



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOLOS E NUTRIÇÃO
DE PLANTAS

Thiago Henrique Ferreira Matos Castañon

Efeitos de diferentes formas e fontes de enxofre na produção de biomassa, nas características nutricionais do sorgo forrageiro e nas propriedades do solo

FORTALEZA

2015

Thiago Henrique Ferreira Matos Castañon

Efeitos de diferentes formas e fontes de enxofre na produção de biomassa, nas características nutricionais do sorgo forrageiro e nas propriedades do solo

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas, do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Boanerges Freire de Aquino, PhD.

FORTALEZA

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- C341e Castañon, Thiago Henrique Ferreira Matos.
Efeitos de diferentes formas e fontes de enxofre na produção de biomassa, nas características nutricionais do sorgo forrageiro e nas propriedades do solo / Thiago Henrique Ferreira Matos Castañon. – 2015.
68 f.: il. color.; enc.; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias Departamento de Ciências do Solo, Programa de Pós Graduação em Agronomia, Fortaleza, 2015.
Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.
Orientação: Prof. Dr. Boanerges Freire de Aquino.
1. Bentonita. 2. Enxofre. 3. *Sorghum bicolor*. I. Título.

Thiago Henrique Ferreira Matos Castañon

Efeitos de diferentes formas e fontes de enxofre na produção de biomassa, nas características nutricionais do sorgo forrageiro e nas propriedades do solo

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas, do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovada em: 11/03/2015

BANCA EXAMINADORA

Prof. Boanerges Freire de Aquino, PhD - (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Antônio Marcos Esmeraldo Bezerra, Dr.
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Marcos Vinicius Assunção, PhD.
Secretaria do Desenvolvimento Agrário do Ceará (SDA)
Prof. Aposentado Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

A Deus em primeiro lugar por ser fiel e ter me guiado pelos teus caminhos e me livrado de todo mal.

Aos meus pais Edna Ruth Ferreira Matos e Orlaney Moraes Dias Castañon, por sempre me incentivarem em meus sonhos e planos.

Ao meu irmão Orlaney Moraes Castañon Junior, e primo Paulo Ricardo Castañon Leobet por sempre me ajudarem com meus experimentos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da UFC, pelos conhecimentos transferidos, em especial meu orientador prof. Boanerges. Aos funcionários da UFC os quais sempre foram prestativos para me ajudar, especialmente José Edilson, Antônio José, Tavares e Elena. Ao prof. Eneias do Departamento de Bioquímica pelo auxílio em algumas análises.

Ao prof. Marcos Esmeraldo, prof. Marcos Vinícius e José Maria Freire pelas relevantes contribuições ao trabalho.

Aos amigos Elimário, Fabiana, Tássia, Lilian Rafaelly, Juliana, Germana, Crisanto, José Filho, Alcione, Cleyton, Kaio, Cilas, Carla, Jaciane, Izabel, Maycon, Thiago, David e Levi, pelo companheirismo na condução do experimento e disciplinas cursadas.

A todos meus amigos e irmãos da Igreja Gileade da Cidade 2000, os quais foram a minha família aqui em Fortaleza.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

E a todos que contribuíram para o sucesso desse trabalho.

“Buscai, pois, em primeiro lugar, o seu reino e sua justiça, e todas estas coisas vos serão acrescentadas.” (Mateus 6:33)

RESUMO

Existem no mercado diversos fertilizantes contendo enxofre, onde estão nas formas de S-sulfato ou S-elementar, sendo assim podendo ocorrer diferenças nas eficiências desses fertilizantes no desenvolvimento inicial das culturas. Esse trabalho objetivou avaliar a eficiência agrônômica dos fertilizantes contendo enxofre na forma de sulfato e elementar, na produção de biomassa e características nutricionais do sorgo forrageiro. O experimento foi em um esquema fatorial de 4x4 (quatro fontes: gesso agrícola, superfosfato simples, enxofre elementar em pó e enxofre elementar granulado com bentonita; quatro doses: 0, 40, 80, 120 mg·kg⁻¹ S) com quatro repetições, em delineamento inteiramente casualizados (DIC), conduzido em vasos em casa de vegetação, sendo 3 plantas por vaso. O sorgo foi cultivado por um período de 51 dias após a emergência das plântulas. À produção de massa verde e seca da parte aérea tiveram maiores interações entre as fontes x doses, com S-elementar (pó) na dose de 80 mg kg⁻¹ de S e superfosfato simples na doses de 40 mg·kg⁻¹ de S. As concentrações de fósforo e enxofre na parte aérea tiveram menores valores com o uso do S-elementar granulado. O S na raiz foi maior na interação S-elementar (pó) com a dose de 120 mg·kg⁻¹ de S. Entretanto, as concentrações de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio na parte aérea e na raiz, não foram encontradas diferenças estatística. Na relação N/S, o S-elementar granulado foi o que propiciou maior valor entre as demais fontes, já no teor de proteína bruta não foi encontrada diferença estatística. No índice relativo de clorofila e índice de área foliar não foram encontradas diferenças significativas para os tratamentos. Os teores de fósforo, potássio e magnésio no solo não foram encontradas diferenças significativas, já o cálcio ocorreu maior valor na interação com as fontes gesso agrícola e superfosfato simples, em relação às doses de 120 mg kg⁻¹ de S. O maior aumento de enxofre no solo foi com a aplicação do gesso agrícola. O pH do solo reduziu com as fontes S-elementar nas formas de granulada e pó, reduzindo de forma linear com o aumento das doses de enxofre. Conclui-se que as doses de enxofre proporcionam aumento na produção de matéria fresca e seca do sorgo forrageiro. Os fertilizantes na forma de S-elementar quando aplicados na forma de pó possuem eficiências semelhantes às formas de sulfatos, na produção de biomassa e características nutricionais do sorgo forrageiro. O pH do solo diminui de forma linear com o aumento das doses de enxofre elementar.

