadas de S, enquanto a baixa oferta de S resulta em desequilíbrio nutricional e menor rendimento.

**Palavras-chave:** Sulfato, enxofre elementar, *Megathyrsus maximum*, *Urochloa brizantha*.



## **EFFECT OF DOSES, SOURCES AND GRANULOMETRY OF SULFUR IN YIELD AND NUTRITIONAL STATUS OF MOMBAÇA AND PIATA GRASS**

**ABSTRACT** - Sulfur is probably the least used macronutrient in fertilization, which results in reduced yield and forage quality. Among nutrients, it plays an important role because it participates in several biological functions, is part of the composition of the amino acids cystine, methionine and cysteine, acetyl-CoA, as well as enzymes involved in photosynthesis and nitrogen metabolism. The objective was to evaluate the production and nutritional status of the Piatã and Mombasa grass in response to the application of doses and sources of sulfate and elemental sulfur in Yellow Red Ultisol. In view of that, two greenhouse experiments were carried out at the Faculty of Agrarian and Technological Sciences, UNESP, Dracena Campus - SP, the first one was in the period from January to March 2017 and the second from October to February 2018, with Piatã grass and Mombasa grass, respectively. The experimental design was in randomized blocks with four replications, arranged in a factorial scheme, 4x5, with four sulfur sources (Fosfogesso, Grajau, S-Elementar and Sulfurgran) and five doses of sulfur (0, 50, 100, 150 e 200 mg kg<sup>-1</sup>). Biometric parameters such as tillering number, shoot dry mass and roots dry mass were determined. The nutritional status of the plants was evaluated by SPAD reading and analysis of N, P, K, Ca, Mg and S macronutrients in shoot dry mass. Residual sulfur and soil pH were also evaluated. The results showed that S fertilization increased the yield of MSPA, MSR, number of tillers, number of leaves per stem, SPAD index and promoted a better quality of forage nutritional status in both experiments. The granulometric of the sources had a strong influence on the availability of S, which is possible to be consisted of the smaller increases in the production and absorption of S verified with the use of the SEPA source in relation to the other sources, both in the species *Urochloa brizantha* and of the species *Megathyrsus maximum*. In general, the ideal application of S was essential to optimize the yield of the Piata and Mombasa grasses in all tested sources of S, while the low supply of S results in nutritional imbalance and lower yield.

**Key words:** Sulphate, elemental sulfur, *Megathyrsus maximum*, *Urochloa brizantha*

| <b>SUMÁRIO</b>                                                                                                                          | <b>Página</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1. CAPÍTULO 1 – Considerações gerais.....                                                                                               | 12            |
| 1.1 INTRODUÇÃO.....                                                                                                                     | 12            |
| 1.2 REVISÃO DE LITERATURA.....                                                                                                          | 15            |
| 1.2.1 Características e importância do capim Piatã na produção animal.....                                                              | 15            |
| 1.2.2 Características e importância do capim Mombaça na produção animal.....                                                            | 16            |
| 1.2.3.Importância do enxofre na nutrição de gramíneas forrageiras.....                                                                  | 17            |
| 1.2.4. Aspectos Fisiológicos do metabolismo do enxofre.....                                                                             | 18            |
| 1.3 REFERÊNCIAS.....                                                                                                                    | 22            |
| <br>2. CAPÍTULO 2 – DOSES E FONTES DE SULFATO E ENXOFRE ELEMENTAR<br>NO ESTADO NUTRICIONAL E PRODUÇÃO FORRAGEIRA DO CAPIM<br>PIATÃ..... | <br>29        |
| 2.1 INTRODUÇÃO.....                                                                                                                     | 31            |
| 2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....                                                                                                             | 32            |
| 2.2.1. Condição experimental. ....                                                                                                      | 32            |
| 2.2.2. Delineamento experimental e tratamentos.....                                                                                     | 33            |
| 2.2.3. Instalação experimental e procedimentos.....                                                                                     | 33            |
| 2.2.4. Parâmetros Avaliados.....                                                                                                        | 34            |
| 2.2.4.1. Produção de massa seca e perfilhamento.....                                                                                    | 34            |
| 2.2.4.2. Macronutrientes e SPAD.....                                                                                                    | 34            |
| 2.2.5 Análise estatística.....                                                                                                          | 35            |
| 2.3 RESULTADOS.....                                                                                                                     | 35            |
| 2.3.1 Produção de massa seca e perfilhamento ....                                                                                       | 35            |
| 2.3.2. Concentração de Macronutrientes;.....                                                                                            | 37            |
| 2.4 DISCUSSÃO.....                                                                                                                      | 39            |
| 2.4.1 Produção de forragem.....                                                                                                         | 39            |
| 2.4.2. Estado nutricional da forragem.....                                                                                              | 41            |
| 2.4 CONCLUSÕES.....                                                                                                                     | 43            |
| 2.5 REFERÊNCIAS.....                                                                                                                    | 44            |
| <br>3. CAPÍTULO 2 – PRODUTIVIDADE E QUALIDADE NUTRICIONAL DA                                                                            |               |

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| FORRAGEM EM RESPOSTA À ADUBAÇÃO COM ENXOFRE EM CAPIM-MOMBAÇA.....               | 48 |
| 3.1 INTRODUÇÃO.....                                                             | 50 |
| 3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....                                                     | 51 |
| 3.2.1. Condição experimental.....                                               | 51 |
| 3.2.2. Delineamento experimental e tratamentos.....                             | 52 |
| 3.2.3. Instalação experimental e procedimentos.....                             | 53 |
| 3.2.4. Parâmetros Avaliados.....                                                | 53 |
| 3.2.4.1.Crescimento e rendimento de forragem.....                               | 53 |
| 3.2.4.2. Análise nutricional.....                                               | 54 |
| 3.2.4. Análise de solo.....                                                     | 54 |
| 3.2.5.Análise estatística.....                                                  | 55 |
| 3.3 RESULTADOS.....                                                             | 56 |
| 3.3.1 Crescimento e produção da parte aérea e raiz.....                         | 56 |
| 3.3.2. Fontes de Enxofre – Eficiência de Uso.....                               | 60 |
| 3.3.3. Concentração e acúmulo de nitrogênio e enxofre na parte aérea.....       | 61 |
| 3.3.4. Enxofre residual e pH do solo.....                                       | 66 |
| 3.4 DISCUSSÃO.....                                                              | 67 |
| 3.4.1. Crescimento e produção da parte aérea e raízes em função das doses.....  | 67 |
| 3.4.2. Crescimento e produção da parte aérea em função das fontes e cortes..... | 68 |
| 3.4.3. Nitrogênio e enxofre na parte aérea.....                                 | 69 |
| 3.4.4. Enxofre residual e influência do S no pH do solo.....                    | 70 |
| 3.5 CONCLUSÕES.....                                                             | 71 |
| 3.6 REFERÊNCIAS.....                                                            | 72 |

## **CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais**

### **1.1 INTRODUÇÃO**

A pecuária ocupa uma posição de destaque na economia brasileira, especialmente em relação ao aumento da produção de carne bovina, que esta atrelado principalmente a demanda nas exportações (SOARES et al., 2016). Em 2004, o Brasil assumiu a liderança nas exportações, representando um quinto da carne comercializada internacionalmente e exportando para mais de 180 países (MAPA, 2016).

A área total ocupada por pastagens no Brasil é de 173 milhões de hectares (DIAS-FILHO, 2013). No entanto, a produção média de forragem é muito baixa, que está associada a diversos fatores como solos degradados, manejo, potencial genéticos, utilização de tecnologias no sistema de produção (TIRITAN et al., 2016). Para potencializar a produção, entre outras melhorias na qualidade das pastagens, são necessárias adequações no manejo das pastagens, especialmente ligadas ao emprego de fertilizantes e uso de espécies de gramíneas propícias para cada região (EUCLIDES FILHO, 2000).

A adubação das pastagens consiste num fator determinante para o aumento da produção de forragem e, conseqüentemente, da capacidade de suporte animal e do ganho de peso vivo por área (REZENDE, 2013). O desempenho dos animais em cada sistema de produção pode ser comprometido com a diminuição da fertilidade do solo e do potencial das forrageiras (CORDEIRO et al., 2004). Além disso, o uso inadequado e intensivo de áreas exploradas pelas atividades antrópicas, tem acarretado a queda demasiada da fertilidade natural dos solos, principalmente em relação ao S, o que resulta na redução de rendimento da forragem (RAO et al., 1999; FONTE et al., 2014).

O enxofre é um elemento essencial para todos os organismos vivos. No entanto, a deficiência deste nutriente nos solos agrícolas tornou-se uma preocupação mundial. Em muitas regiões industrializadas, as emissões antropogênicas de S foram restringidas nos últimos anos como resultado da legislação ambiental (HAWKESFORD; KOK, 2006). Somando a isso, está o uso de fertilizantes de superfosfatos triplos e formulados de alta concentração NPK sem teor de enxofre, e o resultado tem sido uma incidência crescente de carência de S nas culturas de todo o mundo (SALVAGIOTTI et al., 2012; SUN et al., 2017).

A baixa disponibilidade de enxofre no solo vem acarretando significativa redução da produção de biomassa e na qualidade das plantas, pois está atrelado a várias funções biológicas essenciais que desempenham papéis críticos, incluindo o papel de compostos orgânicos como aminoácidos, vitaminas, acetil-CoA e atividade de muitas enzimas que participam da fotossíntese e do metabolismo do nitrogênio (PANDEY et al., 2009; SHAH et al., 2013).

Para uma melhor eficiência de uso do S, a produção agrícola sustentável exige práticas de gestão de fertilizantes, minimizando perdas ou danos ambientais. As taxas adequadas, fontes apropriadas, métodos eficientes de aplicação e tempo de aplicação são estratégias importantes (FAGERIA; BALIGAR, 2005). As fontes de enxofre podem interagir com solo de modo a resultar em maior ou menor efeito da adubação e absorção dos nutrientes pelas plantas (MORAES et al., 2004).

Fertilizantes que disponibilizam o nutriente na forma de sulfato podem ser prontamente absorvidos, todavia o enxofre na forma elementar é absorvido somente depois de passar pelo processo de oxidação, o que pode ser favorável para o fornecimento equilibrado e contínuo durante o ciclo da cultura (FIORINI et al., 2017). Assim, as variáveis que envolvem a espécie vegetal, o fornecimento e disponibilidade do nutriente assumem grande importância na produtividade das culturas.

Atualmente há poucas informações sobre qual é a forma mais efetiva de fornecer enxofre para o melhor desenvolvimento e qualidade nutricional da foragem nos capins do gênero *Urochloa brizantha* e *Megathyrsus maximus*. Há a necessidade de se verificar se a absorção de S quando advinda da fonte S-elementar é semelhante quando advém da fonte S-sulfato e também a eficiência agrônômica de fertilizantes contendo S elementar em relação ao S-sulfato.

A hipótese deste trabalho é que a utilização de diferentes fontes de S apresentará respostas distintas na produção do capim Piatã e Mombaça, em função da granulométrica e forma química das mesmas, na absorção de S, concentração de nutrientes das plantas, produção de massa seca, além de interferir nos atributos químicos do solo como pH e enxofre residual. A resposta de crescimento e desenvolvimento entre os capins em função da aplicação de S podem ser distintas por serem de gêneros diferentes (*Urochloa brizantha* e *Megathyrsus maximus*). Dessa forma presente experimento teve por objetivo avaliar efeito de doses, fontes e

granulometria de enxofre na produção e estado nutricional dos capins mombaça e  
piatã, e seu efeito residual no solo.

## 1.2 REVISAO DE LITERATURA

### 1.2.1. Características e importância do capim piatã na produção animal

A expansão das áreas ocupadas por pastagens teve seu início na década de 70 em virtude dos incentivos governamentais e de novas cultivares disponíveis no mercado, destacando-se o gênero *Urochloa* ssp (EMBRAPA, 2004). No Brasil, este gênero abrange grandes áreas de pastagem, sendo proeminente no Cerrado, alcançando 51 milhões de hectares cujo percentual representa 81% das gramíneas forrageiras cultivadas (MACEDO, 2005).

Todavia, a partir da década de 1990, a pluralidade das áreas cultivadas por *Urochloa Brizantha* cv. Marandu, na região Norte do país e em algumas áreas do Centro-Oeste, sofreu declínio na produção devido à síndrome da morte súbita, pois, quando exposta a períodos de excesso de água no solo, originava alterações fisiológicas e morfológicas que afetam o metabolismo do capim, tornando-o suscetível ao ataque de fungos patogênicos, o que não ocorria em condições normais (DIAS-FILHO, 2006). Em vista disso, evidencia-se a importância de novas cultivares forrageiras a fim de minimizar danos na produtividade por meio da variabilidade genética.

A *Urochloa Brizantha* cv. Piatã, lançada em 2007, foi selecionada após 16 anos de avaliações pela Embrapa, a partir de uma coleção de aproximadamente 300 genótipos importadas do continente Africano, quanto quatro genotípicos se destacaram, sendo um deles o capim Piatã (LUPATINI, 2010).

É uma planta de crescimento ereto e hábito cespitoso de porte médio, com colmos verdes e finos. As bainhas foliares têm poucos pelos e lâminas foliar é glabra. A lâmina é áspera na face superior, tem bordas serrilhadas e cortantes. Sua inflorescência se diferencia das atuais cultivares disponíveis de *Urochloa brizantha* por apresentar maior número de ramos (LUPATINI, 2010).

A forrageira em questão destaca-se nas áreas destinadas ao cultivo de pastagens, por ser considerada produtiva, apresentar maior acúmulo de folhas, maior tolerância a solos com má drenagem (PIMENTA, 2009) e resistência às cigarrinhas típicas de pastagens, como a *Notozulia entreciana* e *Deois flavopicta* (EMBRAPA, 2012).

Caetano e Dias-Filho (2008), trabalhando em casa de vegetação com o capim Piatã, sob condições semi-controladas, averiguaram tolerância intermediária ao

alagamento do solo, obtendo um desempenho semelhante o capim Xaraés e superior o capim Marandu. Concluíram que a forrageira tem um ótimo desempenho em solos de média e alta fertilidade, ou seja, em condições tradicionalmente ocupadas pelos capins Marandu e Xaraés (EMBRAPA, 2008).

Euclides et al. (2009) avaliaram a produção de forragem de três cultivares de *Urochloa brizanta* sob pastejo e verificaram que a cv. Piatã apresentou menor relação lâmina foliar/colmo no período das águas, enquanto Valle et al. (2007) destacam a boa aceitação pelos ruminantes.

### **1.2.2. Características e importância do capim Mombaça na produção animal**

O *Megathyrsus máximo* (syn. *Panicum maximum*) é um gênero de forrageiras das mais importantes para produção de bovinos nas regiões de clima tropical e subtropical (GOMES et al., 2011). As cultivares Tanzânia e Mombaça estão entre os pastos inovadores responsáveis pelo crescente avanço tecnológico que incrementou a produtividade por área, bem como acarretou um alto valor nutricional no sistema de produção de pastagens (VUOLO, 2006; HEINRICHS et al., 2016).

As gramíneas do gênero *Megathyrsus máximo* exigem solos de média à alta fertilidade para uma boa produção de forragem (ALCÂNTARA et al., 1993). O fornecimento de nutrientes adequado é importante, principalmente na fase inicial de estabelecimento da pastagem, por proporcionar melhor desenvolvimento de raízes e perfilhamento (QUADROS et al., 2002). Segundo Jank (1994), com o uso racional de adubos e corretivos, a resposta do capim mombaça é bastante acentuada, podendo atingir produção de massa seca anual em torno de  $41 \text{ t ha}^{-1}$ , sendo que 81,9% desta corresponderam à produção de folhas, comprovando o elevado potencial forrageiro dessa planta.

Resultados anteriores descrevem o efeito da aplicação enxofre em gramíneas do gênero *Megathyrsus máximo*. Custódio et al. (2005) ao avaliar doses de gesso agrícola no desenvolvimento do capim Tanzânia em casa de vegetação, verificaram um aumento significativo na produção de massa seca até a dose de  $95 \text{ g vaso}^{-1}$ , chegando a um acréscimo de 119% em relação ao controle. Rosado et al. (2016) avaliando fontes de Nitrogênio no capim Mombaça, observaram que a produção



gerada com a aplicação de sulfato de amônio foi 13,6% maior em relação ao uso de uréia, atribuindo este efeito ao enxofre presente no fertilizante.

### **1.2.3.Importância do enxofre na nutrição de gramíneas forrageiras**

O enxofre é, provavelmente, o macronutriente menos empregado nas adubações. O enxofre apresenta uma baixa disponibilidade na maioria dos solos brasileiros, especialmente os mais intemperizados, como os Latossolos (Oxisols) e Argissolos (Ultisols), podendo variar de 0,1% em solos minerais até 1% em solos orgânicos (PEREIRA et al., 2016).

O uso de fertilizantes com alta concentração de nutrientes NPK, que suprime o enxofre nas formulações devido à composição de suas matérias primas, acarreta a carência do nutriente no solo. Associado a isso, o aumento da produtividade promove a maior extração dos nutrientes, o que torna a deficiência mais grave e reduz sensivelmente o potencial produtivo, especialmente em solos de textura arenosa, baixo teor de matéria orgânica e alta incidência pluvial (SANTOS; MONTEIRO, 1999).

No solo o enxofre apresenta-se nas formas orgânica e inorgânica. No entanto a sua disponibilidade depende de diversos processos como a adsorção, dessorção, mineralização, imobilização e lixiviação. Em vista disso, o enxofre ligado a compostos minerais e/ou a orgânicos, pode chegar à solução do solo durante o ciclo vital da cultura e ser absorvido pelas plantas. Esse enxofre, em equilíbrio com o enxofre da solução do solo é formalmente denominado lábil. Em contra partida, o não-lábil é derivado às formas fortemente retidas pelos colóides inorgânicos e/ou orgânicos do solo e que não se encontram em equilíbrio com aqueles da solução do solo (UCHOA et al., 2013).

Importante destacar que 90 % do enxofre presente no solo esta na forma orgânica, constituindo uma importante reserva deste nutriente (SOLOMONS et al., 2005). Assim os processos microbiológicos no solo influenciam diretamente a disponibilização do S. Em condições de solos arenosos e baixo teor de matéria orgânica são recomendadas doses mais elevadas de S (TIECHER et al., 2013).

A adubação com enxofre apresenta grande importância, devido sua função exercida no metabolismo do nitrogênio, quando formará aminoácidos essenciais à síntese das proteínas, faz parte da síntese de clorofila, formação de ferredoxina,

entre outros constituintes fundamentais para o desenvolvimento e estabelecimento da planta (ALVAREZ et al., 2007). Em muitos casos as quantidades de S absorvido pelas plantas são maiores que as de fósforo, um macronutriente primário (VITTI; HEINRICH, 2007).

Outro fator importante quanto ao fornecimento do S inorgânico é suas diferentes fontes, que pode ser por meio de fertilizantes na forma de sulfato ( $\text{SO}_4^-$ ) ou enxofre elementar (SE). O  $\text{SO}_4^-$  está prontamente disponível para ser absorvido pelas plantas, porém é altamente móvel no solo e suscetível a lixiviação. Por outro lado, o ES é a forma mais concentrada, com benefício de baixo custo de transporte e redução da lixiviação, porém se torna disponível para as plantas apenas após a oxidação (DEGRYSE et al., 2016), processo este que depende da temperatura, umidade, pH e conteúdo de matéria orgânica do solo (BRAHIM et al., 2017; DEGRYSE et al., 2018).

Em relação aos fertilizantes de SE, a maior quantidade encontra-se na forma de grânulos ou pastilhas, formado normalmente por 80% ou mais do SE e o restante de uma pequena quantidade de ligante, mais comumente a bentonita, além desses o SE é utilizado para revestimento de grânulo em fertilizantes de outros macronutrientes. O fertilizante SE em pó não é habitualmente utilizado, por apresentar risco de explosão e dificuldades no manuseio do pó (CHIEN et al., 2011; DEGRYSE et al., 2016).

Apesar de muitas vezes ser negligenciado nos programas de adubação, o enxofre tem mostrado o efeito positivo na produção de diversas culturas, por exemplo, arroz (CRUSCIOL et al., 2013; SUN et al., 2017), algodão (GENG et al., 2016) e gramíneas forrageiras (BONA; MONTEIRO, 2010; HEINRICH et al., 2013), o que evidencia a necessidade de seu suprimento através da fertilização, visando aumento de rendimento e qualidade das culturas.

#### **1.2.4. Aspectos Fisiológicos do metabolismo do enxofre.**

A essencialidade do enxofre (S) para as plantas é irrefutável. As plantas usam este nutriente para assimilá-lo em uma variedade de compostos orgânicos essenciais para o crescimento, desenvolvimento e mitigação do estresse das plantas (DING et al., 2016; CAPALDI et al., 2015; KOPRIVA et al., 2016). Além disso, vários metabólitos contendo enxofre fornecem os sabores e odores característicos de

nossos alimentos, e muitos deles são conhecidos por possuírem propriedades promotoras de saúde e protetoras (KOPRIVA et al., 2016).

O S é tomado a partir da solução do solo, sua absorção tem como principal caminho as raízes, ocorrendo predominantemente na forma oxidada aniônica de sulfato ( $\text{SO}_4^{-2}$ ), via transportadores de sulfato, sendo o contato íon- raiz predominantemente por fluxo de massa, podendo também ser absorvido pelo ar atmosférico, principalmente na forma de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) pelos estômatos das folhas (WHITEHEAD, 2000; MUGFORD et al., 2009; CAPALDI et al., 2015), embora seja menos eficiente.