Palavras Chave: Sulfato; enxofre elementar; bentonita; *Sorghum bicolor*.

ABSTRACT

There are many on the market fertilizers containing sulphur, where is in the forms of sulphate-S or elemental-S, so may be differences in the efficiency of these fertilizers in the initial development of crops. This study aimed to assess the efficacy of fertilizers containing sulphur as sulphate and elemental, in the production of biomass and nutritional characteristics of sorghum. The experiment develop in a factorial 4x4 scheme (four sources: gypsum, superphosphate, elemental sulphur powder and granulated elemental sulphur with bentonite; four doses: 0, 40, 80, 120 mg·kg⁻¹ S) with four replications, in a completely randomized design (CRD), conducted in pots in a greenhouse, with three plants per pot. Sorghum was grown for a period of 51 days after seedling emergence. In the production of green mass and dry shoot matter had more interactions between sources x doses, with elemental-S (powder) at a dose of 80 mg kg⁻¹ S and simple superphosphate in kg⁻¹ mg dose of S. The phosphorus and sulphur concentrations in the aerial part had the lowest values using the elemental-S granulated. S in the root was highest in the interaction elemental-S (powder) at a dose of 120 mg kg⁻¹ of S. However, the concentrations of nitrogen, potassium, calcium, magnesium in the aerial part and roots, no differences were found statistics. In relation N / S, granulated elemental-S was what provided greatest values of the other sources, however crude protein content was no statistical difference. In relative chlorophyll content and leaf area index were no significant differences among treatments. Phosphorus, potassium and magnesium in the soil no significant differences were found, but calcium was greatest value in interaction with sources agricultural gypsum and simple superphosphate, in relation to the dose of 120 mg·kg⁻¹ of S. The largest increase in sulphur in the soil was the application of gypsum. The soil pH reduced with the elemental-S sources in the forms of granular and powder, decreased linearly with increasing sulphur doses. It is conclude that the sulphur doses provided increased production of fresh and dry matter fodder sorghum. The fertilizer in the form of elemental-S when applied in powder form have similar efficiencies to form sulphates in the production of biomass and nutritional characteristics of forage sorghum. The soil pH decreased linearly with the dose of elemental sulphur.

Keywords: sulphate; elemental sulphur; bentonite; *Sorghum bicolor*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Evolução da área plantada total de sorgo forrageiro e granífero no Brasil, nas safras 1991/1992 a 2011/2012.....	17
Figura 2 –	Relação entre as concentrações de nutrientes e produção ou crescimento.....	24
Figura 3 –	Sintoma de deficiência de enxofre na cultura do sorgo.....	28
Figura 4 –	Ciclo do enxofre.....	30
Figura 5 –	Dinâmica do sulfato.....	30
Figura 6 –	Sementes de sorgo forrageiro BRS Ponta Negra (A), semeadura (B), emergência das plântulas de sorgo (C) e desenvolvimento do sorgo (D).....	39
Figura 7 –	Determinação do teor relativo de clorofila nas folhas de sorgo com clorofilômetro.....	41
Figura 8 –	Determinação de área foliar.....	41
Figura 9 –	Efeito das doses nas fontes de enxofre: superfosfato simples, gesso agrícola, S-elementar em pó e granulado, na matéria fresca da parte aérea do sorgo forrageiro, aos 51 DAE. Sendo mensuradas as três plantas de cada vaso.....	44
Figura 10 –	Efeito das doses nas fontes de enxofre: superfosfato simples, gesso agrícola, S-elementar em pó e granulado, na matéria seca da parte aérea do sorgo forrageiro, aos 51 DAE. Sendo mensuradas as três plantas de cada vaso.....	45
Figura 11 –	Efeito das doses de enxofre na concentração de enxofre na parte aérea do sorgo forrageiro, aos 51 DAE.....	49
Figura 12 –	Efeito das doses nas fontes de enxofre: superfosfato simples, gesso agrícola, S-elementar em pó e granulado, na concentração de enxofre na raiz do sorgo forrageiro, aos 51 DAE.....	50
Figura 13 –	Efeito das doses de enxofre na relação nitrogênio enxofre (N/S) na parte aérea do sorgo forrageiro, aos 51 DAE.....	53

Figura 14 – Efeito das doses nas fontes de enxofre: superfosfato simples, gesso agrícola, S-elementar em pó e granulado, no teor de cálcio no solo, aos 51 DAE.....	56
Figura 15 – Efeito das doses nas fontes de enxofre: superfosfato simples, gesso agrícola, S-elementar em pó e granulado, no teor de S no solo, aos 51 DAE.....	58
Figura 16 – Fertilizantes granulados sem desagregação por um período de 51 DAE em um cultivo de sorgo forrageiro em vaso. A) Superfosfato simples, B) S-elementar (granulado com argila).....	59
Figura 17 – Efeito das doses de enxofre no pH do solo, aos 51 DAE.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Área plantada de sorgo forrageiro nas safras 2010/2011 e 2011/2012...	17
Tabela 2 -	Extração de macro e micronutrientes pela cultura do sorgo biomassa, sacarino, granífero (planta inteira e grãos).....	20
Tabela 3 -	Recomendação de adubação de semeadura e cobertura com macronutrientes primários para o sorgo sacarino em solos de fertilidade corrigida.....	20
Tabela 4 -	Recomendação de adubação de semeadura e cobertura com macronutrientes primários para o sorgo biomassa em solos de fertilidade corrigida.....	21
Tabela 5 -	Recomendações de adubação de semeadura e cobertura para o sorgo granífero em São Paulo.....	21
Tabela 6 -	Recomendação de adubação a lanço com micronutrientes para a cultura do sorgo.....	22
Tabela 7 -	Teores foliares de nutrientes considerados adequados para a cultura do sorgo, conforme diferentes autores.....	25
Tabela 8 -	Teores foliares de nutrientes no híbrido de sorgo forrageiro BRS 610...	25
Tabela 9 -	Características agrônômicas da variedade de sorgo BRS Ponta Negra..	26
Tabela 10 -	Estados de oxidação do S no solo.....	29
Tabela 11 -	Produção de enxofre no mundo em 2011 e 2012.....	31
Tabela 12 -	Fontes comuns de fertilizantes contendo enxofre.....	32
Tabela 13 -	Outros fertilizantes contendo enxofre.....	33
Tabela 14 -	Caracterização química e física do solo da camada de 0 a 20 cm de profundidade.....	37
Tabela 15 -	Tratamentos formados pela combinação de doses e fontes de enxofre...	38
Tabela 16 -	Resumo da análise de variância para a variável: matéria fresca e seca da parte aérea do sorgo forrageiro, em função das fontes (F) e doses de enxofre (D).....	43
Tabela 17 -	Desdobramento da interação entre fontes e doses de enxofre, sobre matéria fresca da parte aérea do sorgo forrageiro, aos 51 DAE. Sendo mensuradas as três plantas de cada vaso.....	44

Tabela 18 -	Desdobramento da interação entre fontes e doses de enxofre, sobre matéria seca da parte aérea do sorgo forrageiro, aos 51 DAE. Sendo mensuradas as três plantas de cada vaso.....	45
Tabela 19 -	Resumo da análise de variância para as variáveis: nitrogênio na parte aérea e enxofre na parte, em função das fontes de enxofre (F) e doses de enxofre (D).....	46
Tabela 20 -	Resumo da análise de variância para a variável: enxofre na raiz, em função das fontes de enxofre (F) e doses de enxofre (D).....	47
Tabela 21 -	Resumo da análise de variância para as variáveis: fósforo na parte aérea, fósforo na raiz, potássio na parte aérea e potássio na raiz do sorgo forrageiro, em função das fontes de enxofre (F) e doses de enxofre (D).....	49
Tabela 22 -	Resumo da análise de variância para as variáveis: cálcio na parte aérea, cálcio na raiz, magnésio na parte aérea e magnésio na raiz do sorgo forrageiro, em função das fontes de enxofre (F) e doses de enxofre (D).....	48
Tabela 23 -	Comparação de médias das fontes de enxofre, para a variável: concentração de enxofre na parte aérea do sorgo forrageiro, aos 51 DAE.....	48
Tabela 24 -	Desdobramento da interação entre fontes e doses de enxofre, sobre concentração de enxofre na raiz do sorgo forrageiro, aos 51 DAE.....	49
Tabela 25 -	Comparação de médias das fontes de enxofre, para a variável: fósforo na parte aérea do sorgo forrageiro, aos 51 DAE.....	50
Tabela 26 -	Resumo da análise de variância para as variáveis: relação nitrogênio/enxofre e teor de proteína bruta na parte aérea do sorgo forrageiro, em função das fontes de enxofre (F) e doses de enxofre (D).....	51
Tabela 27 -	Comparação de médias das fontes de enxofre, para a variável: relação nitrogênio enxofre na parte aérea do sorgo forrageiro, aos 51 DAE.....	52
Tabela 28 -	Resumo da análise de variância para as variáveis: teor de clorofila e área foliar, em função das fontes de enxofre (F) e doses de enxofre (D).....	54