O sulfato é co-transportado para as células com  $3\text{H}^+$ , em um processo dependente de energia, catalisado por permeases específicas da membrana plasmática (SMITH et al., 1995; MENDOZA-COZATL et al., 2005). Estas são impulsionados pelo gradiente eletroquímico estabelecido pela ATPase protônica da membrana plasmática (LEUSTEK et al., 2000). A expressão dos transportadores de sulfato específicos é regulada através dos níveis internos de metabólitos S e da demanda metabólica de metabólitos S, incluindo cisteína e glutatona (NA et al., 2011).

O sulfato deve ser transportado para os plastídios, onde ocorre a redução e a maior assimilação, semelhante ao metabolismo do N (LEUSTEK et al., 2000). Embora os plastídios da raiz contenham todo o mecanismo enzimático para redução do sulfato, a conversão do sulfato para sulfeto e a subsequente incorporação na cisteína ocorre predominantemente nos cloroplastos da parte aérea (HAWKESFORD; KOK, 2006; DAVIDIAN; KOPRIVA, 2010).

Os transportadores que entregam o sulfato nos cloroplastos, o local de ativação e de redução ainda são desconhecidos (HAWKESFORD et al., 2012). O sulfato absorvido é translocado pelo xilema em direção às folhas. O transporte de sulfato pode ocorrer via xilema ou via Floema, podendo redistribuir-se entre essas vias (LARSSON et al., 1991). Compostos com S reduzido podem ser translocados em direção às folhas em crescimento ou em direção aos ramos, ao caule ou às raízes (HERSCHBACH; RENNENBERG, 1991).

A assimilação de sulfato em compostos orgânicos exige um alto gasto de energia, sendo dividido em três etapas: ativação, redução e a incorporação do S no aminoácido cisteína (CRAWFORD et al., 2000; DING et al., 2016). A primeira etapa

para a redução do sulfato é ativação pela Adenosina trifosfato sulfurilase para formar adenosina-5-fosfo-sulfato (APS), com a liberação de pirofosfato (PPi) (RAVILIOUS et al., 2012). A atividade desta enzima é regulada por fatores internos, como disponibilidade do sulfato no substrato e externos, como luz (MARSCHNER, 2012).

Posteriormente a APS é reduzida por duas enzimas a APS Redutase (APSR) e Sulfito Redutase para produzir, respectivamente, o sulfito e sulfeto (PALMIERI et al., 2001). Na etapa seguinte, o (O-acetil serina (tiol) liase) OAS-TL usa o piridoxal-5-fosfato (PALP) como co-fator para catalisar a formação da cisteína, a partir da incorporação do sulfeto a O-acetilserina (RAVILIOUS et al., 2012).

A APS também pode ser fosforilada pela APS-quinase (APSK) para gerar 3-fosfo-adenosina-5-fosfo-sulfato (PAPS), sendo este o doador de sulfato para sulfotransferases, atuando na regulação de funções biomoleculares (WANG et al., 2011; AZIZ et al., 2016).

Dessa forma, após o sulfeto ser incorporado na O-acetilserina formando o aminoácido cisteína, este pode ser direcionado para a síntese de proteínas ou ser metabolizada em outros compostos orgânicos contendo S.

As vias de assimilação de C, N e S constituem as vias mais importantes do metabolismo primário das plantas, uma vez que estão fortemente relacionadas (KRUSE et al., 2007). A assimilação de C e N fornece esqueletos de carbono e nitrogênio reduzido para a síntese de aminoácidos e proteínas, e as vias de assimilação de S e N são bem coordenadas e se influenciam mutuamente (DING et al., 2016).

O S é um componente essencial das enzimas envolvidas na redução e assimilação do N, como nitrato redutase, nitrito redutase e glutamina sintetase (STULEN; DE KOK 2012; CAPALDI et al., 2015; GENG et al., 2016) o que pode levar a um aumento na assimilação de N. Em contra partida, a escassez do S disponível para o vegetal, acarreta na diminuição da produção de aminoácidos sulfurados e, conseqüentemente, a síntese de proteínas de que os necessitam, como as que ligam a molécula de clorofila (HAQ; CARLSON, 1993; CRUSCIOL et al., 2013).

Ainda, os vegetais insuficientemente supridos com S não conseguem assimilar o nitrogênio em proteínas, resultando em acúmulos nas seguintes formas: aminas, amidas e aminoácidos solúveis (BONA et al., 2013).

Além dos aminoácidos o S é constituinte de vitaminas (biotina e tiamina), cofactores (Co-A e S-adenosil metionina, SAM), está presente no antioxidante tripeptídeo glutathione, os peptídeos ricos em cisteína, fitoquelatinas que atuam na desintoxicação de metais pesados e tioredoxinas que são as principais redutases de dissulfeto responsáveis por manter o estado reduzido de proteínas no interior das células (COBBETT, 2000; MAZID et al., 2011; AZIZ et al., 2016). Nas proteínas é onipresente, devido seus aminoácidos formarem as chamadas "pontes de enxofre"; estas contribuem para a formação da estrutura terciária (MORAL et al., 1999).

Outra característica importante do enxofre é no metabolismo dos lipídios e carboidratos, como componente do acetil-CoA, um dos principais compostos no ciclo de Krebs; é participante da composição das ferredoxinas, complexos enzimáticos envolvidos na fotossíntese e na fixação do nitrogênio atmosférico e na formação da clorofila, influenciando, portanto, a produção de fotoassimilados (CUNHA et al., 2001).

Tisdale, (1977) relata que a adubação sulfurada promoveu o aumento no nível de clorofila nas plantas; enquanto que em deficiência de enxofre provoca redução na fotossíntese, devido aos baixos conteúdos de clorofila.

Dessa forma, O suprimento adequado de enxofre pode ser um fator crítico que ajudar a manter a fotossíntese e o metabolismo vegetal eficiente, melhora as reações de defesa e a qualidade da proteína e aumentar a produção de biomassa durante períodos de deficiência de enxofre (RAVILIOUS et al., 2012; AZIZ et al., 2016; DING et al., 2016). Tornando-se um macronutriente essencial para os organismos vivos, desempenhando funções catalíticas, regulatórias e estruturais (CAPALDI et al., 2015).

### 1.3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCÂNTARA, P. B.; PEDRO JÚNIOR., M. J.; DONZELLI, P. L. Zoneamento edafoclimático de plantas forrageiras. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMAS DE PASTAGENS, 2., 1993, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: Fundação Universidade Estadual Paulista, 1993. p.1-16.
- ALVAREZ, V. V. H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C. H.; PEREIRA, N. F. Enxofre. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J.C.L. (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007 p. 595-646.
- AZIZ, M.; NADIPALLI, R. K.; XIE, X.; SUN, Y.; SUROWIEC, K.; ZHANG, J. L.; PARÉ, P. W. Augmenting sulfur metabolism and herbivore defense in Arabidopsis by bacterial volatile signaling. **Frontiers in plant science**, v. 7, p. 458, 2016
- BONA, F. D.; MONTEIRO, F. A. Nitrogen and sulfur fertilization and dynamics in a Brazilian Entisol under pasture. **Soil Science Society of America Journal**, v. 74, n. 4, p. 1248-1258, 2010.
- BONA, F. D.; SCHMIDT, F.; MONTEIRO, F. A. Importance of the nitrogen source in the grass species *Brachiaria brizantha* responses to sulfur limitation. **Plant and soil**, v. 373, n. 1-2, p. 201-216, 2013.
- BRAHIM, S.; NIESS, A.; PFLIPSEN, M.; NEUHOFF, D.; SCHERER, H. Effect of combined fertilization with rock phosphate and elemental sulphur on yield and nutrient uptake of soybean. **Plant Soil Environ.**, v. 63, n. 2 p. 89-95, 2017.
- CAETANO, L. P. S.; DIAS-FILHO, M. B. Responses of six *Brachiaria* spp. accessions to root zone flooding. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 37, n. 5, p. 795-801, 2008.
- CAPALDI, F. R.; GRATÃO, P. L.; REIS, A. R.; LIMA, L. W.; AZEVEDO, R. A. Sulfur Metabolism and Stress Defense Responses in Plants. **Tropical Plant Biology**, v. 8, p. 1-14, 2015.
- CHIEN, S. H.; GEARHART, M. M.; VILLAGARCÍA, S. Comparison of ammonium sulfate with other nitrogen and sulfur fertilizers in increasing crop production and minimizing environmental impact: a review. **Soil Science**, v. 176, n. 7, p. 327-335, 2011.
- COBBETT, C. S. Phytochelatins and their roles in heavy metal detoxification. **Plant physiology**, v. 123, n. 3, p. 825-832, 2000.
- CORDEIRO, F. C.; DIAS, F. C.; MERLIM, A. O.; CORREIA, M. E. F.; AQUINO, A. M. de e BROWN, G. Diversidade da macrofauna invertebrada do solo como indicadora da qualidade do solo em sistema de manejo orgânico de produção. **Revista Universidade Rural: Série Ciências da Vida**, Seropédica, v. 24, n. 2, p. 29-34, jul.-dez., 2004.

CRAWFORD, N. M.; KAHN M. L.; LEUSTEK T.; LONG S. R. Nitrogen and sulfur. In: BUCHANAN, B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L., (Eds). *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. **American Society of Plant Physiologists**, Rockville, MD, p. 786–849, 2000.

CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S.; SORATTO, R. P.; ROSOLEM, C. A. Upland rice growth and mineral nutrition as affected by cultivars and sulfur availability. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, n. 1, p. 328-335, 2013.

CUNHA, M. K.; SIEWERDT, L.; SILVEIRA JÚNIOR, P.; SIEWERDT, F. Doses de nitrogênio e enxofre na produção e qualidade da forragem de campo natural de planossolo no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 651-658, 2001.

CUSTÓDIO, D. P.; DE OLIVEIRA, I. P.; DE PINHO COSTA, K. A.; SANTOS, R. S. M.; FARIA, C. D. Avaliação do gesso no desenvolvimento e produção do capim-tanzânia. **Ciência Animal Brasileira**, v.6, n. 1, p.27-34, 2005.

DAVIDIAN, J. C.; KOPRIVA, S. Regulation of sulfate uptake and assimilation: the same or not the same? **Molecular plant**, v. 3, n. 2, p. 314-325, 2010.

DEGRYSE, F.; SILVA, R. C.; BAIRD, R.; BEYRER, T.; BELOW, F.; MCLAUGHLIN, M. J. Uptake of elemental or sulfate-S from fall-or spring-applied co-granulated fertilizer by corn: a stable isotope and modeling study. **Field Crops Research**, v. 221, p. 322-332, 2018

DEGRYSE, F.; AJIBOYE, B.; BAIRD, R.; DA SILVA, R. C.; MCLAUGHLIN, M. J. Availability of fertiliser sulphate and elemental sulphur to canola in two consecutive crops. **Plant and soil**, v. 398, n. 1-2, p. 313-325, 2016.

DIAS-FILHO, M. B. Sistemas silvipastoris na recuperação de pastagens tropicais degradadas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. Special Suppl., p. 535-553, 2006.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. [S.l.]: Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E), 2014.

DING, Y.; ZHOU, X.; ZUO, L.; WANG, H.; YU, D. Identification and functional characterization of the sulfate transporter gene GmSULTR1; 2b in soybean. **BMC genomics**, v. 17, n. 1, p. 373, 2016. DOI: 10.1186/s12864-016-2705-3

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte. **O Capim - Xaraés (*Urochloa brizanthacv. Xaraés*) na Diversificação das Pastagens de Braquiária**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2004. p.36.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Gado de Corte. Capim-Piatã homenageia povo indígena Tupi Guarani. **Informativo Piatã**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, v. 1, n. 2, 2008.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Piatã**: cultivar de *Urochloa Brizantha*. Disponível em: <[www.cnpq.embrapa.br/produtos/eservicos/pdf/piata.pdf](http://www.cnpq.embrapa.br/produtos/eservicos/pdf/piata.pdf)>. Acesso em: 06 nov. 2012.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas**: princípios e perspectivas. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 403 p.

EUCLIDES FILHO, K. **Produção de bovinos de corte e o trinômio genótipo-ambiente-mercado**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2000.

EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M. C. M.; DO VALLE, C. B.; BARBOSA, R. A.; GONÇALVES, W. V. Produção de forragem e características da estrutura do dossel de cultivares de *Brachiaria brizantha* sob pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 12, p. 1805-1812, 2009.

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

FIORINI, I. V. A.; VON PINHO, R. G.; PEREIRA, H. D.; PIRES, L. P. M.; FIORINI, F. V. A.; RESENDE, E. L. Dry matter accumulation, chlorophyll and sulfur leaf in corn fertilized with different sulfur sources. **Journal of bioenergy and food science**, v. 4, n. 1, p. 1-11, 2017.

FONTE, S. J.; NESPER, M.; HEGGLIN, D.; VELÁSQUEZ, J. E.; RAMIREZ, B.; RAO, I. M.; OBERSON, A. Pasture degradation impacts soil phosphorus storage via changes to aggregate-associated soil organic matter in highly weathered tropical soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 68, p. 150-157, 2014.

GENG, J.; MA, Q.; CHEN, J.; ZHANG, M.; LI, C.; YANG, Y.; LIU, Z. Effects of polymer coated urea and sulfur fertilization on yield, nitrogen use efficiency and leaf senescence of cotton. **Field Crops Research**, v. 187, p. 87-95, 2016.

GOMES, R. A.; LEMPP, B.; JANK, L.; CARPEJANI, G. C.; MORAIS, M. G. Características anatômicas e morfofisiológicas de lâminas foliares de genótipos de *Panicum maximum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 2, p. 205-211, fev. 2011.

Haq, I. U.; Carlson, R. M.; Sulfur diagnostic criteria for french prune trees. **Journal of plant nutrition**, v. 16, n. 5, p. 911-931, 1993.

HAWKESFORD, M. J.; DE KOK L. J. Managing sulphur metabolism in plants. **Plant Cell and Environment**, Malden, v. 29, p. 382-395, 2006

HAWKESFORD, M. J.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHIOERRING, MOLLER S.; WHITE, P. Functions of macronutrients, In: MARSCHNER, P. (Ed) **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. Oxford: Elsevier, 2012. p. 135-189.

HEINRICHS, R.; GRANO, F. G.; BUENO, L. G. D. F.; SOARES FILHO, C. V.; FAGUNDES, J. L.; REBONATTI, M. D.; OLIVEIRA, K. D. *Brachiaria* sp yield and



nutrient contents after nitrogen and sulphur fertilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 997-1003, 2013.

HEINRICHS, R.; MONREAL, C. M.; SANTOS, E. T.; SOARES FILHO, C. V.; REBONATTI, M. D.; TEIXEIRA, N. M.; MOREIRA, A. Phosphorus Sources and Rates Associated with Nitrogen Fertilization in Mombasa Grass Yield. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, n. 5, p. 657-669, 2016.

HERSCHBACH, C.; RENNENBERG, E. Influence of glutathione (GSH) on sulphate influx, xylem loading and exudation in excised tobacco roots. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v-42, p.1021-1029, 1991.

JANK, L.; SAVIDAN, Y.; SOUZA, M. T.; COSTA, J. G. C. Avaliação do germoplasma de *Panicum maximum* introduzido da África. 1. Planta forrageira. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 23, n. 3, p. 433-440, 1994.

KOPRIVA, S.; TALUKDAR, D.; TAKAHASHI, H.; HELL, R.; SIRKO, A.; D'SOUZA, S. F.; TALUKDAR, T. Frontiers of sulfur metabolism in plant growth, development, and stress response. **Frontiers in plant science**, v. 6, p. 1220, 2016.

KRUSE, J.; KOPRIVA, S.; HÄNSCH, R.; KRAUSS, G. J.; MENDEL, R. R.; RENNENBERG, H. Interaction of sulfur and nitrogen nutrition in tobacco (*Nicotiana tabacum*) plants: significance of nitrogen source and root nitrate reductase. **Plant Biology**, v. 9, n. 5, p. 638-646, 2007.

LEUSTEK, T.; MARTIN, M. N.; BICK, J. A.; DAVIES, J. P. Pathways and regulation of sulfur metabolism revealed through molecular and genetic studies. **Annual review of plant biology**, v. 51, n. 1, p. 141-165, 2000.

LARSSON, C. M.; LARSSON, M.; PURVES, V.; CLARKSON, D. T. Translocation and cycling through roots of recently absorbed nitrogen and sulphur in wheat (*Triticum aestivum*) during vegetative and generative growth. **Physiologia Plantarum**, Malden, v. 82, p. 345-352, 1991.

LUPATINI, G. C. **Produção, características morfológicas e valor nutritivo de cultivares de *Brachiaria brizantha* submetidas a duas alturas de resíduo**. 2010. 64 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu.

MACEDO, M. C. M. Pastagens no ecossistema Cerrado: evolução das pesquisas para o desenvolvimento sustentável. **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 42, n. 2005, p. 56-84, 2005.

MACEDO, M. C. M. Pastagens no ecossistema Cerrado: evolução das pesquisas para o desenvolvimento sustentável. **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 42, p. 56-84, 2005.

MAZID, M.; KHAN, T.M.; MOHAMMAD F. Response of crop plants under sulphur stress tolerance: A holistic approach. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, v. 7, n. 3, 2011.

MENDOZA-COZATL, D.; LOZA-TAVERA, H.; HERNÁNDEZ-NAVARRO, A.; MORENO-SÁNCHEZ, R. Sulfur assimilation and glutathione metabolism under cadmium stress in yeast, protists and plants. **FEMS microbiology reviews**, v. 29, n. 4, p. 653-671, 2005.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO.

**Bovinos e Bubalinos**. Disponível em:

<<http://www.agricultura.gov.br/animal/especies/bovinos-e-bubalinos>>. Acesso em: 30 set. 2016.

MORAES, M. F.; SANTOS, M. G.; BERMÚDEZ-ZAMBRANO, O. D.; MALAVOLTA, M.; RAPOSO, R. W. C.; CABRAL, C. P.; MALAVOLTA, E. Resposta do arroz em casa de vegetação a fontes de micronutrientes de diferentes granulometria e solubilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 6, p. 611-614, 2004

MORAL, O. F. G.; MORENA, I.; RAMOS, J. M. Effects of nitrogen and foliar sulphur interaction on grain yield and yield components in barley. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 183, n. 2, p. 213-226, 1999.

MUGFORD, S. G.; YOSHIMOTO, N.; REICHELT, M.; WIRTZ, M.; HILL, L.; MUGFORD, S. T.; NAKAZATO Y.; NOJI M.; TAKAHASHI H.; KRAMELL R.; GIGOLASHVILI, T. Disruption of adenosine-5'-phosphosulfate kinase in Arabidopsis reduces levels of sulfated secondary metabolites. **The Plant Cell**, v. 21, n. 3, p. 910-927, 2009.

PALMIERI, L.; PARDO, B.; LASORSA, F. M.; DEL ARCO, A.; KOBAYASHI, K.; IJIMA, M.; PALMIERI, F. Citrin and aralar1 are Ca<sup>2+</sup>-stimulated aspartate/glutamate transporters in mitochondria., **The EMBO Journal**, v. 20, n. 18, p. 5060-5069, 2001.

PANDEY, S. N.; NAAZ, S.; ANSARI, S. R. Growth, biomass and petroleum convertible hydrocarbons' yield of Grindelia camporum planted on an alluvial soil (Entisol) of North India and its response to sulphur fertilization. **Biomass and bioenergy**, v. 33, n. 3, p. 454-458, 2009.

PEREIRA, C. S.; DE FREITAS, A. A.; CHAPLA, M. V.; LANGE, A. Doses de potássio com a presença de enxofre na cultura da soja. **GLOBAL SCIENCE AND TECHNOLOGY**, v. 9, n. 1, 2016.

PIMENTA, L. Capim novo a caminho. **Revista ABCZ**, v. 50, p. 18-20, 2009.

QUADROS, D. G. D.; RODRIGUES, L. R. D. A.; FAVORETTO, V.; MALHEIROS, E. B.; HERLING, V. R.; RAMOS, A. K. B. Componentes da produção de forragem em pastagens dos capins Tanzânia e Mombaça adubadas com quatro doses de NPK. **Revista Brasileira de Zootecnia**, p. 1333-1342, 2002.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van; MALAVOLTA, E. Alternative use of the SPM – buffer solution to determine lime requirement of soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.16, p.245-260, 1985.

RAO, I. M.; FRIESEN, D. K.; OSAKI, M. Plant adaptation to phosphorus-limited tropical soils. **Handbook of plant and crop stress**, v. 2, p. 61-95, 1999.

RAVILIOUS, G. E.; JEZ, J. M. Structural biology of plant sulfur metabolism: from assimilation to biosynthesis. **Natural product reports**, v. 29, n. 10, p. 1138-1152, 2012.

REZENDE, C. G. B. **Fosfato natural na adubação do Capim Piatã em latossolo vermelho do cerrado**. 2013. 54 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis.

ROSADO, T. L.; GONTIJO, I.; DE ALMEIDA, M. S.; NETO, A. C.; SIMON, C. P. Production and tillering of mombaça grass with different sources and levels of applied nitrogen. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 24, n. 2, p. 139, 2016.

SALVAGIOTTI, F.; FERRARIS, G.; QUIROGA, A.; BARRACO, M.; VIVAS, H.; PRYSTUPA, P.; ECHEVERRÍA H.; BOEM, F. H. G. Identifying sulfur deficient fields by using sulfur content; N: S ratio and nutrient stoichiometric relationships in soybean seeds. **Field crops research**, v. 135, p. 107-115, 2012.

SANTOS, A. R.; MONTEIRO, F. A. Produção e perfilhamento de *Urochloa decumbens* Stapf. em função de doses de enxofre. **Scientia Agricola**, v. 56, n. 3, p. 689-692, 1999.