Tabela 29 -	Resumo da análise de variância para as variáveis: cálcio e enxofre no solo, em função das fontes de enxofre (F) e doses de enxofre (D).....	55
Tabela 30 -	Resumo da análise de variância para as variáveis: fósforo, potássio, magnésio e pH do solo, em função das fontes de enxofre (F) e doses de enxofre (D).....	55
Tabela 31 -	Desdobramento da interação entre fontes e doses de enxofre, sobre teor de cálcio no solo, aos 51 DAE do sorgo forrageiro.....	56
Tabela 32 -	Desdobramento da interação entre fontes e doses de enxofre, sobre o teor de enxofre no solo, aos 51 DAE.....	57
Tabela 33 -	Comparação de médias das fontes de enxofre, para a variável: pH do solo aos 54 dias após a adubação.....	59

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1	Cultura do sorgo	16
2.3	Adubação do sorgo	19
2.4	Função do enxofre na planta.....	22
2.5	Diagnose nutricional da planta	23
2.7	Relação N/S nas plantas	26
2.9	Enxofre no solo.....	28
2.10	Produção mundial de enxofre	31
2.11	Adubos que contem enxofre	32
2.12	O enxofre nos fertilizantes formulados	33
2.13	Fertilizantes constituídos de enxofre elementar	34
2.14	Oxidação do enxofre elementar por fatores bióticos	35
2.15	Influência dos fatores abióticos sobre a oxidação do enxofre elementar	35
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	37
3.1	Descrição da Área.....	37
3.2	Delineamento Experimental e Tratamentos	37
3.3	Instalação e Condução do Experimento	38
3.4	Características avaliadas no estudo	39
3.4.1	Pesos da massa verde e seca da parte aérea.....	39
3.4.2	Concentrações de macronutrientes na planta.....	40
3.4.3	Relação N/S na planta	40
3.4.4	Concentração de proteína bruta da planta.....	40
3.4.5	Índice Relativo de Clorofila (IRC)	40
3.4.6	Índice de área foliar	41
3.4.7	Teores de macronutrientes no solo	42
3.4.8	pH do solo.....	42
3.5	Análises Estatísticas	42
4	RESULTADO E DISCUSSÃO.....	43

4.1	Pesos de matéria fresca e seca da parte aérea.....	43
4.2	Concentrações de macronutrientes na planta.....	46
4.3	Relação N/S e teor de proteína bruta na parte aérea.....	51
4.4	Índice relativo de clorofila e índice de área foliar	54
4.5	Teores de macronutrientes e pH do solo	54
5	CONCLUSÕES	61
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1. INTRODUÇÃO

A cultura do sorgo vem sendo realizada em praticamente todo o território nacional em três modalidades: produção de grãos, de açúcar e/ou de álcool e de forragem. Tem um papel importante na alimentação animal, na qual se utilizam não somente os grãos, mas também a parte aérea como alimento volumoso. Destaca, ainda, pela sua rusticidade, pois consegue se estabelecer em condições desfavoráveis, como em precipitação e fertilidade baixas do solo, mas, quando colocado em condições de fornecimento adequado de água e nutrientes, responde com altos rendimentos de produtividade.

No Brasil, as adubações em geral são baseadas em N, P e K, menosprezando-se geralmente os outros nutrientes, como o S. O enxofre muitas vezes é fornecido através da adubação de outros nutrientes, como no sulfato de amônio (21% N e 18% S) e no superfosfato simples (18% P e 12% S). Quando essas fontes de N e P estão com preços elevados, geralmente são substituídas por fontes que não contêm S, como nitrato de amônio e superfosfato triplo. O enxofre é um elemento essencial para o desenvolvimento vegetal e, quando em baixas concentrações no solo, pode promover queda de produtividade das culturas. O enxofre é constituinte das proteínas e conseqüentemente das enzimas, como a Nitrato Redutase (enzima responsável pela redução no NO_3^- nas plantas). Sendo assim, muitas vezes as plantas não respondem como deveriam às adubações nitrogenadas devido a baixas concentrações de enxofre no solo, nesses casos deve-se realizar adubações com S.

O enxofre pode ser fornecido nas formas de sulfatos (sulfato de amônio, sulfato de potássio, sulfato de Mg e K), fosfato (Superfosfato simples), condicionador de solo (gesso agrícola) e enxofre elementar (S^0). O enxofre elementar possui alta concentração de S, em torno de 95 a 99%, possuindo assim uma vantagem na diminuição dos custos com transporte. Para que as plantas absorvam o enxofre, ele tem que se oxidar por ação de bactérias, dessa maneira transmuta-se para a forma de SO_4^{-2} , que é a forma na qual as plantas o absorvem.