SHAH, M. A.; MANAF, A.; HUSSAIN, M.; FAROOQ, S.; ZAFAR-UL-HYE, M. . Sulphur fertilization improves the sesame productivity and economic returns under rainfed conditions. **Int. J. Agric. Biol**, v. 15, p. 1301-1306, 2013.

SMITH, F. W.; EALING, P. M.; HAWKESFORD, M. J.; CLARKSON, D. T. Plant members of a family of sulfate transporters reveal functional subtypes. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 92, n. 20, p. 9373-9377, 1995.

SOARES, D. D. M. A.; SANTOS, C. L. A.; LIMA, P. M. F.; COSTA SANTOS, V.; DE SOUZA, K. A.; ABRANTES, R. S. X.; SANTOS, E. L. A. Noções básicas sobre bovinocultura de corte. **International Journal of Agriculture and Biology (IJAB)**, v. 10, n. 2, p. 53 - 56, jul./dez. 2016

SOLOMON, D.; LEHMANN, J.; LOBE, I.; MARTINEZ, C. E.; TVEITNES, S.; DU PREEZ, C. C.; AMELUNG, W. Sulphur speciation and biogeochemical cycling in long-term arable cropping of subtropical soils: evidence from wet-chemical reduction and SK-edge XANES spectroscopy. **European Journal of Soil Science**, v. 56, n. 5, p. 621-634, 2005.

STULEN, I.; DE KOK, L. J. Foreword: exploring interactions between sulfate and nitrate uptake at a whole plant level. In: SULFUR metabolism in plants. Dordrecht: Springer, ,2012. p. 1-8.

SUN, L.; YANG, J.; FANG, H.; XU, C.; PENG, C.; HUANG, H.; LU, L.; DUAN, D.; ZHANG X.; SHI, J. Mechanism study of sulfur fertilization mediating copper translocation and biotransformation in rice (*Oryza sativa* L.) plants. **Environmental pollution**, v. 226, p. 426-434, 2017.

TIECHER, T.; SANTOS, D. R.; ALVAREZ, J. W. R.; MALLMANN, F. J. K. PICCIN, R.; BRUNETTO, G. Respostas de culturas à adubação sulfatada e deposição de enxofre atmosférico. **Revista Ceres**, v. 60, n. 3, p. 420-427, 2013.

TIRITAN, C. S.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A.; CARMEIS FILHO, A. C.; FERNANDES, D. M.; NASCENTE, A. S. Tillage system and lime application in a tropical region: Soil chemical fertility and corn yield in succession to degraded pastures. **Soil and Tillage Research**, v. 155, 437-447, 2016.

TISDALE, S. L. **Sulfur in forage quality and ruminant nutrition**. Washington: The Sulfur Institute, 1977. 13 p. (Technical Bulletin, 22).

UCHÔA, S. C. P.; ALVAREZ V, V. H.; FREIRE, F. M. Doses de enxofre e tempo de incubação na dinâmica de formas de enxofre no solo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 678-687, June 2013.

VALLE, C. B.; EUCLIDES, V. P. B.; VALÉRIO, J. R.; MACEDO, M. C. M.; FERNANDES, C. D.; DIAS FILHO, M. B. Urochloa brizantha cv. Piatã: uma forrageira para diversificação de pastagens tropicais. **Seed News**, v. 11, p. 28-30, 2007.

VITTI, G. C.; HEIRINCHS, R. Formas tradicionais e alternativas de obtenção e utilização do nitrogênio e enxofre: uma visão holística. YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**, v. 1, p. 109-160, 2007.

VITTI, G. C. **Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta**. Jaboticabal: FUNEP, 1989. p. 37.

VUOLO, M. G. **Use of nitrogen sources in Tanzania (*Panicum maximum* Jack) at the end of the rainy season**. Dissertation (Master degree) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, Brazil, 2006.

WANG, Y. X.; YANG, L.; SUN, M. H. Classification and functions of sulfate activating complexes. **Chem Life**, v. 31, n. 2, p. 252–257, 2011.

WHITEHEAD, D.C. **Nutrient elements in grassland: soil-plant-animal relationship**. New York: Cabi Publising, 2000. 396 p.

## CAPITULO 2 - EFEITO DE DOSES, FONTES E GRANULOMETRIA DE ENXOFRE NO ESTADO NUTRICIONAL E PRODUÇÃO FORRAGEIRA DO CAPIM PIATÃ

**RESUMO** – A deficiência de enxofre em solos tornou-se uma preocupação mundial na produção agropecuária. Objetivou-se com este trabalho avaliar o estado nutricional e a produção do capim Piatã submetido a doses e fontes de enxofre em Argissolo Vermelho Amarelo, distrófico. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 4 x 5, com quatro fontes (Fosfogesso, Gipsita, S-elementar em PO e S-elementar pastilhado) e cinco doses de enxofre (0, 50, 100, 150 e 200 mg kg<sup>-1</sup>). A aplicação enxofre proporcionou máxima produção de massa seca da parte aérea semelhante (16,66 a 17,69 g/vaso) para todas as fontes, mas houve grande variação da dose devido a fonte (112 a 146 mg kg<sup>-1</sup>). O maior incremento da massa seca de raízes foi com a fonte S-elementar (PO). O número de perfilhos, relação folha:haste e SPAD apresentaram incremento com a aplicação de enxofre e não ocorreu diferença entre as fontes. A absorção de macronutrientes em ordem decrescente foi K>N>Ca>P>S>Mg. Os resultados do estudo indicam que o suprimento ideal de enxofre é essencial para produção do capim Piatã, independente da fonte, e a deficiência acarretou o menor desenvolvimento.

**Palavras-chave:** Fertilizantes, Nutrição de plantas, Pastagens, *Urochloa brizantha*

## EFFECT OF DOSES, SOURCES AND GRANULOMETRY OF SULFUR IN THE NUTRITIONAL STATE AND FORAGE PRODUCTION OF PIATÃ GRASS

**ABSTRACT** - Sulfur deficiency in soils has become a worldwide concern for agricultural production. The objective of the experiment was to evaluate the nutritional status and forage production of Piatã grass submitted to doses and sources of sulfate and elemental sulfur in dystrophic Ultisol. The experiment was arranged in a completely randomized block design with four replications. The 4 x 5 factorial treatments consisted of four sulfur sources (Fosfogypsum, gipsita, elemental sulfur powdered and elemental sulfur pastilles) and five sulfur doses (0, 50, 100, 150 and 200 mg kg<sup>-1</sup>). The sulfur application resulted in a similar maximum shoot dry mass production (32.66 to 33.69 g/pot) for all sources, but there was great variation in the dose due to the source (112 to 146 mg kg<sup>-1</sup>). The greatest increment of the roots dry mass was with the elemental S powdered source. The number of tillers, leaf:stem ratio and SPAD presented increase with the application of sulfur and did not occur difference between the sources. Macronutrients uptake in decreasing order was K>N>Ca>P>S>Mg. The results of the study indicate that the ideal sulfur supply is essential for Piatã grass production, regardless of source, and the deficiency resulted in the lowest development.

Key words: Fertilizer, Plant nutrition, Pastures, *Urochloa brizantha*,

## 2.1 INTRODUÇÃO

A pecuária ocupa uma posição de destaque na economia mundial, especialmente em relação ao aumento da produção, bem como está atrelado à demanda nas relações comerciais internacionais (SOARES, et al., 2016). O Brasil é responsável por um quinto da carne comercializada internacionalmente e exporta para mais de 180 países (MAPA, 2016).

A área total ocupada por pastagens no Brasil é de 173 milhões de hectares (DIAS-FILHO, 2014), sendo as espécies do gênero *Urochloa* as mais representativas, por serem consideradas produtivas, com elevado acúmulo de folhas, maior tolerância a solos com má drenagem e resistência às cigarrinhas (PIMENTA, 2009). Dentre as espécies do gênero *Urochloa*, a cultivar Piatã possui características favoráveis de gerenciamento, como baixa taxa de alongamento da haste com lâmina foliar mais alta, acúmulo de forragem durante o período seco, menor sazonalidade na produção e ótimo desempenho em solos de fertilidade média e alta (EUCLIDES et al., 2008).

Na adubação, deficiência de enxofre em solo agrícola tornou-se uma preocupação mundial na produção de culturas devido ao uso excessivo de adubos de alta concentração sem a presença de enxofre, bem como nas atividades agrícolas intensivas, provocando a carência deste elemento nas áreas de cultivo, especialmente em solos de textura arenosa e com baixo teor de matéria orgânica e alta incidência pluvial (SALVAGIOTTI ET al., 2008; SUN et al., 2017). Dessa forma, a escassez de enxofre contribui significativamente na redução da biomassa das plantas e na sua qualidade produtiva, pois está associado à produção de compostos com funções biológicas essenciais, como os aminoácidos sulfurados, vitaminas, acetil-CoA, fotossíntese, fixação e metabolismo de nitrogênio e enxofre (CAPALDI et al., 2015; DING et al., 2016).

Neste cenário, a produção agrícola moderna exige práticas de gestão de fertilizantes eficientes, buscando a sustentabilidade do sistema de produção. As taxas adequadas, fontes apropriadas, métodos eficientes de aplicação no período correto são estratégias importantes (FAGERIA; BALIGAR, 2005). As fontes de enxofre podem interagir com solo de modo a resultar em maior ou menor efeito da adubação e absorção dos nutrientes pelas plantas (MORAES et al., 2004).

Fertilizantes que disponibilizam o nutriente na forma de sulfato podem ser prontamente absorvido, todavia o enxofre na forma elementar é absorvido somente depois de passar pelo processo de oxidação, o que pode ser favorável para o fornecimento equilibrado e contínuo durante o ciclo da cultura (GRANT et al. 2012; DEGRYSE et al., 2017).

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a produção e estado nutricional em S e demais macronutrientes do capim Piatã submetido a doses e fontes de enxofre em Argissolo Vermelho Amarelo.

## **2.2 Material e métodos**

### **2.2.1. Condição experimental**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, localizada nas coordenadas geográficas 21°27'34"S e 51°33'19"W e altitude média de 400 m.

O solo utilizado foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo, distrófico (SANTOS, 2018). A coleta foi na profundidade de 0 – 0,2 m, formando-se uma amostra composta, destorroada, homogeneizada, seca ao ar e passada em peneira com malha de quatro mm de abertura. As características químicas do solo foram: pH (CaCl<sub>2</sub>) = 4,6; Matéria Orgânica = 17,0 g kg<sup>-1</sup>; P = 6,0 mg kg<sup>-1</sup>; K = 1,2 mmol kg<sup>-1</sup>; Ca = 6,0 mmolc kg<sup>-1</sup>; Mg = 3,0 mmol kg<sup>-1</sup>; S = 7,0 mg kg<sup>-1</sup>; Acidez Potencial (H + Al) = 21,0 mmol kg<sup>-1</sup>; Al = 3,0 mmol kg<sup>-1</sup>; SB (ΣK, Ca, Mg) = 10,2 mmol kg<sup>-1</sup>; Capacidade de troca catiônica (ΣK, Ca, Mg, H + Al) = 31,2 mmol kg<sup>-1</sup>; Saturação por bases [(ΣK, Ca, Mg)/(ΣK, Ca, Mg, H + Al)] × 100 (V) = 32,7%. Os elementos P, K, Ca, Mg e Al foram extraídos por solução extratora de íons (RAIJ et al., 2001).

Para a correção da acidez do solo, determinou-se a necessidade de calagem pelo método de saturação por base (QUAGGIO et al., 1985) para elevar a 70%. Foram utilizados o CaCO<sub>3</sub> e MgCO<sub>3</sub>, reagentes puros, na relação 3:1. Para cada parcela, foram colocados quatro kg de terra, em uma bandeja plástica e adicionada a quantidade de carbonato previamente calculado, homogenizado e transferido para o vaso para permanecer incubado a 80% da capacidade de campo por 30 dias.

Após o período de incubação, o solo foi novamente seco e adicionado os nutrientes nas seguintes quantidades (mg kg<sup>-1</sup>): 300 de N [ureia CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>]; 200 de



P [fosfato de cálcio monobásico  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ]; 150 de K [cloreto de potássio (KCl)]; 0,5 de B (ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ )), 0,05 de Co [cloreto de cobalto ( $\text{CoCl}_2$ )], 1,0 de Cu [sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ )], 0,05 de Mo [ácido molibdico ( $\text{H}_2\text{MoO}_4$ )], 0,05 de Ni [sulfato de níquel ( $\text{NiSO}_4$ )], 5 de Mn [sulfato de manganês ( $\text{MnSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ )] e 2,0 de Zn [sulfato de zinco ( $\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ )].

### 2.2.2. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado arranjado em esquema fatorial, 4x5, sendo cinco doses de S (0, 50, 100, 150 e 200  $\text{mg kg}^{-1}$ ) e quatro fontes de S [enxofre elementar pastilhado (SEPA) (90,0% S); Fosfogesso (FG), resíduo da fabricação de fertilizantes fosfatados (23,5% Ca; 16,9% S); gibbsite (GI), rocha natural moída (24,1% Ca; 16,9% S); enxofre elementar em pó (SEPO) (95,0% S)]. Os tratamentos foram compostos por quatro repetições.

O experimento foi organizado em delineamento de blocos casualizados, com 4 repetições. O esquema fatorial 5 x 4 consistiu de cinco doses de enxofre (0, 50, 100, 150 e 200  $\text{mg kg}^{-1}$ ) e quatro fontes de enxofre. As fontes foram enxofre elementar pastilhado (SEPA) (90,0% S, 10% Bentonita) com granulometria de 1 a 4 mm. Fosfogesso (FG) (23,5% Ca; 16,9% S), produto industrial, resíduo da fabricação de fertilizantes fosfatados com alta solubilidade de 0,0204 g 100  $\text{mL}^{-1}$ . Gipsita (GI) (24,1% Ca; 16,9% S) produto de origem natural de jazidas com baixa solubilidade e enxofre elementar em pó (SEPO) (95,0% S) com partículas <0,3 mm.

As quantidades de fontes S foram calculadas com base na concentração total no material fertilizante e misturadas com 4 kg de solo por vaso (a densidade do solo foi de 1,3  $\text{g cm}^{-3}$ ).

### 2.2.3. Instalação experimental e procedimentos

A espécie forrageira utilizada foi *Urochloa brizantha* (A.Rich.) R.D.Webster (syn. *Brachiaria brizantha*) cv. Piatã. O estudo foi realizado de janeiro a março de 2017. O capim Piatã foi semeado em uma bandeja com areia, permanecendo por 10 dias, sendo então transplantadas 6 mudas de vaso<sup>-1</sup>. Após sete dias foi realizado o desbaste, permanecendo 4 mudas uniformes vaso<sup>-1</sup>.

A irrigação do experimento foi realizada manualmente com água deionizada, mantendo a umidade em 80% da capacidade de campo. Para determinar a

capacidade de campo dos vasos, cinco vasos foram colocados para saturar o solo em uma caixa de água com um volume de água equivalente a 2/3 da altura dos vasos. Em seguida, os vasos foram mantidos por um período de 24 horas, de modo que ocorreu a saturação completa. Posteriormente, eles foram cobertos com filme plástico, para evitar a evaporação, garantindo apenas a drenagem da água por gravidade. As panelas foram pesadas em zero e após 24, 36, 48, 60 e 72 horas.

#### **2.2.4. Parâmetros Avaliados**

##### **2.2.4.1. Produção de massa seca e perfilhamento**

O capim Piatã foi cortado aos cinquenta dias após a germinação, a 5 cm acima da superfície do solo. Em seguida, realizou-se a separação morfológica de folhas e caules + bainhas. Posteriormente, o material foi seco a  $65 \pm 2^\circ \text{C}$  até peso constante (72 h) para determinação da massa seca da parte aérea (MSPA), expressa em  $\text{g vaso}^{-1}$ . A MSPA foi obtida pela soma das folhas e caules + bainhas, enquanto a relação folhas:colmo foi obtida a partir do quociente entre a massa seca das lâminas foliares e a massa seca dos colmos + bainhas.

A contagem de perfilhos foi realizada imediatamente antes de cada corte, expressa em número  $\text{vaso}^{-1}$ .

Ao final do experimento, as raízes de cada vaso foram coletadas e lavadas em tela de 2 mm e secas a  $65^\circ \text{C} \pm 2^\circ \text{C}$  até peso constante para determinação da massa seca da raiz (RDM), expressa em  $\text{g vaso}^{-1}$ .

##### **2.2.4.2. Macronutrientes e SPAD**

O índice SPAD foi avaliado nas folhas recém-expandidas, expresso em (unidades) usando o clorofilômetro Minolta Co (MINOLTA, 1989).

Após a secagem em estufa ventilada a MSPA de cada parcela experimental foi moída em um moinho de Willey para determinar a concentração de N, P, K, Ca, Mg e S, conforme descrito por Malavolta et al. (1997).

Na determinação de N, o material vegetal foi submetido à digestão com ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), seguido de destilação e titulação método semimicro de Kjeldahl. A digestão nítrico-perclórica ( $\text{HNO}_3$  65% e  $\text{HClO}_4$  70%) foi adotada para determinar as concentrações de P, K, Ca, Mg e S.

Espectrofotometria de absorção atômica foi utilizada na determinação das concentrações de Ca e Mg e fotometria de chama na determinação de K. A concentração de P foi obtida por colorimetria, enquanto o S foi determinado por turbidimetria de cloreto de bário ( $\text{BaCl}_2$ ). A concentração dos macronutrientes foi expressa em  $\text{g kg}^{-1}$ .

A relação entre a concentração de N e S (N: S) foi calculada de acordo com as doses de S.

### **2.2.5 Análise estatística**

Para cada característica, foi realizada análise de variância considerando o delineamento de blocos casualizado em esquema fatorial. Foram considerados os fatores fonte de enxofre, com quatro (04) níveis, e doses de enxofre, com cinco (05) níveis, tomado como controle, ausência de enxofre.

Os fatores que apresentaram significância na análise de variância foram submetidos ao teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) para os parâmetros qualitativos, e análise de regressão, para os parâmetros quantitativos. Toda análise estatística dos dados foi realizada por meio de rotinas desenvolvidas no software livre R (R CORE TEAM, 2018), utilizando o pacote “ExpDes.pt”.

## **2.3. RESULTADOS**

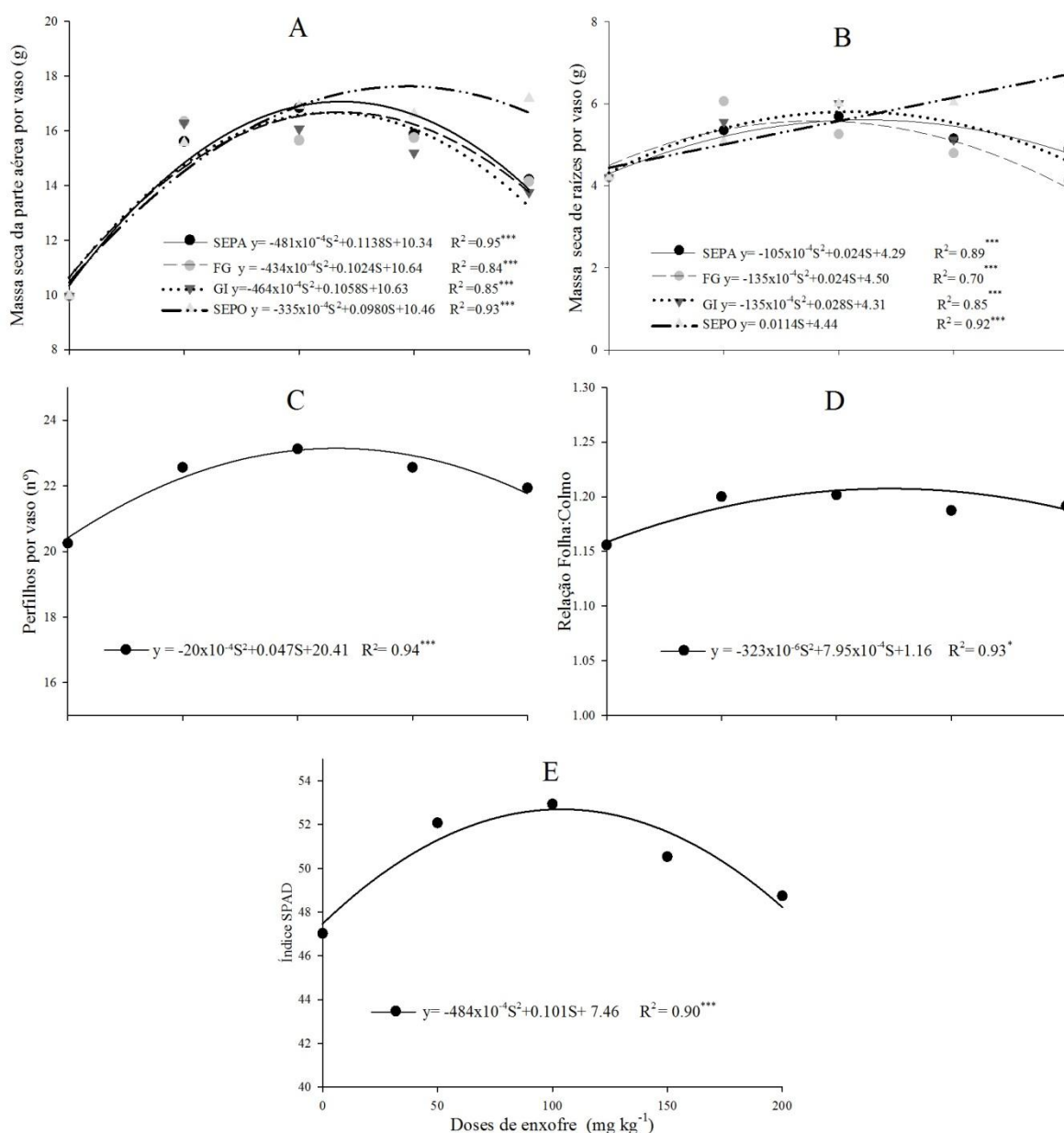
### **2.3.1 Produção de massa seca e perfilhamento**

A produção de massa seca da parte aérea e raízes do capim Piatã foram influenciadas pela interação das doses e fontes de enxofre no solo. As análises de regressão se ajustaram ao modelo quadrático para todas as fontes (Fig. 1A e 1B), exceto a fonte S-Elementar, na massa seca de raízes, aumentou de forma linear com a aplicação de S, atingindo  $6,72 \text{ g vaso}^{-1}$ , um incremento de 64% em relação ao controle.

A produção máxima de massa seca da parte aérea foi semelhante entre as fontes avaliadas, variando de  $16,66 \text{ g vaso}^{-1}$  a  $17,69 \text{ g vaso}^{-1}$ , com incrementos de 57% a 63%, respectivamente. No entanto, as doses necessárias para produção máxima apresentaram maior variação, os pontos de máxima foram na dose de  $114 \text{ mg kg}^{-1}$  para o Gipsita;  $118 \text{ mg kg}^{-1}$  para o Fosfogesso e S-elementar (PA);  $146 \text{ mg kg}^{-1}$  para o S-elementar (PO). Para as fontes FG, GI e SEPA a máxima produção de

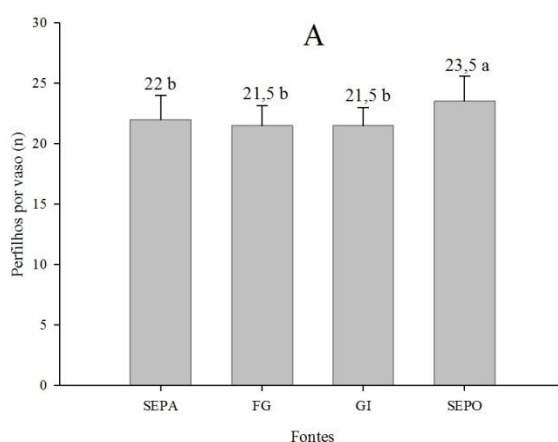
massa seca de raízes foi de aproximadamente 5,7 g vaso<sup>-1</sup> (+30%), com o fornecimento de 89; 104 e 114 mg kg<sup>-1</sup>.

O número de perfilhos, relação folha:haste e o índice SPAD não apresentaram interação entre doses e fontes, motivo pelo qual são apresentados resultados médios para cada dose (Figura 1C, 1D e 1E). Estes parâmetros responderam de forma quadrática positiva com a aplicação de enxofre. O número de perfilhos, relação folha:haste e índice SPAD foram superior ao controle em 13, 4 e 11% na dose 117 mg kg<sup>-1</sup>, 123 mg kg<sup>-1</sup> e 104 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.



**Figure 1.** Produção de massa seca da parte aérea (A), massa seca de raízes (B), número de perfilhos (C), relação folha:colmo (D) e índice SPAD (E) do capim Piatã em resposta a fontes e doses de enxofre. Enxofre elementar pastilhado (SEPA); Fosfogesso (FG); gipsita (GI); enxofre elementar em pó (SEPO). \*  $p < 0,05$ ; \*\* -  $p < 0,01$ ; \*\*\* -  $p < 0,001$ .

O número de perfilhos por vaso apresentou efeito exclusivo para as fontes de enxofre. A aplicação da fonte S-elementar (PO) aumentou 7,5% em relação à média das fontes S-elementar (PA), Fosfogesso e Gipsita, que não diferiram entre si (Figura 2).



**Figura 2.** Número de perfilhos por vaso (A). Resultado de comparação de médias para característica que apresentou significância de acordo com a ANOVA. Média seguida pela mesma letra não difere pelo teste Tukey ( $p < 0.05$ ). Enxofre elementar pastilhado (SEPA); Fosfogesso (FG); gipsita (GI); enxofre elementar em pó (SEPO). Barras nas verticais correspondem ao desvio padrão ( $n = 4$ ).

### 2.3.2. Concentração de Macronutrientes

Os nutrientes que apresentaram efeito interação foram o nitrogênio, potássio, enxofre e a relação N:S (Fig. 3A, 3C, 3E e 3F). O nitrogênio e o enxofre apresentaram comportamento semelhante, as fontes SEPO, FG e GI aumentaram a concentração de N e S até a dose  $140 \text{ mg kg}^{-1}$ . O incremento na concentração de N foi de 17 %. Para o enxofre o incremento foi de 96, 68, 75 %, respectivamente.

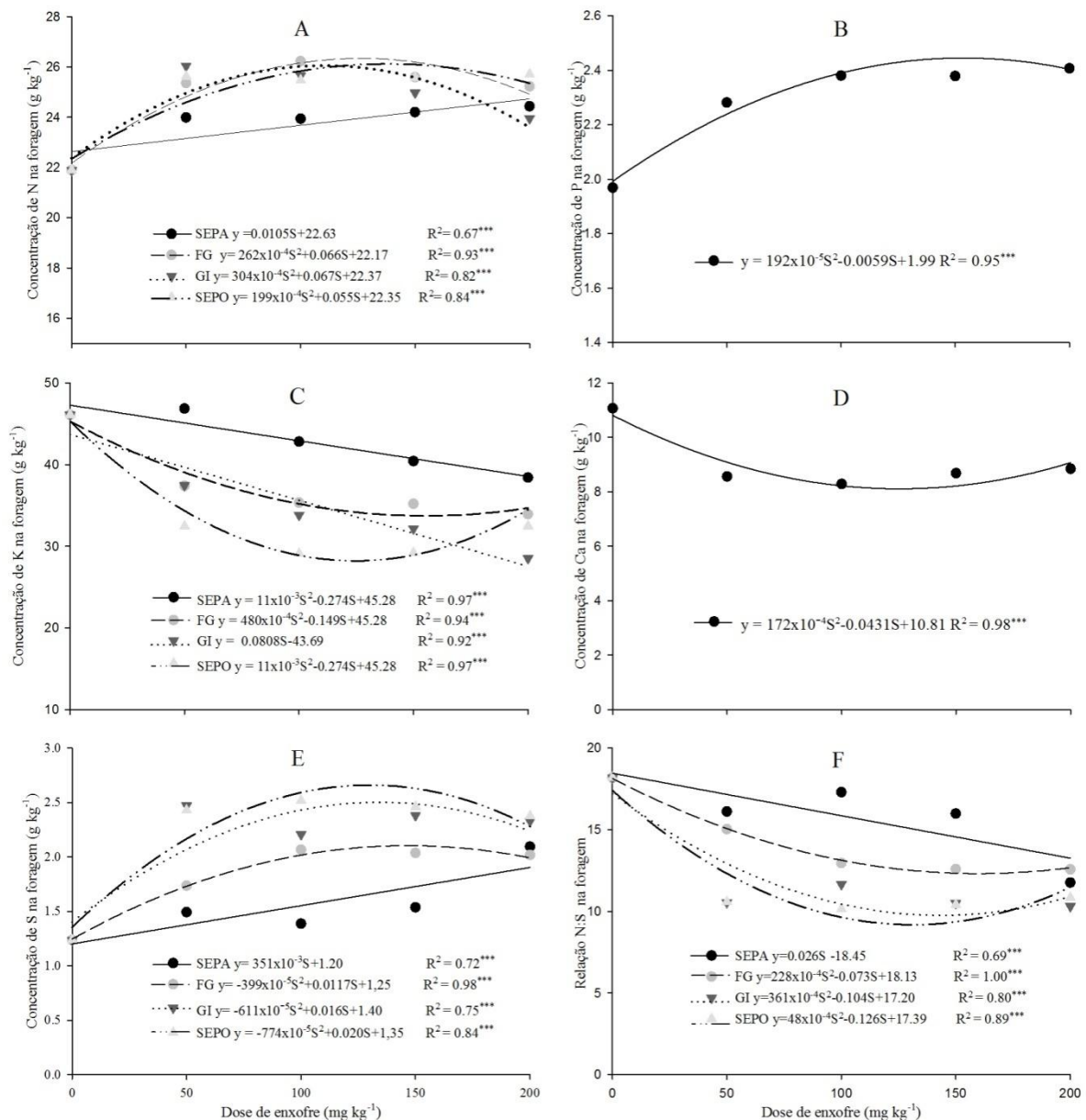
Quando o enxofre foi fornecido na forma elementar pastilhada (SEPA), houve uma resposta linear, atingindo a incrementos de 10 % para o N e 63 % para o S.

O teor de potássio e relação N:S apresentaram tendência de redução com o aumento da dose de enxofre. Para o K a redução ocorreu de forma diferente entre as fontes com a aplicação do enxofre. As fontes S-elementar em pó e Fosfogesso se

ajustaram ao modelo quadrático, apresentando uma redução de 60 e 26% na concentração de K, respectivamente, na dose de 125 e 155 mg kg<sup>-1</sup> de S. As fontes S-elementar pastilhado e Gipsita se ajustaram ao modelo linear, com uma redução de 18 e 59%, respectivamente.

Os resultados encontrados na relação N:S associados aos pontos de máxima da massa seca para parte aérea do capim-piatã foram 15,5:1 para o enxofre elementar pastilhado; 13:1 para o Fosfogesso; 10:1 para o Gipsita; 9,5:1 para o enxofre elementar em pó.

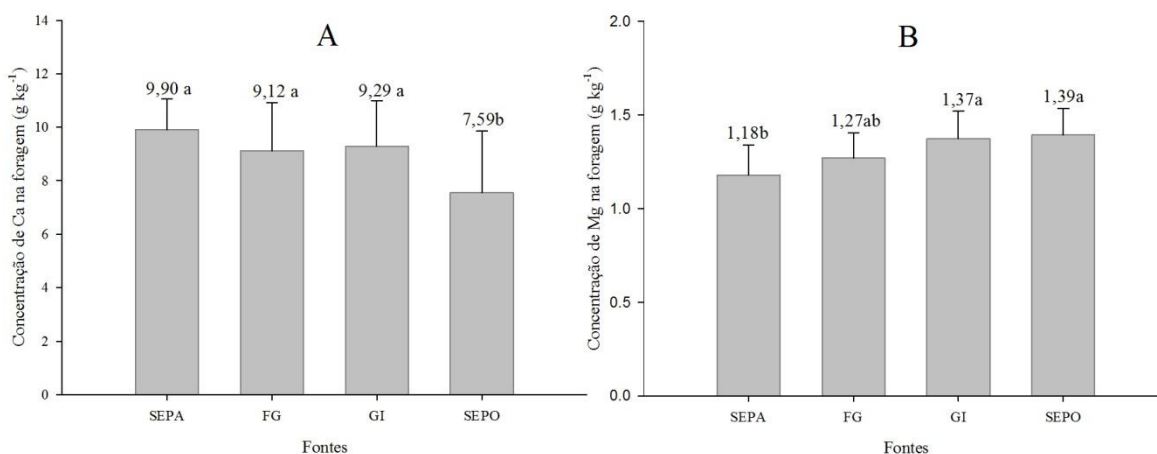
O efeito isolado em função das doses de enxofre foi verificado no teor de P e Ca (Fig. 3B e 3D). Os resultados evidenciam que a adubação de S aumentou a concentração de P até a dose de 154 mg kg<sup>-1</sup> e reduziu a concentração de Ca até a dose 125 mg kg<sup>-1</sup>.



**Figure 3.** Concentração de macronutrientes e relação nitrogênio:enxofre na massa seca da parte aérea do capim Piatã. Concentração de Nitrogênio (A), Fósforo (B), Potássio (C), Cálcio (D), Enxofre (E) e relação N:S (F). Enxofre elementar pastilhado (SEPA); Fosfogesso (FG); gipsita (GI); enxofre elementar em pó (SEPO). \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ .

O efeito exclusivo das fontes de enxofre foi verificado na concentração de Ca e Mg (Figura 4A e 4B). O Ca apresentou menor concentração com a utilização de SEPO, em 13 %, enquanto as demais fontes não se diferenciaram. Para o Mg a

menor concentração ocorreu quando aplicado o SEPA, sendo inferior em 15 % as fontes GI e SEPO, porém não diferiu da fonte Fosfogesso.



**Figura 4.** Concentração de Cálcio na foragem (A) e Concentração de Magnésio na forragem. Resultado de comparação de médias para características que apresentaram significância de acordo com a ANOVA. Média seguida pela mesma letra não difere pelo teste Tukey ( $p < 0.05$ ). Enxofre elementar pastilhado (SEPA); Fosfogesso (FG); gipsita (GI); enxofre elementar em pó (SEPO). Barras nas verticais correspondem ao desvio padrão ( $n = 4$ ).

## 2.4. DISCUSSÃO

### 2.4.1 Produção de forragem.

A deficiência de enxofre no solo limita o crescimento e desenvolvimento do capim piatã, que foi constatado no tratamento com dose zero de enxofre (Figura 1). Os resultados obtidos revelam que a adição do enxofre na adubação otimizou o rendimento do capim Piatã, atingindo produção máxima em doses semelhantes nas fontes Gipsita, Fosfogesso e S-elementar (PA), sendo aproximadamente na dose de  $115 \text{ mg kg}^{-1}$ , enquanto a fonte S-elementar (PO) atingiu a produção máxima na dose de  $150 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Os resultados evidenciam que o capim piatã apresenta respostas semelhantes a outras espécies forrageiras, conforme foi estudado com capim-Marandu por Lavres et al., (2008) e com capim-Tanzânia por Custódio et al, (2005) e Schmidt; Monteiro (2015) que o aumento da disponibilidade de sulfato proporcionou maior produção da massa seca da parte aérea e raiz.

O incremento na produção deve-se ao fato do enxofre atuar nas funções catalíticas, regulatórias e estruturais, bem como nos processos fisiológicos dependente do grupo de proteínas Fe-S, incluindo a fixação e metabolismo do



nitrogênio e enxofre, fotossíntese, síntese de hormônio vegetal (CAPALDI et al., 2015; DING et al., 2016).

A fonte S-elementar em pó atingiu a máxima produção de massa seca da parte aérea e raízes em doses superiores em relação às demais fontes, se destacando na produção de raízes. Esta variação na produção, devido a forma física e química de fertilizante de enxofre também foram relatadas por Greng et al. (2012); Sun et al. (2017). O enxofre elementar somente pode ser absorvido pelas plantas após a oxidação microbiana. Portanto, é liberado de forma mais lenta, atendendo a demanda nutricional ao longo do ciclo da cultura. Porém a sua efetividade pode ser afetada pela temperatura, umidade, pH e conteúdo de matéria orgânica do solo, devido a influência na taxa de oxidação (BRAHIM et al., 2017; DEGRYSE et al., 2017).

O perfilhamento, um fator importante na produção e estabilidade das pastagens, foi influenciado positivamente pela adubação de enxofre (Figura 2C), o que provavelmente se deve ao fato do enxofre estar relacionado ao metabolismo do nitrogênio na planta, que por sua vez, influencia na síntese e translocação do hormônio citocinina, ocasionando à ativação das gemas axilares (DE BONA; MONTEIRO, 2010b).

O efeito da aplicação do enxofre sobre os três parâmetros vegetativos avaliados (parte aérea, raízes e número de perfilhos) (Figura 1A, 1B e 1C), é fundamental para otimizar a produtividade das *Urochloa brizantha* (LAVRES et al., 2008; HEINRICHS et al., 2013), como também na recuperação mais rápida após o corte ou pastejo (SCHMIDT; MONTEIRO, 2015).

O aumento da relação folha:haste incrementa a oferta de forragem e, conseqüentemente, o consumo voluntário de pastagem pelos animais. O aumento da proporção de folhas deve-se ao fato do enxofre impulsionar a síntese proteica, aumentando o crescimento e a produção da folha, como também reduzir o tempo para o surgimento de novas folhas (SCHMIDT; MONTEIRO, 2015). O aumento na produção de folhas pela presença de enxofre também foram relatados em outros estudos (SALVAGIOTTI et al., 2008; DE BONA; MONTEIRO, 2010b; SCHMIDT; MONTEIRO, 2015).

O SPAD além de ser um indicador da concentração de clorofila na folha, também pode ser útil para quantificar o estado nutricional das plantas,

principalmente em relação ao N e S, que estão atrelados ao metabolismo do carbono. O aumento na leitura do índice SPAD está ligado à importância do enxofre no aumento da capacidade fotossintética da planta (PANDEY et al., 2009), melhorando a eficiência do sistema ferredoxina-tiorredoxina, que regula o funcionamento das enzimas na fixação de carbono além de vários outros processos do cloroplasto (CRUSCIOL et al., 2013; TAIZ; ZIGER, 2017). Lavres et al. (2008) e Schmidt; Monteiro (2015) também encontraram efeito semelhante com a fertilização de enxofre no índice de clorofila (SPAD) em capim.

#### **2.4.2. Estado nutricional da forragem.**

O teor de N na capim Piatã aumentou em função das doses de enxofre (Figura 3A). Esse sinergismo pode estar atrelado a maior produção dos aminoácidos metionina, cistina e cisteína, os quais são importantes na determinação da estrutura terciária e na síntese de proteína, o que gera maior requerimento de N para a formação proteica. Além disso, o enxofre favorece a atividade das enzimas nitrato redutase e glutamina sintetase, que fazem parte da rota metabólica da assimilação do N em aminoácidos (SALVAGIOTTI; MIRALLES, 2008; DE BONA; MONTEIRO 2010a; HEINRICHS et al., 2013; GENG et al., 2016).

O teor de P respondeu de maneira semelhante ao teor de N (Figura 3B). No entanto, sem diferir entre fontes de enxofre. Esses resultados evidenciam a importância de ambos os nutrientes nos processos metabólicos de síntese, proporcionando maior crescimento e produção de biomassa (CUSTODIO et al., 2005; CRUSCIOL et al. 2013). O aumento na concentração de P pode estar relacionado à maior produção de raízes, o que favorece a maior exploração do volume de solo, especialmente para o P, em que o contato do elemento com a raiz é principalmente por meio da difusão (FAGERIA; MOREIRA, 2011).

Em relação aos teores de K e Ca a concentração reduziu com adubação de enxofre (Figura 3C e 3D). Possivelmente, o maior crescimento vegetativo do capim Piatã resultou no efeito de diluição para estes nutrientes, bem como, pode estar associado à reação ácida do solo devido a oxidação para forma de sulfato (ARAUJO et al. 2015). De acordo com a literatura, os resultados na concentração de K e Ca em função do S são conflitantes, embora há autores que encontraram resultados

semelhantes aos verificado neste estudo (CUSTÓDIO et al., 2005), enquanto outros não verificaram esse efeito significativo (HEINRICHS et al., 2013).

Observou-se que na ausência do enxofre na adubação, as plantas apresentaram teores de S muito próximos ao limite crítico de deficiência, o que pode ser agravado com cultivos sucessivos e sem a reposição do nutriente, esgotando o S orgânico (SCHMIDT; MONTEIRO 2015; DEGRYSE et al., 2017). Com aumento da dose deste nutriente, verificou-se incremento na concentração e teores máximos no tecido vegetal foram na dose de 134 mg kg<sup>-1</sup>, 135 mg kg<sup>-1</sup>, 146 mg kg<sup>-1</sup> e 200 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para as fontes Gipsita, S-elementar (PO), Fosfogesso e S-elementar (PA).

O teor de S com aplicação de S-elementar pastilhado respondeu de forma diferente das demais fontes, disponibilizando menor quantidade de S para as plantas, com efeito linear até a dose de 200 mg kg<sup>-1</sup>. Essa resposta revela a importância da granulometria para disponibilização do nutriente. Quanto maior a granulometria menor será a superfície de contato, resultando em menor possibilidade de reagir com a solução do solo e favorecer a absorção do nutriente ao longo do ciclo da cultura (DEGRYSE et al., 2017).

A relação N:S, na ausência de enxofre na adubação, apresentou alta relação na parte aérea do capim Piatã, aproximadamente 18:1, o que caracteriza um leve desequilíbrio metabólico da planta (Figura 3F). As fontes apresentaram variação de 10:1 a 15:1 quando associadas a maior produção da parte aérea. De acordo com Dijkshoorn; van Wijk (1967) e De Bona; Monteiro, (2010b), a relação N:S de 14:1 caracteriza o estado nutricional adequado para as plantas da família Poaceae (Gramineae). Os resultados obtidos por Crusciol et al., (2013) relatam que o suprimento insuficiente de enxofre resulta no desequilíbrio das relações N:S e P:S nas plantas, sendo que, a elevada relação N:S pode acarretar acúmulo de N na forma não protéica, principalmente, N- NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N orgânico solúvel (HAQ; CARLSON, 1993) enquanto uma elevada relação P:S pode ocasionar uma redução na síntese de óleos (KUMAR; SINGH, 1980), o que acarreta em menor qualidade nutricional do capim e redução do crescimento vegetal.

## 2.5. CONCLUSÃO -

A aplicação de enxofre resultou em produção de massa seca na parte aérea (16,66 a 17,69 g/vaso) semelhante para todas as fontes, mas houve grande variação na dose em função à fonte (112 a 146 mg kg<sup>-1</sup>).

O maior incremento da massa seca das raízes foi com a fonte em S elementar em pó.

O número de perfilhos, relação folha: colmo e SPAD apresentaram aumento com a aplicação de enxofre e não ocorreram diferenças entre as fontes.