O enxofre elementar é reconhecido mundialmente como uma fonte de adubo, entretanto é pouco utilizado no Brasil e há pouca pesquisa a respeito de sua utilização nas nossas condições de solo e clima.

Supõe-se que os fertilizantes com enxofre elementar têm diferentes eficiências, quando comparados com os fertilizantes na forma de sulfato, sobre a produção de biomassa e sobre características nutricionais do sorgo.

Este trabalho objetivou avaliar a influência do enxofre em diferentes fontes, formas e doses aplicadas no solo como fertilizante e sua influência na produção de biomassa e características nutricionais do sorgo forrageiro.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Cultura do sorgo

O sorgo pertence a espécie *Sorghum bicolor* Moench, da família das gramíneas. Tendo sua origem da África, os sorgos que são cultivados na atualidade são oriundos do silvestre *Sorghum bicolor* subsp *Arundinaceum* (SAWAZAKI, 1998; MAGALHÃES et al., 2012). É uma planta de metabolismo C₄, de dias curtos, grande parte dos híbridos e variedades desenvolvem-se melhor em temperaturas superiores a 21°C (MAGALHÃES et al., 2012). É uma cultura considerada rústica por tolerar déficits hídricos e disponibilidades baixas de nutrientes, sendo assim cultivada em regiões com baixo nível pluviométrico ou em períodos desfavoráveis para semeadura (PINTO, 2008). Possui respostas ao aumento de suprimento de adubação e água, podendo atingir produtividades tanto em massa seca como de grãos similar à cultura do milho. Os nutrientes mais exportados pela cultura do sorgo são o Nitrogênio e o Potássio, respectivamente. O monitoramento da fertilidade do solo e a adição de nutrientes são importantes para se alcançar altas produtividades e evitar o esgotamento dos nutrientes do solo, isso devido à grande exportação via colheita, principalmente quando é colhida a planta inteira para a alimentação animal (RESENDE et al, 2009).

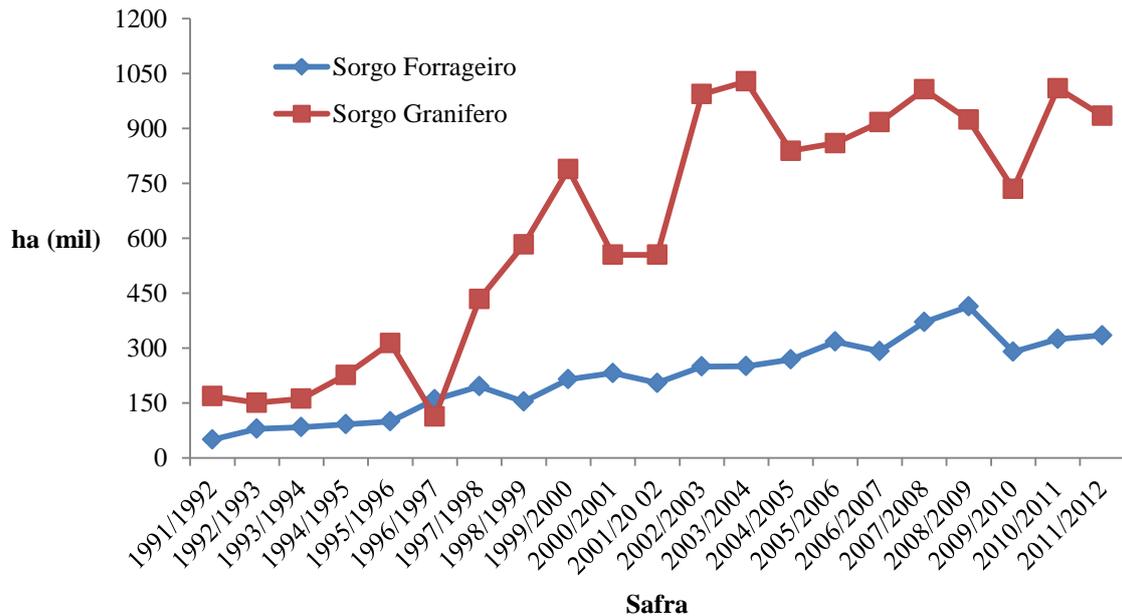
O sorgo é frequentemente utilizado para produção de grão e produção de massa verde para silagem, destacando-se pela sua importância econômica (SAWAZAKI, 1998). Apresenta-se como uma alternativa de substituição do milho nas rações para os animais. Pode substituir parcialmente o milho nas rações para suínos e aves e totalmente para ruminantes. A sua comercialização é baseada no preço do milho, correspondendo a 80% do valor do mesmo e tendo a vantagem de possuir um menor custo de produção (COELHO, et al. 2012).