O teor de macronutriente na forragem, em ordem decrescente, foi K> N> Ca> P> S> Mg.

Os resultados do estudo indicam que o fornecimento ideal de enxofre é essencial para a produção de capim Piatã, independentemente da fonte e a deficiência resultou no menor desenvolvimento.

## 2.6. Referências

- ARAUJO, J. L.; SEVERO, P. J. S.; LUCENA, F. T. C.; VERIATO R. G.; & PAIVA, K. F.; Enxofre elementar ou sulfato de cálcio para remediação de solos salino-sódicos?. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 4, p. 388-396, 2015.
- BRAHIM, S.; NIESS, A.; PFLIPSEN, M.; NEUHOFF, D.; SCHERER, H. Effect of combined fertilization with rock phosphate and elemental sulphur on yield and nutrient uptake of soybean. **Plant, Soil and Environment**, v. 63, n. 2, p. 89-95, 2017.
- CAPALDI, F. R.; GRATÃO, P. L.; REIS, A. R.; LIMA, L. W.; AZEVEDO, R. A. Sulfur metabolism and stress defense responses in plants. **Tropical plant biology**, v. 8, n. 3-4, p. 60-73, 2015.
- CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S.; SORATTO, R. P.; ROSOLEM, C. A. Upland rice growth and mineral nutrition as affected by cultivars and sulfur availability. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, n. 1, p. 328-335, 2013.
- CUSTÓDIO, D. P.; OLIVEIRA, I. P.; PINHO COSTA, K. A.; SANTOS, R. S. M.; FARIA, C. D. Avaliação do gesso no desenvolvimento e produção do capim-tanzânia. **Ciência Animal Brasileira**, v. 6, n. 1, p. 27-34, 2005.
- DE BONA, F. D.; MONTEIRO, F. A. Nitrogen and sulfur fertilization and dynamics in a Brazilian Entisol under pasture. **Soil Science Society of America Journal**, v. 74, n. 4, p. 1248-1258, 2010a.
- DE BONA, F. D. D.; MONTEIRO, F. A. Marandu palisadegrass growth under nitrogen and sulphur for replacing signal grass in degraded tropical pasture. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 5, p. 570-578, 2010b.
- DEGRYSE, F.; SILVA, R. C.; BAIRD, R.; BEYRER, T.; BELOW, F.; MCLAUGHLIN, M. J. Uptake of elemental or sulfate-S from fall-or spring-applied co-granulated fertilizer by corn: a stable isotope and modeling study. **Field Crops Research**, v. 221, p. 322-332, 2018.
- DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. [S.l.]: Embrapa Amazônia Oriental-Docmentos (INFOTECA-E), 2014.
- DING, Y.; ZHOU, X.; ZUO, L.; WANG, H.; YU, D. Identification and functional characterization of the sulfate transporter gene GmSULTR1; 2b in soybean. **BMC genomics**, v. 17, n. 1, p. 373, 2016.
- EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M. C. M.; DO VALLE, C. B.; BARBOSA, R. A.; GONÇALVES, W. V. Produção de forragem e características da estrutura do dossel de cultivares de *Brachiaria brizantha* sob pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 12, p. 1805-1812, 2009.

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

FAGERIA, N. K.; MOREIRA, A. The role of mineral nutrition on root growth of crop plants. In: **Advances in agronomy**. Academic Press, 2011. p. 251-331

GENG, J.; MA, Q.; CHEN, J.; ZHANG, M.; LI, C.; YANG, Y.; LIU, Z. Effects of polymer coated urea and sulfur fertilization on yield, nitrogen use efficiency and leaf senescence of cotton. **Field crops research**, v. 187, p. 87-95, 2016.

GRANT, C. A.; MAHLI, S. S.; KARAMANOS, R. E. Sulfur management for rapeseed. **Field Crops Research**, v. 128, p. 119-128, 2012.

HAQ, IZHAR UL; CARLSON, ROBERT M. Sulfur diagnostic criteria for french prune trees. **Journal of plant nutrition**, v. 16, n. 5, p. 911-931, 1993.

HEINRICHS, R.; GRANO, F. G.; BUENO, L. G. D. F.; SOARES FILHO, C. V.; FAGUNDES, J. L.; REBONATTI, M. D.; OLIVEIRA, K. D. Brachiaria sp yield and nutrient contents after nitrogen and sulphur fertilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 997-1003, 2013.

KUMAR, V.; SINGH, M. Sulfur, phosphorus, and molybdenum interactions in relation to growth, uptake, and utilization of sulfur in soybean. **Soil Science**, v. 129, n. 5, p. 297-304, 1980.

LAVRES JÚNIOR, J.; MONTEIRO, F. A.; SCHIAVUZZO, P. F. Concentração de enxofre, valor SPAD e produção do capim-Marandu em resposta ao enxofre. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, n.3, p.225-231, 2008.

MALAVOLTA, E. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações/Eurípedes Malavolta, Godofredo Cesar Vitti, Sebastião Alberto de Oliveira. 2. ed., rev. e atual. Piracicaba: Potafos, 1997.

MINOLTA CAMERA. Manual for chlorophyll meter SPAD-502. Osaka: [s.n.], 1989. 22p.

PANDEY, S. N.; NAAZ, S.; ANSARI, S. R. Growth, biomass and petroleum convertible hydrocarbons' yield of *Grindelia camporum* planted on an alluvial soil (Entisol) of North India and its response to sulphur fertilization. **Biomass and bioenergy**, v. 33, n. 3, p. 454-458, 2009.

PAULA, M. F. D.; SANTOS, A. J. D.; TIMOFEICZYK JUNIOR, R.; HOEFELICH, V. A.; SILVA, J. C. G. L. D.; ANGELO, H. Analysis of the competitiveness of Brazilian exports of natural honey, according to the constant market share model and the revealed comparative advantage index. **Revista Ceres**, v. 63, n. 5, p. 614-620, 2016.

PIMENTA, L. Capim novo a caminho. **Revista ABCZ**, v. 50, p. 18-20, 2009.

RAIJ B. VAN.; ANDRADEJ. C.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J. **Análise química para fertilidade de solos tropicais**. [S.I.] : INSTITUTO AGRONOMICO–FUNDAÇÃO IAC, 2001. 285 p.

RAIJ, B.V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**, 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico & Fundação IAC, 285p, 1996. (Boletim técnico, 100).

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna: [s.n.] 2018.

SALVAGIOTTI, F.; FERRARIS, G.; QUIROGA, A.; BARRACO, M.; VIVAS, H.; PRYSTUPA, P.; ECHEVERRÍA H.; BOEM, F. H. G. Identifying sulfur deficient fields by using sulfur content; N: S ratio and nutrient stoichiometric relationships in soybean seeds. **Field crops research**, v. 135, p. 107-115, 2012.

SCHMIDT, F.; MONTEIRO, F. A. Sulphur supply affects morphology, growth and nutritional status of Tanzania Guinea grass and M ineirão stylo. **Grass and forage science**, v. 70, n. 3, p. 439-450, 2015.

SOARES, D. D. M. A.; SANTOS, C. L. A.; LIMA, P. M. F.; COSTA SANTOS, V.; DE SOUZA, K. A.; ABRANTES, R. S. X.; SANTOS, E. L. A. Noções básicas sobre bovinocultura de corte. **International Journal of Agriculture and Biology (IJAB)**, v. 10, n. 2, p. 53 - 56, Jul./dez. 2016

SUN, L.; YANG, J.; FANG, H.; XU, C.; PENG, C.; HUANG, H.; LU, L.; DUAN, D.; ZHANG X.; SHI, J. Mechanism study of sulfur fertilization mediating copper translocation and biotransformation in rice (*Oryza sativa* L.) plants. **Environmental pollution**, v. 226, p. 426-434, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. [S.I.]: Artmed Editora, 2017.

### **CAPITULO 3 - PRODUTIVIDADE E QUALIDADE NUTRICIONAL DA FORRAGEM EM RESPOSTA À ADUBAÇÃO COM ENXOFRE EM CAPIM-MOMBAÇA**

**RESUMO** - A deficiência de enxofre (S) em solos agrícolas tem se agravado nas últimas décadas. Com o objetivo de avaliar doses e fontes de sulfato e S elementar na produção e estado nutricional do capim Mombaça e seu efeito residual no solo em Argissolo Vermelho Amarelo. O delineamento experimental foi em blocos aoWN acaso com quatro repetições, arranjado em esquema fatorial 4x5, sendo quatro fontes de enxofre (enxofre elementar pastilhado (SEPA), Fosfogesso (FG), gibbsite (GI) enxofre elementar em pó (SEPO) e cinco doses de enxofre no solo (0, 50, 100, 150 e 200 mg kg<sup>-1</sup>). A adubação com S aumentou a produção de MSPA, MSR, número de perfilhos, quantidade de folhas por colmo, índice SPAD e promoveu uma melhor qualidade nutricional da forragem. O índice SPAD nas folhas recém-expandidas está associado com a produção de MSPA e pode ser usado para avaliar o estado nutricional de S de capim Mombaça. A utilização da fonte SEPA apresentou deficiência de S, alta concentração de N e menor produtividade de MSPA em todos os cortes para o capim Mombaça. Por outro lado, a utilização das fontes FG, GI e SEPO proporcionaram teores adequados de N e S com maior produção de MSPA. A granulometria das fontes e a forma química do S afetaram a disponibilidade de S, o que é possível ser constatado pelos menores valores verificados com o uso da fonte SEPA em relação ao uso das demais fontes. A maior redução do pH do solo foi verificada com a fonte SEPO.

**Palavras-chave:** Adubação, Fertilidade do Solo, Pastagens, Enxofre, *Megathyrus maximus*.



## YIELD AND NUTRITIONAL QUALITY OF THE FORAGE IN RESPONSE TO SULFUR FERTILIZATION IN MOMBAÇA GRASS

**ABSTRACT** - The deficiency of sulfur (S) in agricultural soils has been aggravated in recent decades. Aiming to evaluate doses and sources of sulfate and elemental sulfur in production and nutritional status of mombaça grass and residual effect on dystrophic Ultisol. The experimental design was in randomized blocks with four replications, arranged in a factorial scheme, 4x5, with four sulfur sources (Gypsum, gipsita, elemental S pastiler and elemental powder) and five doses of sulfur (0, 50, 100, 150 e 200 mg kg<sup>-1</sup>). The S fertilization increased the yield of MSPA, MSR, number of tillers, number of leaves per stem, SPAD index and promoted a better forage nutritional quality of the Mombaça grass. The use of the SEPA source showed deficiency of S, high concentration of N and lower productivity of MSPA in all the harvests to the Mombasa grass. On the other hand, the use of FG, GI and SEPO sources provided adequate levels of N and S with higher production of MSPA. The granulometry of the sources and the chemical form of the S affected the availability of S, which is possible to be constituted by the smaller values verified with the use of the source SEPA in relation to the use of the other sources. The highest soil pH reduction was verified with the SEPO source.

Key words: Fertilization, Soil Fertility, Pastures, Sulfur, *Megathyrsus maximus*.

### 3.1. INTRODUÇÃO

As pastagens compreendem cerca de 26% da área terrestre total do mundo e 80% das terras agrícolas (WRIGHT et al., 2006; BOVAL et al., 2012). São utilizadas principalmente como fonte de nutrientes para produção de carne bovina e leite, especialmente em regiões tropicais, com altas temperaturas e umidade que favorecem o crescimento das plantas ao longo do ano e de ampla utilização das espécies forrageiras C4 (MORENO et al., 2014).

O capim Mombaça é uma espécie do gênero *Megathyrsus maximus*. Este capim se destaca entre os demais de clima tropical, principalmente por apresenta porte elevado, alta capacidade produtiva de forragem e lâminas foliares, com rebrotamento vigoroso após a desfolha (JANK et al., 2008; CANTO et al., 2012; HEINRICHS et al., 2016).

Todavia, os solos tropicais são ácidos e altamente intemperizados, resultando em níveis baixos de nutrientes, principalmente em relação ao enxofre, o que resulta na redução de rendimento da forragem (RAO et al., 1999; FONTE et al., 2014). Além disso, a escassez de enxofre na produção agrícola tem se agravado nas últimas décadas, com o uso excessivo de adubos de alta concentração desprovidos de S e devido atividades agrícolas intensivas (RYANT; SKLÁDANKA, 2009; SALVAGIOTTI, et al., 2012).

O suprimento de enxofre é um fator preponderante na nutrição e recuperação das plantas forrageiras por desempenhar funções catalíticas, regulatórias e estruturais, como componente de aminoácidos, processos fisiológicos dependente do grupo de proteínas Fe-S, incluindo o metabolismo do N e S, fotossíntese, síntese de hormônio vegetal e regulação da expressão gênica (CAPALDI et al., 2015; DING et al., 2016).

O fornecimento de S inorgânico por meio de fertilizantes ocorre geralmente como sulfato ( $\text{SO}_4^-$ ) ou enxofre elementar (ES). O  $\text{SO}_4^-$  está prontamente disponível para ser absorvido pelas plantas, porém é altamente móvel no solo e suscetível a lixiviação. Por outro lado, o ES é a forma mais concentrada, com benefício de baixo custo de transporte e redução da lixiviação, porém se torna disponível para as plantas apenas após a oxidação (DEGRYSE et al., 2016), processo este que dependente da temperatura, umidade, pH e conteúdo de matéria orgânica do solo (BRAHIM et al., 2017; DEGRYSE et al., 2018).

Em relação aos fertilizantes de ES, a maior quantidade encontra-se na forma de grânulos ou pastilhas, formado normalmente por 80% ou mais do ES e o restante de uma pequena quantidade de ligante, mais comumente a bentonita, além desses possui o fertilizante de macronutrientes enriquecidos com ES. O fertilizante ES em pó não é habitualmente utilizado, por apresentar risco de explosão e dificuldades no manuseio do pó (CHIEN et al., 2011; DEGRYSE et al., 2016).

A escolha da granulometria dos fertilizantes de ES pode influenciar diretamente na sua efetividade, uma vez que o aumento do seu tamanho diminui a oxidação do ES, podendo reduzir substancialmente as perdas por lixiviação do sulfato e ao mesmo tempo, pode ser favorável no fornecimento equilibrado e contínuo durante o ciclo da cultura, devido ser um processo superficial (JANZEN; KARAMANOS, 1991; GERMIDA; JANZEN, 1993). Por outro lado, a lenta oxidação pode resultar na deficiência de S, quando a exigência de S da cultura não é suprida (JANZEN; BETTANY, 1986; LEFROY et al., 1994).

Vários estudos sobre o estado nutricional de plantas forrageiras relatam importância do fornecimento de S visando aumentar a produção de forragem em gramíneas forrageiras (CUSTÓDIO et al., 2005; LAVRES et al., 2008 e SCHMIDT; MONTEIRO 2015), contudo há poucas informações sobre qual é a forma mais efetiva de fornecer enxofre no desenvolvimento e qualidade da forragem do capim Mombaça.

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a produção de forragem, estado nutricional e o residual de S no solo quando submetido a doses e fontes de sulfato e enxofre elementar no capim Mombaça em um Argissolo Vermelho-Amarelo.

## **3.2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.2.1. Condição experimental**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, localizada nas coordenadas geográficas 21°27'34"S e 51°33'19"W e altitude média de 400 m.

O solo utilizado foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo, distrófico (SANTOS, 2018). A coleta foi na profundidade de 0 – 0,2 m, formando-se uma

amostra composta, destorroadada, homogeneizada, seca ao ar e passada em peneira com malha de quatro mm de abertura. As características químicas do solo foram: pH ( $\text{CaCl}_2$ ) = 4,6; Matéria Orgânica =  $17,0 \text{ g kg}^{-1}$ ; P =  $6,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ; K =  $1,2 \text{ mmol kg}^{-1}$ ; Ca =  $6,0 \text{ mmol kg}^{-1}$ ; Mg =  $3,0 \text{ mmol kg}^{-1}$ ; S =  $7,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ; Acidez Potencial (H + Al) =  $21,0 \text{ mmol kg}^{-1}$ ; Al =  $3,0 \text{ mmol kg}^{-1}$ ; SB ( $\Sigma\text{K, Ca, Mg}$ ) =  $10,2 \text{ mmol kg}^{-1}$ ; Capacidade de troca catiônica ( $\Sigma\text{K, Ca, Mg, H + Al}$ ) =  $31,2 \text{ mmol kg}^{-1}$ ; Saturação por bases [ $(\Sigma\text{K, Ca, Mg})/(\Sigma\text{K, Ca, Mg, H + Al}) \times 100$  (V)] = 32,7%. Os elementos P, K, Ca, Mg e Al foram extraídos por solução extratora de íons (Raij, et al, 2001).

Para a correção da acidez do solo, determinou-se a necessidade de calagem pelo método de saturação por base (QUAGGIO et al. 1985) para elevar a 70%. Foram utilizados o  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$ , reagentes puros, na relação 3:1. Para cada parcela, foram colocados quatro kg de terra, em uma bandeja plástica e adicionada a quantidade de carbonato previamente calculado, homogenizado e transferido para o vaso para permanecer incubado a 80% da capacidade de campo por 30 dias.

Após o período de incubação, o solo foi novamente seco e adicionado os nutrientes nas seguintes quantidades ( $\text{mg kg}^{-1}$ ): 300 de N [ureia  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ]; 200 de P [fosfato de cálcio monobásico  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ]; 150 de K [cloreto de potássio (KCl)]; 0,5 de B (ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ )), 0,05 de Co [cloreto de cobalto ( $\text{CoCl}_2$ )], 1,0 de Cu [sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ )], 0,05 de Mo [ácido molibdico ( $\text{H}_2\text{MoO}_4$ )], 0,05 de Ni [sulfato de níquel ( $\text{NiSO}_4$ )], 5 de Mn [sulfato de manganês ( $\text{MnSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ )] e 2,0 de Zn [sulfato de zinco ( $\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ )].

### 3.2.2. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado arranjado em esquema fatorial, 4x5, sendo cinco doses de S (0, 50, 100, 150 e  $200 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e quatro fontes de S [enxofre elementar pastilhado (SEPA) (90,0% S); Fosfogesso (FG), resíduo da fabricação de fertilizantes fosfatados (23,5% Ca; 16,9% S); gibbsite (GI), rocha natural moída (24,1% Ca; 16,9% S); enxofre elementar em pó (SEPO) (95,0% S)]. Os tratamentos foram compostos por quatro repetições.

O experimento foi organizado em delineamento de blocos casualizados, com 4 repetições. O esquema fatorial 5 x 4 consistiu de cinco doses de enxofre (0, 50, 100, 150 e  $200 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e quatro fontes de enxofre. As fontes foram enxofre elementar pastilhado (SEPA) (90,0% S, 10% Bentonita) com granulometria de 1 a 4

mm. Fosfogesso (FG) (23,5% Ca; 16,9% S), produto industrial, resíduo da fabricação de fertilizantes fosfatados com alta solubilidade de 0,0204 g 100 mL<sup>-1</sup>. Gipsita (GI) (24,1% Ca; 16,9% S) produto de origem natural de jazidas com baixa solubilidade e enxofre elementar em pó (SEPO) (95,0% S) com partículas <0,3 mm.

As quantidades de fontes S foram calculadas com base na concentração total no material fertilizante e misturadas com 4 kg de solo por vaso (a densidade do solo foi de 1,3 g cm<sup>-3</sup>).

### **3.2.3. Instalação experimental e procedimentos**

A espécie forrageira utilizada foi *Megathyrsus maximus* (Jacq.) (Syn. *Panicum maximum*) cv. Mombaça. O estudo foi realizado entre outubro de 2017 e janeiro de 2018, período em que foram realizadas três cortes, sendo respectivamente, nos dias 27/11/2017, 25/12/2017 e 22/01/2018. O capim Mombaça foi semeado em uma bandeja com areia, permanecendo por 10 dias, sendo então transplantadas 6 mudas de vaso<sup>-1</sup>. Após sete dias foi realizado o desbaste, permanecendo 4 mudas uniformes vaso<sup>-1</sup>.

A irrigação do experimento foi realizada manualmente com água deionizada, mantendo a umidade em 80% da capacidade de campo. Para determinar a capacidade de campo dos vasos, cinco vasos foram colocados para saturar o solo em uma caixa de água com um volume de água equivalente a 2/3 da altura dos vasos. Em seguida, os vasos foram mantidos por um período de 24 horas, de modo que ocorreu a saturação completa. Posteriormente, eles foram cobertos com filme plástico, para evitar a evaporação, garantindo apenas a drenagem da água por gravidade. As panelas foram pesadas em zero e após 24, 36, 48, 60 e 72 horas.

### **3.2.4. Parâmetros Avaliados**

#### **3.2.4.1. Crescimento e rendimento de forragem**

O capim Mombaça foi cortado a 7 cm de superfície acima do solo. O primeiro corte foi realizado aos 33 dias após a semeadura e outros dois cortes foram realizadas em intervalos de 28 dias. Em cada corte, foi realizada a separação morfológica de folhas e caules + bainhas. Posteriormente, o material foi seco a 65 ± 2 ° C até peso constante (72 h) para determinação da massa seca da parte aérea (MSPA), expressa em g vaso<sup>-1</sup>. A MSPA foi obtida pela soma das folhas e caules +

bainhas, enquanto a relação folhas:colmo foi obtida a partir do quociente entre a massa seca das lâminas foliares e a massa seca dos colmos + bainhas.

A contagem de perfilhos foi realizada imediatamente antes de cada corte, expressa em número vaso<sup>-1</sup>.