A cultura do sorgo possui semelhanças com a do milho, por exemplo, na sua composição química e no seu valor nutricional, mas tem vantagens como: menor exigência quanto à fertilidade do solo; mais resistência à estiagem; mais tolerante a pragas e doenças; possui perfilhamento, podendo ser colhido mais de duas vezes em cada planta (PINTO, 2008).

As produtividades médias do sorgo forrageiro no Brasil variam de acordo com o ambiente de cultivo e com a tecnologia adotada, indo de 8 a 18 Mg ha⁻¹ de matéria seca, tendo um potencial produtivo de 25 Mg ha⁻¹ (ZAGO e GUIMARÃES, 2008). O sorgo forrageiro é fornecido para ruminantes, especialmente os bovinos, como: forragens verdes (pastejo ou picado no cocho); silagem; feno; palhada (PINTO, 2008).

Com o passar dos anos, o Brasil vem aumentando sua área de cultivo destinada ao sorgo forrageiro, mesmo assim ficando aquém da área destinada ao sorgo granífero (FIGURA 1), sendo que esse aumento foi devido à possibilidade de ser cultivado na safrinha (segunda safra) na região Centro-Oeste.

Figura 1 - Evolução da área plantada total de sorgo forrageiro e granífero no Brasil, nas safras 1991/1992 a 2011/2012.



Fonte: APPS, 2012.

Em relação à área cultivada, o sul do país apresenta maior proporção em relação às demais regiões, sendo que estados do Nordeste e Norte apresentam menores proporções de área cultivadas de sorgo forrageiro, conforme pode-se observar na Tabela 1.

Tabela 1 - Área plantada de sorgo forrageiro nas safras 2010/2011 e 2011/2012

Região	2010/2011		2011/2012	
	Área Plantada -----mil ha-----	Área Plantada ----%----	Área Plantada -----mil ha-----	Área Plantada ----%----
Sudeste	102.037	31.4	109.679	32.8
Sul	139.92	43.0	145.181	43.4
Centro Oeste	63.305	19.5	69.017	20.6
Nordeste	17.271	5.3	7.35	2.2
Norte	2.664	0.8	3.343	1.0
Total Nacional	325.198	100.0	334.57	100.0

Fonte: APPS (2012).

Já no estado do Ceará, a área plantada de sorgo forrageiro na safra 2011/2012 foi de 2.077 ha (APPS, 2012). Em relação à produção de grãos na safra 2012/2013, o estado obteve cerca de 1.300 hectares, gerando uma produção estimada de 1.198 toneladas e correspondendo a produtividade média de 1.600 kg ha⁻¹ (CONAB, 2014). A produção de sorgo na safra 2012/2013 em comparação a 2010/2011 apresentou um aumento de 1600% a mais de grãos, isso foi devido o aumento da área semeada e da produtividade com acréscimo de 333 e 507%, respectivamente (CONAB, 2014). Esse aumento foi devido a melhoria das condições climáticas em relação aos anos anteriores (CONAB, 2014).

2.2. Estádio fenológico do sorgo

A definição dos estádios de desenvolvimento das culturas é de suma importância para sucesso nos manejos, como: Controle de plantas daninhas, adubações de coberturas e pontos de colheitas. É de costume nas práticas agrícolas efetuarem manejos baseados em escala de tempo, como dias após semeadura ou emergência. Mas essa prática tem trazido uma redução da eficiência dos insumos agrícolas, principalmente dos herbicidas, comprometendo o bom desenvolvimento das culturas e tendo reflexo negativo na produtividade (KOZLOWSKI, 2002). Bredemeier e Mundstock (2001) afirmam que a adubação de cobertura com N em um período equivocado promove uma redução da produtividade na cultura do milho, devido a um estímulo específico nos componentes da produtividade dos grãos (massa de grãos, número de grãos por espiga e número de espigas por área). O atraso na colheita de grãos do sorgo gera muitos problemas, por exemplo: maior exposição ao ataque de pragas, germinação da semente na planta mãe, devido a chuvas e danos mecânicos na colheita mecanizada (COELHO et al, 2002). Uma mesma espécie pode ter vários híbridos, variedades, cultivares, com ciclos de vida completamente distintos, com isso o manejo baseado na escala de tempo não é o procedimento ideal. Para sucesso das práticas agrícolas, o manejo das culturas deve ser baseado no estágio fenológico das plantas (KOZLOWSKI, 2002).

O crescimento do sorgo pode ser dividido em três etapas. A primeira etapa, a de crescimento, (EC1) vai da germinação até a iniciação da panícula, nessa fase a planta tem um crescimento inicial lento, com isso torna-se susceptível a perdas de produtividade devido à infestação de plantas daninhas. Geralmente o sorgo forrageiro possui um crescimento inicial mais lento que o sorgo granífero. A fase EC2 vai da iniciação da panícula até o florescimento. Já a fase EC3 inicia no florescimento e vai até a maturação fisiológica (MAGALHÃES et al., 2012).