Ao final do experimento, após a terceira colheita, as raízes de cada vaso foram coletadas e lavadas em tela de 2 mm e secas a 65 ° C ± 2 ° C até peso constante para determinação da massa seca da raiz (RDM), expressa em g pot-1

Foi determinado a eficiência de uso de S (EfUS) pela seguinte equação:

$$EfUS = (MSPA da DOSE - MSPA do CONTROLE) / DOSE APLICADA$$

#### 3.2.4.2. Análise nutricional

O índice SPAD foi avaliado no terço médio das laminas de folhas recém-expandidas, expresso em (unidades) usando o clorofilômetro Minolta Co (MINOLTA, 1989). Foi avaliado a média de 10 leituras por vaso.

Após a secagem em estufa ventilada a MSPA de cada parcela experimental foi moída em um moinho de Willey para determinar a concentração de N e S, conforme descrito por Malavolta et al. (1997).

Para a determinação da concentração de N, pesou-se 0,1 grama de MSPA no tubo de digestão e adicionou-se 3 mL de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e sais de catalisador. As amostras foram colocadas em um bloco digestor em uma capela ventilada. Subsequentemente, o extrato da amostra foi destilado para obtenção o composto de borato de amônio (NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>BO<sub>3</sub>). Por fim, a concentração de N capturado no composto de borato de amônio foi titulada com solução de ácido clorídrico 0,1 N (HCl), sendo expressa em g kg<sup>-1</sup>.

Para a determinação da concentração de S, pesou-se 0,5 gramas de MSPA no tubo de ensaio e colocado para digerir em ácido nítrico-perclórico (HNO<sub>3</sub> 65% e HClO<sub>4</sub> 70%) em um bloco digestor dentro de uma capela ventilada. Posteriormente foi quantificada a concentração de S por turbidimetria de cloreto de bário (BaCl<sub>2</sub>) em espectrofotômetro UV-VIS (λ = 420 nm). A concentração de S foi expressa em g kg<sup>-1</sup>.

A relação entre a concentração de N e S (N: S) foi calculada de acordo com as doses de S. O acúmulo de N e S foi calculado multiplicando a massa seca da parte aérea pela concentração do nutriente no respectivo componente da planta.

#### 3.2.4.3. Análise do solo

Após o término do experimento, o solo de cada vaso foi coletado para determinação do S residual do solo e pH do solo, conforme metodologia descrita por Raij, Andrade, Cantarella e Quaggio (2001).

A determinação do resíduo S do solo foi realizada por turbidimetria, através da solução de extração de fosfato de cálcio  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  ( $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ). Para isso,  $10 \text{ cm}^3$  de solo foram coletados e transferidos para frascos plásticos, sendo adicionados também 25 mL da solução extrativa e 0,25 g de carvão ativado. Em seguida, foi transferido para um agitador orbital de mesa por 30 m a 220 rpm seguido por 30 minutos de descanso.

Após a agitação, a amostra foi filtrada em papel filtro quantitativo (Whatman nº42), 10 mL da solução filtrada e 1 mL da solução ácida “semente” ( $20 \text{ mg L}^{-1}$  de S) foram pipetados e colocados em frascos plásticos. Nestes frascos, 0,5 g de cloreto de bário ( $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) foi adicionado e agitado manualmente para leitura espectrofotometro UV-VIS ( $\lambda = 420 \text{ nm}$ ). O resíduo S do solo foi calculado com base em uma curva padrão e os resultados expressos foram expressos em  $\text{mg kg}^{-1}$  de solo.

Para determinação do pH do solo, foram coletados  $10 \text{ cm}^3$  de solo e transferidos para frascos plásticos. Nestes frascos, foi adicionado 25 mL da solução de cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) ( $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ), deixando repousar por 15 minutos. Posteriormente, os frascos de plástico foram transferidos para um agitador orbital de mesa por 10 m a 220 rpm seguido por 30 minutos de descanso. Por fim, o pH do solo foi medido através de um potenciômetro por imersão dos eletrodos sob a suspensão da amostra.

### 3.2.5. Análise estatística

Os resultados foram testados quanto à normalidade dos erros e homogeneidade de variância e as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software livre R (R Core Team, 2018), por meio do pacote “ExpDes.pt”. Constatada significância, realizaram-se regressões polinomiais de primeiro e segundo grau e exponenciais para as doses. Para as fontes, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Na interação significativa entre fontes e doses, o efeito das doses foi avaliado de forma isolada para cada fonte.

### 3.3. RESULTADOS

#### 3.3.1. Crescimento e produção da parte aérea e raiz

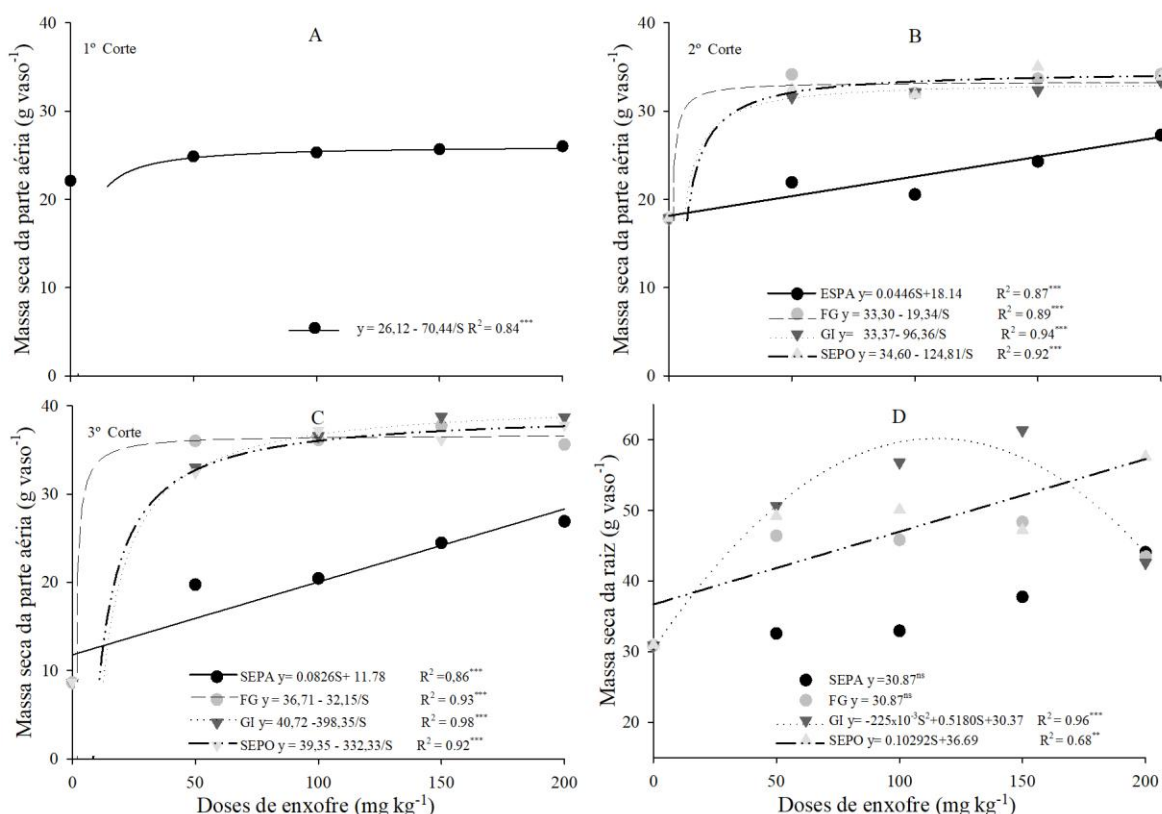
A produção de MSPA do primeiro corte não apresentou efeito de interação entre doses e fonte de S. O fornecimento da dose de  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  foi suficiente para promover a produção máxima e constante de  $26 \text{ g vaso}^{-1}$ , sendo um acréscimo de 9% em relação ao controle (Figura 1A).

No segundo e terceiro corte, as interações entre as doses e fontes de S foram significativas para a MSPA (Figuras 1B e C). As fontes FG, GI e SEPO apresentaram comportamento semelhante, sendo a dose de  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  capaz de promover a produção máxima de  $33 \text{ g vaso}^{-1}$  no segundo corte. No terceiro corte, a MSPA atingiu a produção máxima e constante de  $35 \text{ g vaso}^{-1}$ , com a aplicação de 50, 100 e  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente, para as fontes FG, GI e SEPO. Por outro lado, a fonte SEPA apresentou aumento com as doses de S no segundo e terceiro corte, atingindo a produção de 28,6 e  $28,3 \text{ g vaso}^{-1}$ , registrando um incremento de 30 e 58% em relação a ausência de S, respectivamente.

A ausência da adubação de S no controle refletiu na menor produção de MSPA em todos os cortes, principalmente no terceiro corte. No segundo e terceiro corte o controle foi inferior em 52% e 131% quando comparado à máxima produção das fontes GY, GI e SEPO, enquanto a fonte SEPA foi inferior em 18% e 69% as demais fontes, respectivamente.

A produção de MSR apresentou efeito de interação entre doses e fontes de S (Figura 1D). A fonte GI ajustou-se ao modelo quadrático positivo, sendo a produção máxima  $44,2 \text{ g vaso}^{-1}$  com fornecimento de  $115 \text{ mg kg}^{-1}$ , enquanto a fonte SEPO se ajustou ao modelo linear, atingindo  $41,27 \text{ g vaso}^{-1}$ .



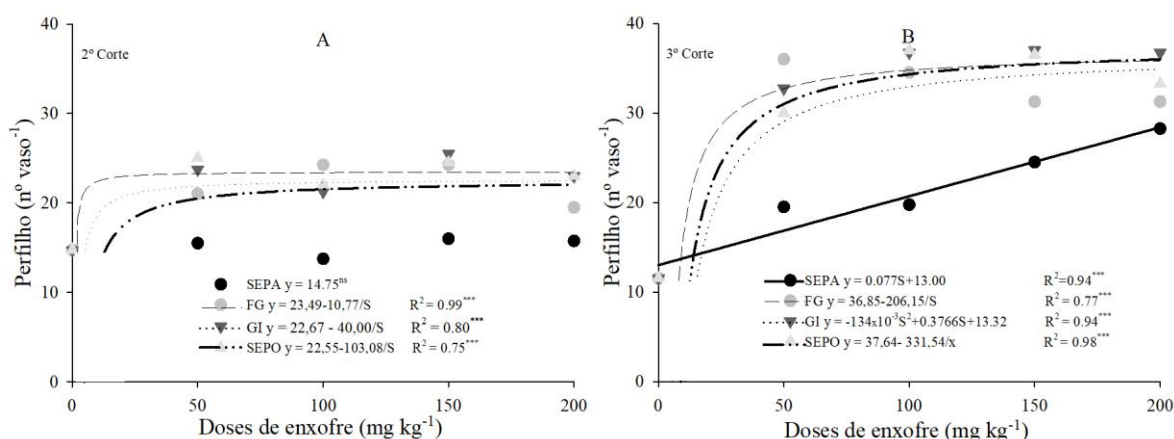


**Figure 1.** Produção de massa seca da parte aérea do primeiro corte (A) segundo corte (B) terceiro corte (C) e produção de massa seca da raiz (D) do capim Mombaça em resposta a doses e fontes de S. Enxofre elementar pastilhado (SEPA); Fosfogesso (FG); gipsita (GI); enxofre elementar em pó (SEPO). \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ .

Não foi observado efeito significativo para o número de perfilhos por vaso no primeiro corte, a média foi de 20 perfilhos por vaso.

No segundo e terceiro corte, foi constatado efeito de interação entre as doses e fontes de S (Figuras 2A e 2B). As fontes GY, GI e SEPO apresentaram um comportamento semelhante, atingindo uma produção máxima e constante de perfilhos por vaso com a aplicação de 50 e 100  $\text{mg kg}^{-1}$ , respectivamente, no segundo e terceiro corte. Os valores obtidos para cada corte foram em média 22 e 35 perfilhos por vaso. A fonte SEPA não foi significativa no segundo corte e apresentou resposta linear e positiva no terceiro corte, atingindo 28,5 perfilhos por vaso, aumentando 119 % em relação ao controle.

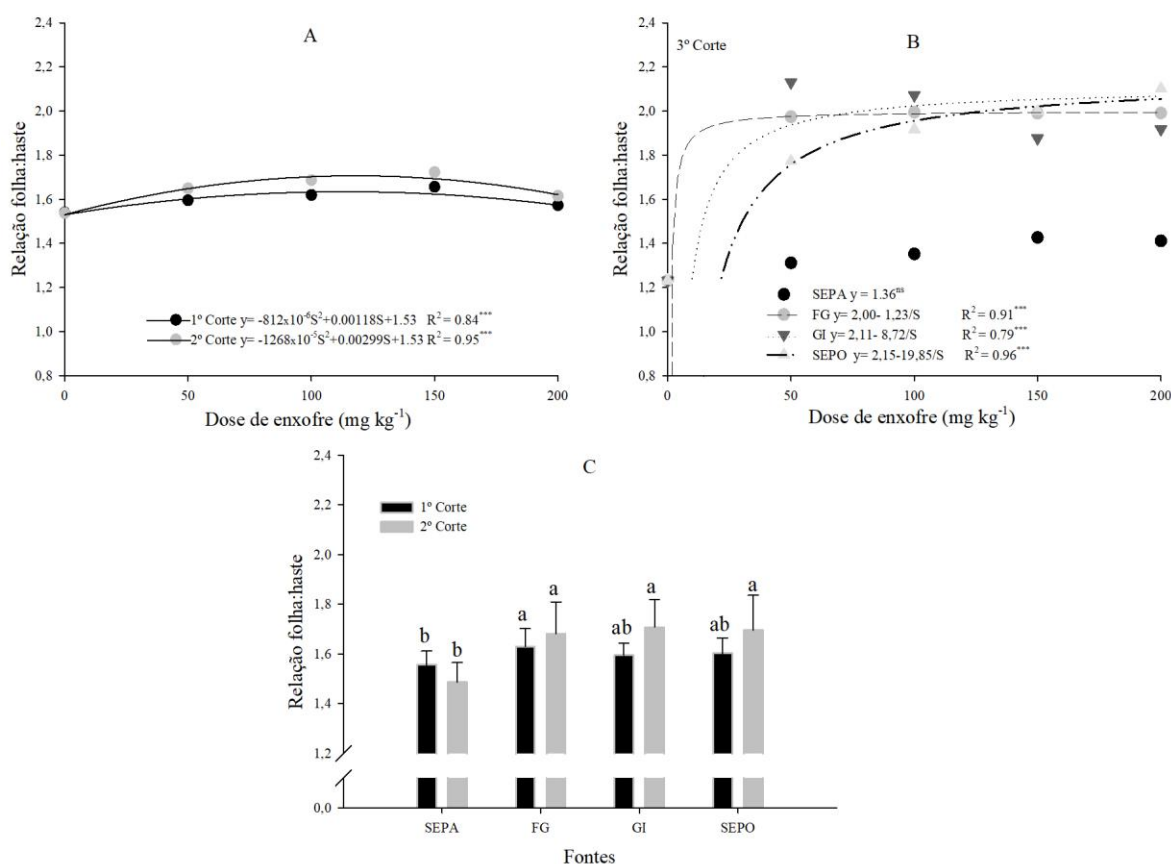
A limitação de enxofre esteve associada ao menor número de perfilhos no segundo (-66%) e terceiro corte (-234,8%), quando comparado à máxima produção de perfilhos verificadas nas fontes FG, GI e SEPO, o que alterou a produção MSPA do capim Mombaça, como apontado nas Figuras 1B e 1C.



**Figure 2.** Número de perfilhos por vaso do segundo corte (A) e terceiro corte (B) do capim Mombaça em resposta a doses e fontes de S. . Enxofre elementar pastilhado (SEPA); Fosfogesso (FG); gipsita (GI); enxofre elementar em pó (SEPO). \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ .

A relação folha:haste apresentou efeito isolado para as doses e fontes de S no primeiro e segundo corte, onde a maior relação de folha:haste verificada na dose  $115 \text{ mg kg}^{-1}$  de S em ambos os cortes, registrando um aumento de folhas superior ao controle, em 6 e 11%, respectivamente (Figuras 3A e 3B). Quanto ao efeito das fontes, no primeiro corte a adubação com FG apresentou a maior média, sendo superior a fonte SEPA em 5%, não diferindo do GI e SEPO. No segundo corte, as fontes FG, GI e SEPO não diferiram na relação folha:haste e foram superiores a fonte SEPA, em 12%.

No terceiro corte, a relação folha:haste apresentou efeito de interação entre as doses e fontes de S (Figura 3C). As fontes GY, GI e SEPO apresentaram comportamento semelhante, o valor máximo de folha:haste foi semelhante entre as fontes, sendo em média 2,1, porém as doses diferiram entre as fontes para atingir esse valor, sendo 50 (GY), 70 (GI) e 100 (SEPO)  $\text{mg kg}^{-1}$ . A fonte SEPA não apresentou efeito significativo.

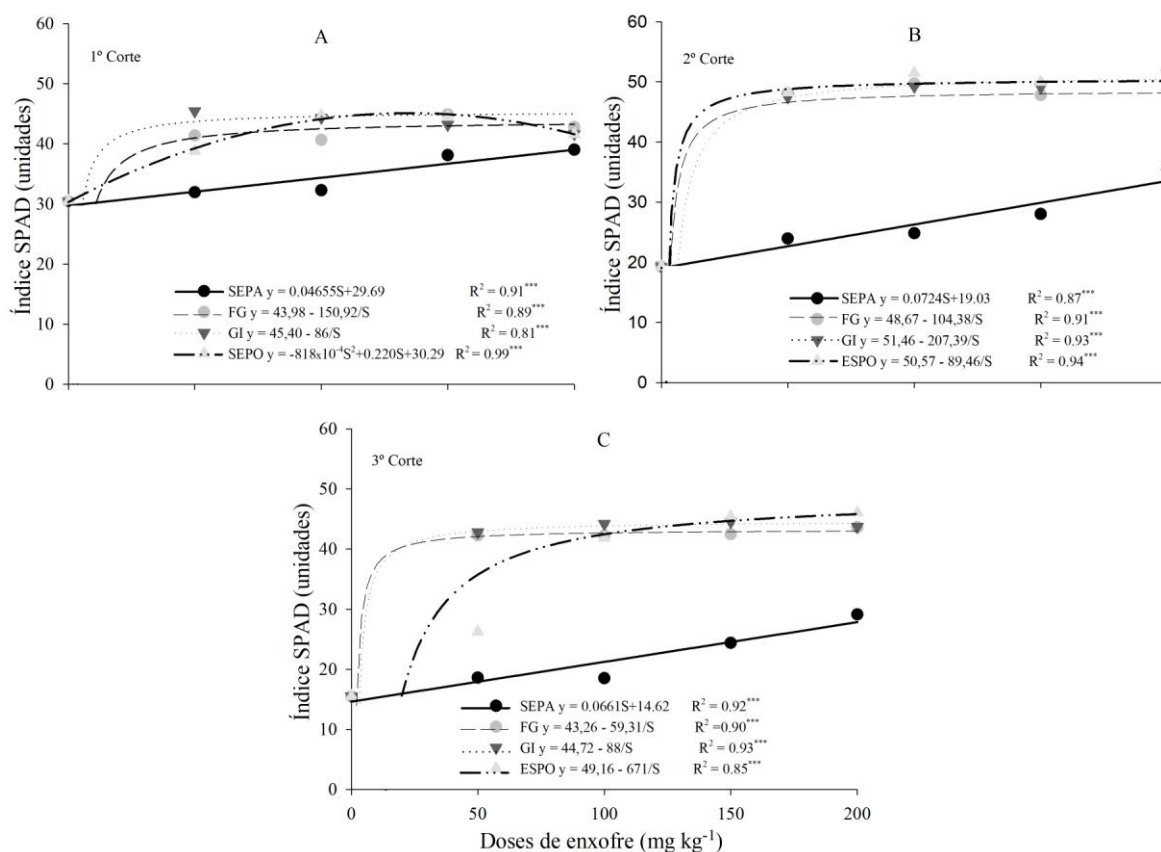


**Figure 3** Relação folha:haste em função de doses (A) e fontes (C) de S no primeiro e segundo corte e interação de doses e fontes de S no terceiro corte (B) do capim mombaça. . Enxofre elementar pastilhado (SEPA); Fosfogesso (FG); gipsita (GI); enxofre elementar em pó (SEPO). \*  $p < 0,05$ ; \*\* -  $p < 0,01$ ; \*\*\* -  $p < 0,001$ . Barras nas verticais correspondem ao desvio padrão ( $n = 4$ ).

O índice SPAD apresentou efeito de interação entre as doses e fontes de S nos três cortes avaliados (Figuras 4A, 4B e 4C). Em todos os cortes, as fontes FG, GI e SEPO apresentaram um comportamento semelhante, enquanto a fonte SEPA apresentou um aumento linear com a aplicação de S.

Os valores do índice SPAD do capim Mombaça mostraram uma relação positiva com a produção de MSPA no segundo e terceiro corte em todas as fontes (Figura 1B e 1C). Os índices SPAD, de aproximadamente 32, 41, 44 e 39 unidade, foram associados à produção máxima de MSPA no primeiro corte, respectivamente, para as fontes SEPA, FG, GI e SEPO. No segundo corte e terceiro corte, os valores do índice SPAD associados à produção máxima de MSPA foram de aproximadamente 49 e  $43 \pm 2$  unidades para as fontes FG, GI e SEPO e 33,5 e 28 unidades para a fonte SEPA.

Sintomas de deficiência visual de S foram observados no segundo e terceiro corte no tratamento sem aplicação do nutriente, com valores de 20 e 16 unidades SPAD, respectivamente. A fonte SEPA não supriu a necessidade de S para o capim Mombaça no terceiro corte, apresentando sintomas visíveis de deficiência (amarelecimento generalizado) em todas as doses.