Vanderlip e Reeves em 1972 propuseram uma escala de nove estádios de desenvolvimento da planta de sorgo (MAGALHÃES et al., 2012; RTAM e RTAS, 2013).

Sendo correspondentes as seguintes fases:

- Estádio 0 – Emergência;
- Estádio 1 - Lígula da 3º folha visível;
- Estádio 2 – Lígula da 5º folha visível;
- Estádio 3 – diferenciação do ponto de crescimento;
- Estádio 4 – Folha bandeira visível no verticilo;
- Estádio 5 – Emborrachamento;
- Estádio 6 – 50% da floração;
- Estádio 7 – Grão leitoso;
- Estádio 8 – Grão pastoso;
- Estádio 9 – Maturação fisiológica.

Na diferenciação do ponto de crescimento, inicia-se um rápido alongamento do colmo, geralmente com 7 a 10 folhas completamente desenvolvidas. No emborrachamento todas as folhas encontram-se totalmente desenvolvidas, obtendo assim máxima área foliar e a panícula atinge seu comprimento máximo dentro da bainha da folha bandeira. Na fase de grãos leitosos, os grãos encontram-se com 50% de sua matéria seca acumulada e o peso do colmo começa a diminuir. Já os grãos em estado pastoso estão com 75% da matéria seca acumulada. Na maturação fisiológica os grãos encontram-se com 22 a 23% de umidade (MAGALHÃES et al., 2012).

2.3. Adubação do sorgo

Segundo Fancelli (2010), para o estabelecimento de um programa de adubação eficiente e racional, deve-se conhecer alguns fatores, como: finalidade da produção (forragem ou grãos); produtividade almejada; extração de nutrientes pela planta; marcha de absorção de nutrientes; fenologia; exportação de nutrientes pela colheita; disponibilidade de nutrientes no solo; conhecimento das fontes de nutrientes utilizadas; época adequada de semeadura; sistema de produção adotado (plântio direto ou convencional, irrigado ou de sequeiro); genótipo escolhido (ciclo, teto produtivo e resistência a patógenos); distribuição e população de plantas.

Santos et al. (2014) destaca a importância da adubação de manutenção na cultura do sorgo levando em consideração a particularidade de cada material, grânifero (exportação de nutrientes contidos no grão), silagem, pastejo e biomassa (exportação de nutrientes pela planta inteira). O mesmo autor destaca que a é recente a pesquisa para adubação de sorgo biomassa, sacarino e pastejo.

O conhecimento da extração de nutrientes pelas culturas é importante para auxiliar a tomada de decisão do manejo da adubação. Uma mesma espécie pode ter diferente extração de nutrientes; como podemos observar na Tabela 2, a diferença entre a extração de nutrientes para cada tonelada de massa seca produzida de sorgo biomassa, sacarino e grânifero (MALAVOLTA, 1986; CANTARELLA et al., 1996; SANTOS et al., 2014).

Tabela 2 - Extração de macro e micronutrientes pela cultura do sorgo biomassa, sacarino, grânifero (planta inteira e grãos)

Finalidade	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
	-----kg t ⁻¹ -----						-----g t ⁻¹ -----				
Biomassa	7,6	0,8	10,8	3,6	2,5	0,6	3,5	219,2	49,0	13,5	-
Sacarino	11,1	1,3	14,0	3,0	2,5	0,7	4,4	225,0	26,9	22,7	-
Granífero:											
Planta inteira	30,0	6,0	23,0	-	-	2,7	73	1.893,0	340,0	162,0	100
Grãos	17,0	4,0	5,0	-	-	1,2	-	-	-	-	-

Fonte: Malavolta (1986); Cantarella et al. (1996); Santos et al. (2014).

As Tabelas 3 e 4 sugerem uma recomendação para o sorgo sacarino e biomassa, respectivamente. Essas recomendações foram elaboradas para solos com teores de fosforo e potássio considerados de médios a altos e com a acidez do solo corrigida (SANTOS et al., 2014).

Tabela 3 - Recomendação de adubação de semeadura e cobertura com macronutrientes primários para o sorgo sacarino em solos de fertilidade corrigida

Produtividade almejada	Semeadura			Cobertura	
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	K ₂ O
	-----kg ha ⁻¹ -----				
< 30	20	100	60	100	80
30 - 50	20	140	60	140	100
> 50	20	180	60	160	140

Fonte: Santos et al.(2014).

Tabela 4 - Recomendação de adubação de semeadura e cobertura com macronutrientes primários para o sorgo biomassa em solos de fertilidade corrigida

Produtividade almejada	Semeadura			Cobertura	
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	K ₂ O
t ha ⁻¹ de massa seca	-----kg ha ⁻¹ -----				
< 30	20	80	60	80	40
30 - 50	20	100	60	100	60
> 50	20	120	60	120	80

Fonte: Santos et al. (2014).