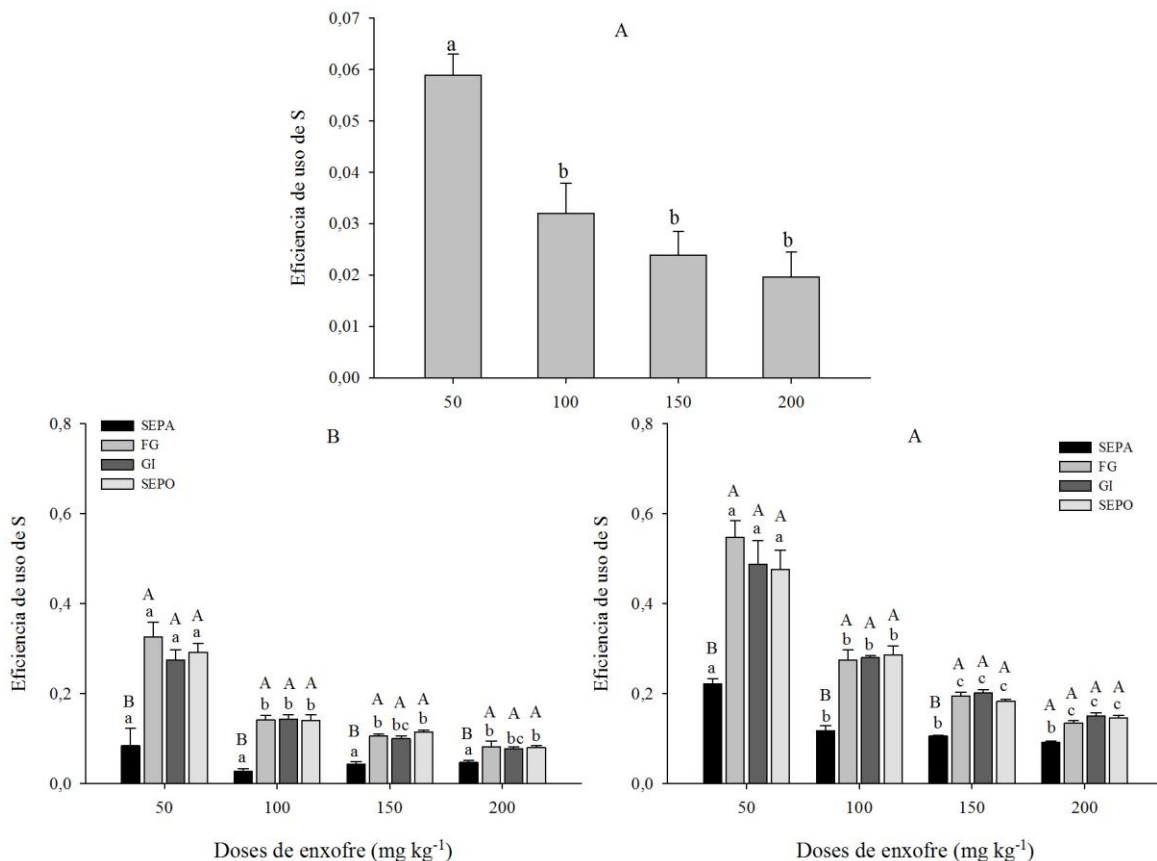
**Figure 4.** Índice SPAD do primeiro corte (A), segundo corte (B) e terceiro corte (C) do capim Mombaça em resposta a doses e fontes S. Enxofre elementar pastilhado (SEPA); Fosfogesso (FG); gipsita (GI); enxofre elementar em pó (SEPO). \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ .

### 3.3.2. Fontes de Enxofre – Eficiência de Uso.

A eficiência de uso de S apresentou efeito significativo somente para doses no primeiro corte. O fornecimento de doses  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  foi significativamente superior as demais doses em média 130 %.

No segundo e terceiro corte, a eficiência de uso apresentou um efeito de interação. Em ambos os cortes houve um comportamento semelhante. Quando comparado o efeito das doses a aplicação de  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  foi significativamente superior as demais doses, com exceção da SEPA no segundo corte. Em relação ao efeito das fontes dentro de cada dose, em todas as doses as fontes FG, GY e

SEPO, foram significativamente superiores a fonte SEPA, com exceção na dose de 200 mg kg<sup>-1</sup> para o terceiro corte.



**Figure 4.** Eficiência de uso de enxofre primeiro corte (A), segundo corte (B) e terceiro corte (C) do capim Mombaça em resposta a doses e fontes S. Enxofre elementar pastilhado (SEPA); Fosfogesso (FG); gipsita (GI); enxofre elementar em pó (SEPO). \*  $p < 0,05$ ; \*\* -  $p < 0,01$ ; \*\*\* -  $p < 0,001$ . Letras minúsculas comparam o efeito entre as doses 50, 100, 150 e 200 mg kg<sup>-1</sup> de S para cada fonte, enquanto letras maiúsculas comparam as fontes dentro de cada dose, de acordo com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Barras nas verticais correspondem ao desvio padrão ( $n = 4$ ).

### 3.3.3. Concentração e acúmulo de nitrogênio e enxofre na parte aérea

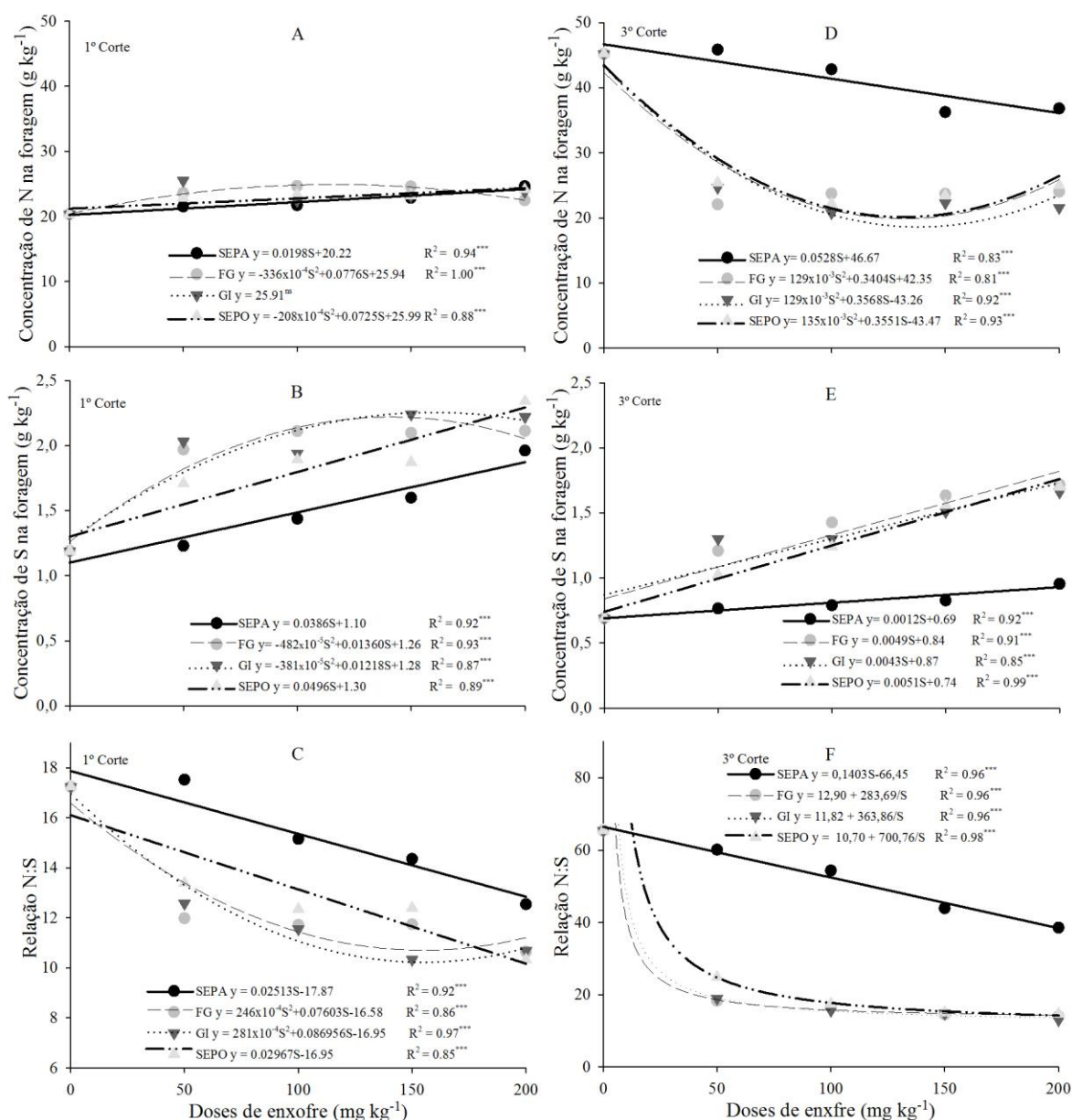
A concentração de N, S e a relação N/S na parte aérea do capim Mombaça apresentaram efeito de interação entre as doses e fontes de S no primeiro e terceiro corte (Figura 5). A concentração de N da parte aérea no primeiro corte aumentou (Figura 5A), por outro lado, no terceiro corte, o comportamento foi oposto, diminuindo a concentração de N da parte aérea (Figura 5D).

A máxima concentração de N no primeiro corte com o uso das fontes FG, SEPA e SEPO foi em média de 24,5 g kg<sup>-1</sup> na dose de 115, 200 e 200 mg kg<sup>-1</sup>,

respectivamente. Neste corte, a fonte GI não apresentou efeito significativo. No terceiro corte, a concentração de N associada à produção máxima das fontes SEPA, GY, GI SEPO foram às seguintes doses: 36,1; 19,9; 18,6 e 20,2 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

A concentração de S no primeiro corte apresentou comportamento quadrático e positivo para as fontes FG e GI, sendo 2,2 g kg<sup>-1</sup> a máxima concentração de N na parte aérea na dose de 141 e 160 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Por outro lado, as fontes SEPA e SEPO se ajustaram ao modelo linear e positivo atingindo, respectivamente, a máxima concentração de S na parte aérea de 1,9 e 2,3 g kg<sup>-1</sup> na dose de 200 mg kg<sup>-1</sup>. No terceiro corte, as fontes SEPA, FG, GI e SEPO aumentaram de forma linear com a aplicação de S, atingindo a concentração de 0,86; 1,82; 1,73; 1,76 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Os resultados da relação N:S associados a produção máxima de MSPA do capim Mombaça foram de 16,5:1 e 38,4:1 para SEPA; 13,5:1 e 16:1 para FG; 13,5:1 e 16:1 para GI; 14,5:1 e 17:1 para SEPO, respectivamente, no primeiro e terceiro corte. O tratamento controle apresentou alta relação N:S no terceiro corte, com valor superior a 60:1.



**Figure 5.** Concentração de nitrogênio (A; D), enxofre (B; E) e relação N: S (C; F) no primeiro e terceiro corte do capim Mombaça em resposta a aplicação de doses e fontes de S. Enxofre elementar pastilhado (SEPA); Fosfogesso (FG); gipsita (GI); enxofre elementar em pó (SEPO). \*  $p < 0,05$ ; \*\* -  $p < 0,01$ ; \*\*\* -  $p < 0,001$ .

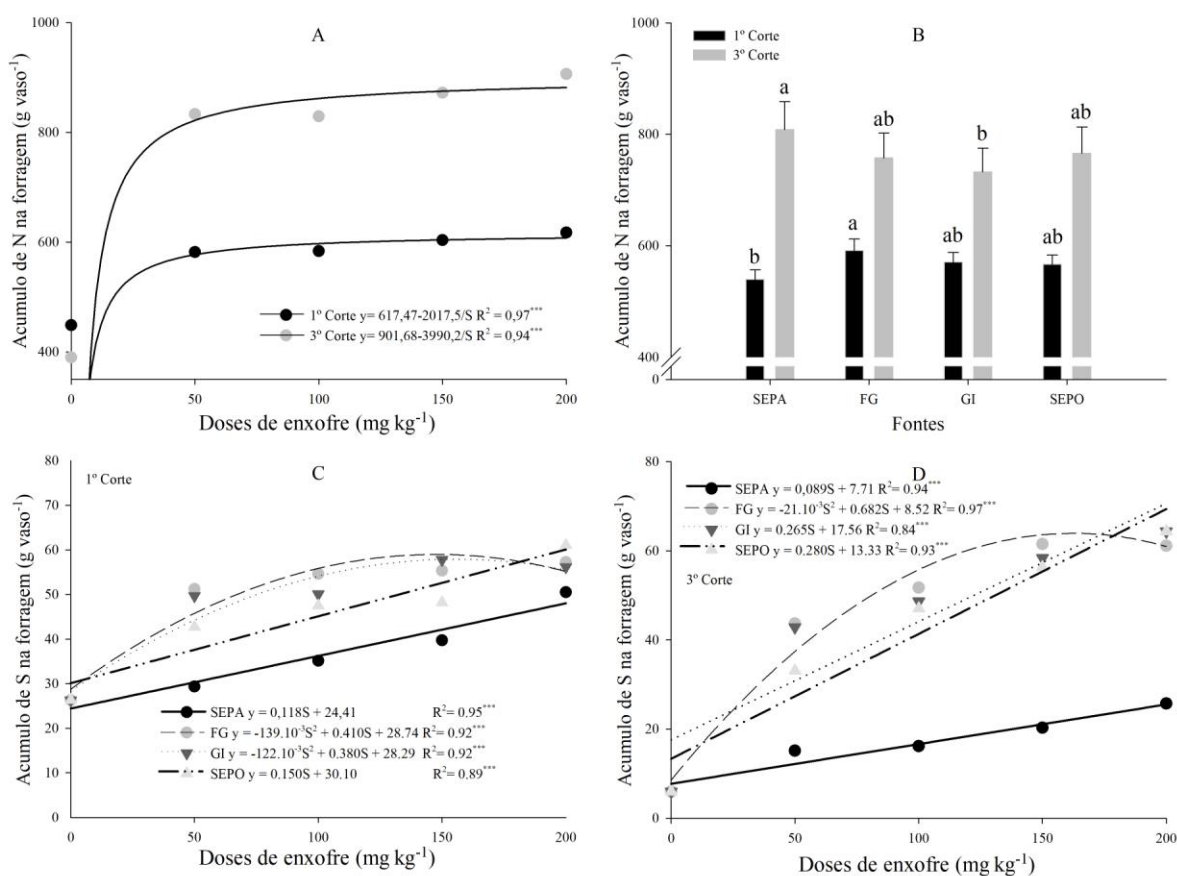
O acúmulo de N parte aérea do capim Mombaça apresentou efeito isolado para as doses e fontes de S no primeiro e terceiro corte (Figura 6A e 6B). Para as doses o acúmulo máximo e constante foi obtido com a aplicação de  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  de S em ambos os cortes, registrando incrementos de 33 e 120 %, respectivamente (Figuras 6A).

Quanto ao efeito das fontes, no primeiro corte a adubação com FG apresentou a maior média, sendo superior a fonte SEPA em 20 %, não diferindo do GI e SEPO. No segundo corte, a fonte SEPA apresentou a maior média, sendo superior a fonte GI em 18 %, não diferindo do FG e SEPO (Figuras 6B). No terceiro corte a fonte SEPA apresentou um maior acumulo de N, o que possivelmente esta relacionado à sua granulometria e pequena concentração de S na forragem (Figura 5E), refletindo em menor produção de massa seca (Figura 1C), e acúmulos de N nas formas não protéicas.

O acumulo de S na parte aérea do capim Mombaça apresentou efeito de interação entre as doses e fontes de S no primeiro e terceiro corte (Figura 6C e 6D). No primeiro corte, a aplicação de  $150 \text{ mg kg}^{-1}$  foi responsável pelo maior acumulo de S na forragem, respectivamente, para as fontes FG e GI, apresentando incrementos semelhantes de 107 % . As fontes SEPA e SEPO apresentaram uma resposta linear e positiva, atingindo valores de 48 (100%) e 60 (100%)  $\text{g vaso}^{-1}$ .

No terceiro a fonte FG se ajustou ao modelo quadrático e positivo, apresentando o maximo acumulo de na dose  $162 \text{ mg kg}^{-1}$ , com um incremento de 640 %.As fontes SEPA, GI e SEPO responderam de forma linear e positiva com o fornecimento de S, atingindo incrementos de 230, 360 e 435, respectivamente.





**Figure 6.** Acumulo de nitrogênio (A; B) e enxofre (C; D) no primeiro e terceiro corte do capim Mombaça em resposta a aplicação de doses e fontes de S. Enxofre elementar pastilhado (SEPA); Fosfogesso (FG); gipsita (GI); enxofre elementar em pó (SEPO). \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ .

O índice SPAD e a concentração de S correlacionaram positivamente com a produção de massa seca da parte aérea (MSPA), ambos os parâmetros apresentaram um maior coeficiente de correlação conforme se passava os cortes. A concentração N foi correlacionada positivamente com a MSPA no primeiro e de forma oposta no terceiro (Tabela 1). Entre as variáveis a que apresentou o maior coeficiente de correção com a MSPA foi o índice SPAD, com valores de (93%) no segundo corte e (91%) no terceiro corte.

Tabela 1 – Coeficiente de correlação entre a produção de massa seca (MSPA), índice SPAD, concentração de S e N na forragem na época do primeiro e terceiro corte do capim Mombaça.

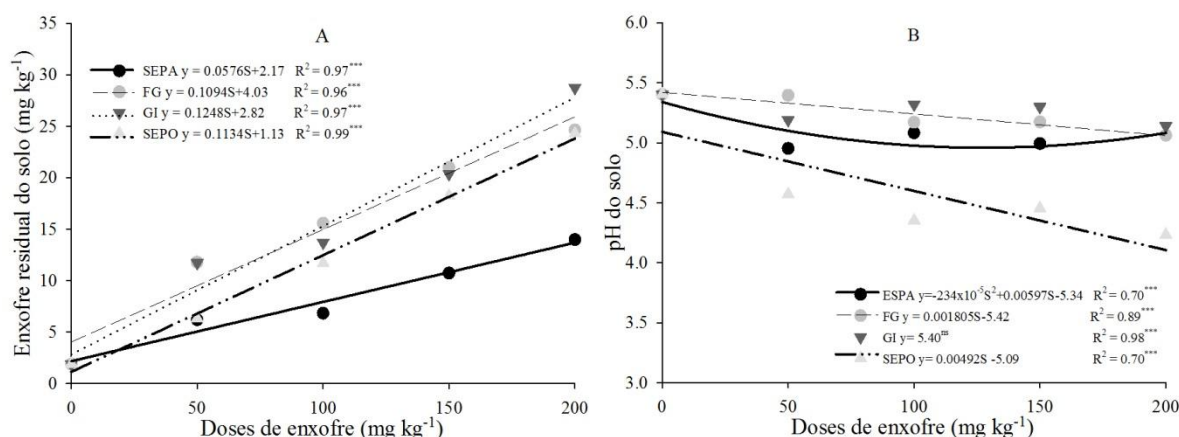
| Variáveis      | SPAD    | N        | S       |
|----------------|---------|----------|---------|
| Primeiro Corte |         |          |         |
| MSPA           | 0,60*** | 0,42**   | 0,65*** |
| Segundo Corte  |         |          |         |
| MSPA           | 0,93*** | -        | -       |
| Terceiro Corte |         |          |         |
| MSPA           | 0,91*** | -0,93*** | 0,87*** |

\*\* -  $p < 0,01$ ; \*\*\* -  $p < 0,001$ .

### 3.3.4. Enxofre residual e pH do solo

O enxofre residual do solo (RS) e o pH apresentaram efeito de interação entre doses e fontes de S (Figura 6). O RS foi diretamente proporcional com o aumento da dose de S. As fontes SEPA, FG, GI e SEPO se ajustaram ao modelo linear e positivo, com a aplicação de  $200 \text{ mg kg}^{-1}$ , a concentração foi de 13,69; 25,91; 27,78; e  $23,81 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente.

O pH teve comportamento semelhante com a aplicação das fontes FG e SEPO que se ajustaram ao modelo linear e negativo, as quais apresentaram uma redução de 6,5% e 19% em relação ao controle (Figura 6B). A fonte SEPA se ajustou ao modelo quadrático e negativo, com máxima redução do pH de 7%. A fonte GI não apresentou efeito significativo para este parâmetro.



**Figure 7.** Enxofre residual do solo (A) e pH do solo (B) após o cultivo de mombaça adubada com doses e fontes de enxofre. Elemental sulfur pastilles (SEPA); Fosfogesso (GY); gibbsite (GI); elemental sulfur powder (SEPO). \*  $p < 0,05$ ; \*\* -  $p < 0,01$ ; \*\*\* -  $p < 0,001$

### **3.4. DISCUSSÃO**

#### **3.4.1. Crescimento e produção da parte aérea e raízes em função das doses**

Muitas das áreas onde as pastagens são cultivadas estão sujeitas a deficiência de S. A aplicação apropriada de fertilizantes no solo pode remediar deficiências nutricionais e, conseqüentemente, resultar em maior produtividade de forragem (Figura 1). Os incrementos na produção MSPA e MSR desse trabalho (Figura 1A, 1B, 1C) estão atrelados ao fato do S desempenhar funções catalíticas, regulatórias e estruturais na planta (CAPALDI et al., 2015; DING et al., 2016), além de proporcionar maior qualidade nutricional, conferido pela concentração ideal de S à planta (GILABEL, 2014).

O ação favorável da aplicação de S sobre os três parâmetros vegetativos avaliados (parte aérea, raízes e número de perfilhos) (Figura 1 e 2) é fundamental para otimizar a produtividade do capim Mombaça (LAVRES et al., 2008; HEINRICHS et al., 2013), como também é essencial na recuperação mais rápida após o corte ou pastejo (SCHMIDT; MONTEIRO, 2015). Os resultados corroboram com estudos anteriores com forrageiras adubadas com S em casa de vegetação, os quais também verificaram incremento na produção da parte aérea, raízes (CUSTÓDIO et al., 2005; LAVRES et al., 2008; HENRICHS et al., 2012 e SCHMIDT; MONTEIRO 2015) e número de perfilhos (DE BONA; MONTEIRO, 2010; SCHMIDT; MONTEIRO, 2015).

Portanto, com base nos presentes dados, a adubação com S estimula o aumento de produção de forragem, tanto pelo crescimento das plantas como pelo maior número de perfilhos por área. O aumento verificado na relação folha:haste devido a aplicação de S (Figura 3A, 3B e 3C) proporciona uma forragem de melhor qualidade, pois as folhas apresentam maior concentração de nutrientes, aumentando a oferta de forragem e o consumo voluntário de pastagem pelos animais (DE BONA; MONTEIRO, 2010; SCHMIDT; MONTEIRO, 2015).

O índice SPAD foi um bom indicador para avaliar o estado nutricional do capim Mombaça e apresentou um alto coeficiente de correlação com a MSPA (Tabela 1), sendo possível detectar mudanças nas leituras causadas pelo fornecimento de S. As plantas cultivadas sob limitação de S apresentaram sintomas de deficiência de S com valores inferiores a 25 unidades do índice SPAD no segundo e terceiro corte (Figura 4B e 4C). Por outro lado, valores acima de 40

unidades do índice SPAD foram associados à máxima produção do capim Mombaça. Resultados semelhantes foram obtidos por (SCHMIDT; MONTEIRO, 2015).

Dessa forma, o índice SPAD pode ser associado à produção de forragem e servir de referência para o estado nutricional do capim Mombaça. Esses resultados podem estar relacionados à redução do teor de clorofila devido à deficiência de S, caracterizada pelo amarelecimento da folha, iniciada pelas folhas mais jovens (IMSANDE, 1998; LUNDE et al., 2008). Por sua vez, o aumento na leitura do índice SPAD pode estar relacionado à importância do S no aumento da capacidade fotossintética da planta (PANDEY et al., 2009), melhorando a eficiência do sistema ferredoxina-tiorredoxina que regula o funcionamento das enzimas na fixação de carbono além de vários outros processos do cloroplasto (CRUSCIOL et al., 2013; TAIZ; ZEIGER, 2017).

Os resultados também demonstraram as doses de S diferiram em sua eficiência de uso, sendo o melhor aproveitamento com o fornecimento de 50 mg kg<sup>-1</sup> S, decrescendo com o aumento da dose em todos os cortes (Figura 4A), no segundo e terceiro corte as fontes FG, GY e SEPO foram superiores a SEPA e não diferiram entre si. Diante disso, pode se dizer que os processos no solo associados à disponibilidade de S tiveram uma grande influência da granulometria do fertilizante SEPA (Figura 4B e 4C).

#### **3.4.2. Crescimento e produção da parte aérea em função das fontes e cortes**

A produção de MSPA, número de perfilhos, relação folha:haste, índice SPAD e a eficiência de uso de S apresentaram diferenças de produção entre os cortes. É possível observar que o segundo e terceiro corte do capim Mombaça apresentam maior resposta ao S do que no primeiro corte, enquanto o controle (ausência de S) teve um comportamento oposto (Figura 1A, 1B e 1C). Isso pode ser explicado porque o solo usado apresenta uma média concentração em S e tem baixo teor de matéria orgânica. Possivelmente, ocorreu à deposição e alguma mineralização no período inicial do experimento, o que pode ter disponibilizado S para desempenho diferencial do primeiro corte, enquanto nos meses seguintes, o suprimento de S foi insuficiente para atender a demanda da cultura, acarretando a deficiência deste nutriente no segundo e terceiro corte (Figura 5E).

O enxofre fornecido na forma elementar ( $S^0$ ) ou na forma de sulfato ( $SO_4^{2-}$ ), bem como a sua granulometria afetaram o incremento de MSPA, número de perfilhos, SPAD e eficiência de uso (Figura 1, 2, 4), especialmente para fonte SEPA, a qual apresentou menor resposta em relação as demais fontes. Possivelmente, essa resposta diferencial está associada à granulometria da fonte, pois o fertilizante SEPA está na forma física de grânulo, enquanto as demais fontes estão na forma física de pó. Esta hipótese é suportada pelo fato das fontes SEPA e SEPO serem compostos pela mesma forma de enxofre ( $S^0$ ) e diferiram estatisticamente entre si (Figuras 1 e 5). Outros autores também relatam o efeito da propriedade física e química na disponibilidade e o efeito residual do enxofre (GRENG et al., 2012; SUN et al., 2017). Wen et al. (2001) observaram que a oxidação do enxofre é variável devido a temperatura e granulometria, apresentando uma taxa de oxidação de 11%, 26% e 56% para o enxofre elementar em pó, enquanto que para o enxofre elementar granulado foi de 1%, 4% e 8% após 10 semanas da aplicação, a 5°C, 10°C e 20°C, respectivamente.

Diante do exposto, verificou-se que a disponibilidade de S elementar pode ser aumentada por formulações projetadas para reduzir o tamanho de partícula e aumentar a área de superfície exposta à atividade microbiana (GRENG et al. 2012; DEGRYSE et al., 2017). Além disso, as fontes que são compostas por enxofre elementar estão subordinadas aos fatores abióticos e bióticos que afetam a atividade microbiana, o que influenciará em sua oferta para a planta durante o seu ciclo da cultura (BRAHIM et al., 2017; DEGRYSE et al., 2017).

### **3.4.3. Nitrogênio e enxofre na parte aérea**

Verificou-se um sinergismo entre a concentração de N no capim Mombaça com o aumento das doses de S no primeiro corte (Figura 5A). Esse efeito pode estar atrelado a maior produção dos aminoácidos metionina, cistina e cisteína, os quais são importantes na determinação da estrutura terciária e na síntese de proteína, gerando maior requerimento de N para a formação protéica. Além disso, o enxofre favorece a atividade das enzimas nitrato redutase e glutamina sintetase, as quais fazem parte da redução e assimilação do N em aminoácidos (SALVAGIOTTI; MIRALLES, 2008; DE BONA; MONTEIRO 2010; HEINRICHS et al., 2013; GENG et al., 2016). Em relação ao terceiro corte, concentração de N reduziu com adubação

de S (Figura 5D). Possivelmente, o maior crescimento vegetativo do capim Mombaça resultou no efeito de diluição (HEINRICHS et al., 2016).

A concentração de S na forragem associado à produção máxima de MSPA no primeiro e terceiro corte esteve faixa de 2,2 a 1,5 g kg<sup>-1</sup>, para as fontes GY, GI e SEPO, considerada adequada para nutrição do capim Mombaça (MALAVOLTA et al., 1997). A ausência da adubação e a aplicação da fonte SEPA no terceiro corte apresentaram concentrações abaixo do limite crítico de deficiência para esta cultura, o que refletiu em menor produção e desequilíbrio nutricional (Figura 1C; 5D; 5E e 5F). É importante salientar que cultivos sucessivos sem a reposição de nutriente pode esgotar o S orgânico natural, agravando a deficiência de S no solo (SCHMIDT; MONTEIRO 2015; DEGRYSE et al., 2017).

A ausência de S na adubação e a fonte SEPA apresentaram alta relação N:S na parte aérea do capim Mombaça no terceiro corte, aproximadamente 60:1 e 38:1, respectivamente, o que caracteriza um desequilíbrio metabólico da planta (Figura 5C e 5F). Este desequilíbrio também está associado ao menor desenvolvimento e crescimento da forragem. De acordo, Dijkshoorn e Van Wijk (1967) e De Bona e Monteiro (2010), a relação N:S de 14:1 representa o estado nutricional adequado para as plantas da família Poaceae (Gramineae). As fontes GY, GI e SEPO apresentaram uma variação de 13,5:1 a 17:1 quando associadas à produção máxima da parte aérea em ambos os cortes, valores próximos ao considerado adequado para o capim Mombaça. Crusciol et al. (2013) relatam que o suprimento insuficiente de enxofre resulta no desequilíbrio da relação N:S nas plantas e a elevada relação N:S pode promover o acúmulo de N na forma não protéica, principalmente, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N orgânico solúvel (HAQ; CARLSON, 1993), o que acarreta em menor qualidade nutricional do capim e redução do crescimento vegetal.

#### **3.4.4. Enxofre residual e influência do S no pH do solo**

O teor de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> no solo por ocasião do início da pesquisa estavam com 7 mg kg<sup>-1</sup>. Após os três cortes e sem adubação com o nutrientes, os valores reduziram drasticamente, variando de 1,13 mg kg<sup>-1</sup> a 4,33 mg kg<sup>-1</sup>, representando decréscimos variando de 42% a 81% do disponível no solo originalmente (Figura 6A), o que acarretou deficiência do nutriente na cultura. Por outro lado, com a aplicação de S, o enxofre residual ficou acima do nível considerado suficiente para culturas exigentes

(10 mg kg<sup>-1</sup>) com todas as fontes estudadas (Figura 6A). Kopittke et al. (2016) relatam que a mineralização contínua de S orgânico é insuficiente para atender a remoção pelas culturas. Os resultados do estudo evidenciam que a aplicação do nutriente é fundamental para manutenção da disponibilidade no solo, inclusive em condições de adequada disponibilidade inicial.

Observou-se redução do pH do solo após três cortes sucessivos do capim mombaça, que pode ser atribuído a maior extração das bases, especialmente com o aumento de produtividade (AHMED et al., 2016). Com a fonte SEPO a redução do pH foi mais acentuada devido sua forma química e menor granulométrica, o que está relacionado a reação de oxidação do enxofre para SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> que libera H<sup>+</sup> para o meio (BOARO et al., 2014).

### 3.5. CONCLUSÃO

A adubação com enxofre aumentou a produção de MSPA, MSR, número de perfilhos, quantidade de folhas por colmo, índice SPAD e promoveu uma melhor qualidade no estado nutricional da forragem.

Na ausência de adubação com S sua disponibilidade no solo reduziu, caracterizando deficiência de S nas plantas, acúmulo de N na forragem, desequilíbrio da relação N:S e menor produção de massa seca no segundo e terceiro corte do capim Mombaça.

O índice SPAD nas folhas recém-expandidas está associado com a produção de MSPA e pode ser usado para avaliar o estado nutricional de S de capim Mombaça.

A melhor eficiência de uso foi obtida com o fornecimento de 50 mg kg<sup>-1</sup> S decrescendo com o aumento da dose em todos os cortes, no segundo e terceiro corte as fontes FG, GY e SEPO foram superiores a SEPA e não diferiram entre si.

Os processos no solo associados à disponibilidade de S tiveram uma grande influência da granulometria, como observado do pelos menores valores obtidos de produção e eficiência para o fertilizante SEPA em relação ao uso das demais fontes.

### 3.6. REFERÊNCIAS

AHMED, H. P.; SCHOENAU, J. J.; KING, T.; KAR, G. Effects of seed-placed sulfur fertilizers on canola, wheat, and pea yield; Sulfur uptake; and soil sulfate concentrations over time in three prairie soils. **Journal of Plant Nutrition**, v. 40, n. 4, p. 543-557, 2017.

BOARO, V.; SCHWARZ, S. F.; SOUZA, P. V. D. D.; SOARES, W.; LOUROS, G. V. Enxofre elementar no manejo do pH de substrato orgânico alcalino. **Ciência rural. Santa Maria**, v. 44, n. 12, p. 2111-2117, 2014.

BOVAL, M.; DIXON, R. M. The importance of grasslands for animal production and other functions: a review on management and methodological progress in the tropics. **Animal**, v. 6, n. 5, p. 748-762, 2012.

BRAHIM S.; NIESS A.; PFLIPSEN M.; NEUHOF D.; SCHERER H. Effect of combined fertilization with rock phosphate and elemental sulphur on yield and nutrient uptake of soybean. **Plant Soil Environ**. v. 63, n. 2, p. 89-95, 2017.

CANTO, M. W.; BARTH NETO, A.; PANCERA JÚNIOR, E. J.; GASPARINO, E.; SCANDOLARA BOLETA, V. Produção e qualidade de sementes do capim-mombaça em função da adubação nitrogenada. **Bragantia**, v. 71, n. 3, 2012.

CAPALDI, F. R.; GRATÃO, P. L.; REIS, A. R.; LIMA, L. W.; AZEVEDO, R. A. Sulfur Metabolism and Stress Defense response in Plants. **Tropical Plant Biology**, v. 8, n. 3-4, p. 60-73, 2015.

CHIEN, S. H.; GEARHART, M. M.; VILLAGARCÍA, S. Comparison of ammonium sulfate with other nitrogen and sulfur fertilizers in increasing crop production and minimizing environmental impact: a review. **Soil Science**, v. 176, n. 7, p. 327-335, 2011.

CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S.; SORATTO, R. P.; ROSELEM, C. A. Upland rice growth and mineral nutrition as affected by cultivars and sulfur availability. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, n. 1, p. 328-335, 2013.

CUSTÓDIO, D. P.; DE OLIVEIRA, I. P.; DE PINHO COSTA, K. A.; SANTOS, R. S. M.; FARIA, C. D. Avaliação do gesso no desenvolvimento e produção do capim-tanzânia. **Ciência Animal Brasileira**, v. 6, n. 1, p.27-34, 2005.

DE BONA, F. D. D.; MONTEIRO, F. A. Marandu palisadegrass growth under nitrogen and sulphur for replacing signal grass in degraded tropical pasture. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 5, p. 570-578, 2010.

DEGRYSE, F.; SILVA, R. C.; BAIRD, R.; BEYRER, T.; BELOW, F.; MCLAUGHLIN, M. J. Uptake of elemental or sulfate-S from fall-or spring-applied co-granulated fertilizer by corn: a stable isotope and modeling study. **Field Crops Research**, v. 221, p. 322-332, 2018



DEGRYSE, F.; AJIBOYE, B.; BAIRD, R.; DA SILVA, R. C.; MCLAUGHLIN, M. J. Availability of fertiliser sulphate and elemental sulphur to canola in two consecutive crops. **Plant and soil**, v. 398, n. 1-2, p. 313-325, 2016.

DING, Y.; ZHOU, X.; ZUO, L.; WANG, H.; YU, D. Identification and functional characterization of the sulfate transporter gene GmSULTR1; 2b in soybean. **BMC genomics**, v. 17, n. 1, p. 373, 2016.

FONTE, S. J.; NESPER, M.; HEGGLIN, D.; VELÁSQUEZ, J. E.; RAMIREZ, B.; RAO, I. M.; OBERSON, A. Pasture degradation impacts soil phosphorus storage via changes to aggregate-associated soil organic matter in highly weathered tropical soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 68, p. 150-157, 2014.

GERMIDA, J. J.; JANZEN, H. H. Factors affecting the oxidation of elemental sulfur in soils. **Fertilizer research**, v. 35, n. 1-2, p. 101-114, 1993.

GILABEL, A. P.; NOGUEIROL, R. C.; GARBO, A. I.; MONTEIRO, F. A. The role of sulfur in increasing guinea grass tolerance of copper phytotoxicity. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 225, n. 1, p. 1806-1816, 2014.

GRANT, C. A.; MAHLI, S. S.; KARAMANOS, R. E. Sulfur management for rapeseed. **Field Crops Research**, v. 128, p. 119-128, 2012.

HABTEMICHAL, K. H.; SINGH, B. R.; AUNE, J. B. Wheat response to N<sub>2</sub> fixed by faba bean (*Vicia faba* L.) as affected by sulfur fertilization and rhizobial inoculation in semi-arid Northern Ethiopia. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 170, n. 3, p. 412-418, 2007.

HEINRICHS, R.; GRANO, F. G.; BUENO, L. G. D. F.; SOARES FILHO, C. V.; FAGUNDES, J. L.; REBONATTI, M. D.; OLIVEIRA, K. D. Brachiaria sp yield and nutrient contents after nitrogen and sulphur fertilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 997-1003, 2013.

HEINRICHS, R.; MONREAL, C. M.; SANTOS, E. T.; SOARES FILHO, C. V.; REBONATTI, M. D.; TEIXEIRA, N. M.; MOREIRA, A. Phosphorus Sources and Rates Associated with Nitrogen Fertilization in Mombasa Grass Yield. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, n. 5, p. 657-669, 2016.

IMSANDE J. Iron, sulfur, and chlorophyll deficiencies: a need for an integrative approach in plant physiology. **Physiologia Plantarum**, 103, 139–144, 1998.

JANK, L.; RESENDE, R. M. S.; do VALLE, C. B.; RESENDE, M. D. V.; CHIARI, L.; CANÇADO, L. M.; SIMIONI, C. Melhoramento genético de *Panicum maximum*,. In: RESENDE, R. M. S.; VALLE, C. B.; JANK, L. (Ed.). **Melhoramento de forrageiras tropicais**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2008. p.55-87.

JANZEN, H. H.; BETTANY, J. R. The effect of temperature and water potential on sulfur oxidation in soils. **Soil Science**, v. 144, n. 2, p. 81-89, 1987.

JANZEN, H. H.; KARAMANOS, R. E. Short-term and residual contribution of selected elemental S fertilizers to the S fertility of two Luvisolic soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 71, n. 2, p. 203-211, 1991.

KOPITTKKE, P. M.; DALAL, R. C.; MENZIES, N. W. Sulfur dynamics in sub-tropical soils of Australia as influenced by long-term cultivation. **Plant and soil**, v. 402, n. 1-2, p. 211-219, 2016.

LAVRES JÚNIOR, J.; MONTEIRO, F. A.; SCHIAVUZZO, P. F. Concentração de enxofre, valor SPAD e produção do capim-Marandu em resposta ao enxofre. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, n.3, p.225-231,2008.

LUNDE, C.; ZYGADLO, A.; SIMONSEN, H. T.; NIELSEN, P. L.; BLENNOW, A.; HALDRUP, A. Sulfur starvation in rice: the effect on photosynthesis, carbohydrate metabolism, and oxidative stress protective pathways. **Physiologia Plantarum**, v. 134, n. 3, p. 508-521, 2008.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3 ed., Academic Press, London, 2012.

MORENO, L. S.; PEDREIRA, C. G.; BOOTE, K. J.; ALVES, R. R. Base temperature determination of tropical *Panicum* spp. grasses and its effects on degree-day-based models. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 186, p. 26-33, 2014.

NESPER, M.; BÜNEMANN, E. K.; FONTE, S. J.; RAO, I. M.; VELÁSQUEZ, J. E.; RAMIREZ, B.; OBERSON, A. Pasture degradation decreases organic P content of tropical soils due to soil structural decline. **Geoderma**, v. 257, p. 123-133, 2015.

PANDEY, S. N.; NAAZ, S.; ANSARI, S. R. Growth, biomass and petroleum convertible hydrocarbons' yield of *Grindelia camporum* planted on an alluvial soil (Entisol) of North India and its response to sulphur fertilization. **Biomass and bioenergy**, v. 33, n. 3, p. 454-458, 2009.

RAIJ B. VAN.; ANDRADEJ. C.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J. **Análise Química para fertilidade de solos tropicais**. INSTITUTO AGRONOMICO-FUNDAÇÃO IAC, 2001, 285p.

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna: [s.n.] 2018.

RAO, I. M.; FRIESEN, D. K.; OSAKI, M. Plant adaptation to phosphorus-limited tropical soils. **Handbook of plant and crop stress**, v. 2, p. 61-95, 1999.

RYANT, P.; SKLÁDANKA, J. The effect of applications of various forms of sulfur on the yields and quality of grass forage. **Acta Agriculturae Scandinavica Section B- Soil and Plant Science**, v. 59, n. 3, p. 208-216, 2009.

SALVAGIOTTI, F.; FERRARIS, G.; QUIROGA, A.; BARRACO, M.; VIVAS, H.; PRYSTUPA, P.; ECHEVERRÍA H.; BOEM, F. H. G. Identifying sulfur deficient fields

by using sulfur content; N: S ratio and nutrient stoichiometric relationships in soybean seeds. **Field crops research**, v. 135, p. 107-115, 2012.

SANTOS, H. G.; JOCOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBREARAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; FILHO, J. C. A; OLIVEIRA, J. B; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: Embrapa. 2018. 531 p.

SCHMIDT, F.; MONTEIRO, F. A. Sulphur supply affects morphology, growth and nutritional status of Tanzania Gbuinea grass and Mineirão stylo. **Grass and forage science**, v. 70, n. 3, p. 439-450, 2015.

SUN, L.; YANG, J.; FANG, H.; XU, C.; PENG, C.; HUANG, H.; LU, L.; DUAN, D.; ZHANG X.; SHI, J. Mechanism study of sulfur fertilization mediating copper translocation and biotransformation in rice (*Oryza sativa* L.) plants. **Environmental pollution**, v. 226, p. 426-434, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. [S.l.]: Artmed Editora, 2017.

WEN, G.; SCHOENAU, J. J.; YAMAMOTO, T.; INOUE, M. A model of oxidation of an elemental sulfur fertilizer in soils. **Soil science**, v. 166, n. 9, p. 607-613, 2001

WRIGHT, I. A.; JONES, J. R.; DAVIES, D. A.; DAVIDSON, G. R.; VALE, J. E. The effect of sward surface height on the response to mixed grazing by cattle and sheep. **Animal Science**, v. 82, n. 2, p. 271-276, 2006.