Santos et al. (2014) ressaltam que em cultivos como do sorgo, sacarino, biomassa e da silagem, por ser colhida a planta inteira, deve-se ter um cuidado com a fertilidade do solo, acompanhando-a constantemente através de amostragens de solo. Pois a exportação de nutrientes nesses tipos de cultivos é muito grande.

A recomendação de adubação para o sorgo granífero é baseada na produtividade de grãos almejada. A adubação para o sorgo granífero é mais estudada pelos pesquisadores e na literatura possui recomendação para cada região do país e até diretrizes específicas para alguns estados, como para o estado de Minas Gerais (ALVAREZ et al., 1999), São Paulo (CANTARELLA et al., 1996) e Rio Grande do Sul e Santa Catarina (SBCS/CQFS-RS e SC, 2004).

A Tabela 5 é uma sugestão de adubação para a cultura do sorgo forrageiro para o estado de São Paulo. As maiores doses da adubação podem ser usadas para solos de baixa à média fertilidade. Já as menores doses para os solos com alta fertilidade (SANTOS et al., 2014).

Tabela 5 - Recomendações de adubação de semeadura e cobertura para o sorgo granífero em São Paulo

Produtividade almejada	Semeadura			Cobertura	
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	K ₂ O
t ha ⁻¹ de grãos	-----kg ha ⁻¹ -----				
2 - 4	10	20 - 60	0 - 50	10 - 40	-
4 - 6	20	20 - 80	20 - 50	20 - 60	0 - 20
6 - 8	30	30 - 90	30 - 50	40 - 90	0 - 40

Fonte: Cantarella et al (1996).

As adubações de coberturas com nitrogênio e potássio devem ser realizadas com as plantas de sorgo com 4 a 6 folhas completamente desenvolvidas (SANTOS et al., 2014).

Para o enxofre a recomendação de adubação é de 30 kg ha⁻¹ para o sorgo granífero e de 60 kg ha⁻¹ para o sacarino e biomassa devido a uma maior exportação do nutriente via colheita (SANTOS et al., 2014).

Na adubação com micronutrientes, Galvão (2002) sugere um plano de adubação baseado nos níveis de nutrientes no solo (baixo, médio e alto). A Tabela 6 sugere uma adubação a lanço na semeadura, podendo ser realizada também no sulco de semeadura, mas dividindo a dose para 3 cultivos sucessivos.

Tabela 6 - Recomendação de adubação a lanço com micronutrientes para a cultura do sorgo

Nível no solo	Zn	B	Cu	Mn
	-----kg ha ⁻¹ -----			
Baixo	6	2	2	6
Médio	1,5	0,5	0,5	1,5
Alto	-	-	-	-

Fonte: Galvão (2002).

Essa adubação pode gerar um residual por um período de 5 anos, mas deve-se realizar amostragem de solo e foliar para verificação dos teores do micronutrientes, para auxiliar na tomada de decisão para uma nova adubação (SANTOS et al., 2014).

2.4. Função do enxofre na planta

O enxofre (S) é um elemento essencial para as plantas, sendo considerado um macronutriente secundário, mas, em muitas plantas cultivadas, ele apresenta uma extração pela planta muitas vezes superiores a do fósforo (P), como nas culturas do algodão, cana, feijão e do café (VITTI e HEIRINCHS, 2007; STIPP e CASARIN, 2010). Em relação à necessidade de enxofre, as famílias das *Cruciferae* são as mais exigentes desse nutriente, seguindo respectivamente em exigência as famílias das *Leguminosae* e *Gramineae* (MARSCHNER, 2012). O enxofre possui funções estruturais e metabólicas nas plantas (VITTI et al, 2006).

As funções estruturais estão ligadas às formações das proteínas, processo no qual alguns aminoácidos possuem como constituinte o enxofre. O enxofre contribui para a formação de estruturas secundárias das proteínas, ocorrendo através das ligações de dissulfeto (S-S) covalentes, participando, assim, na ligação entre duas cadeias ou para formação de anéis estáveis em uma mesma cadeia. O aminoácido que fornece os dissulfetos é a cisteína. Os grupos sulfídricos (SH) podem funcionar como locais para pontes de hidrogênio. (VITTI et al, 2006; SFREDO, 2008; MARSCHNER, 2012).

As membranas celulares também têm o enxofre como constituinte da sua estrutura, nas quais o SO₄⁻² com polissacarídeos fazem parte da estrutura (PRADO, 2008).

A função metabólica do enxofre é devido a sua participação na formação de aminoácidos livres, aminoácidos das proteínas e compostos de baixo peso molecular. A cistina, a metionina e a cisteína são os aminoácidos em que o S participa de sua constituição, no qual esses aminoácidos participam da formação das proteínas. O S também está presente em vitaminas, como a biotina e a tiamina. O enxofre participa da constituição da ferredoxina, sendo importante nas reações de oxirredução da fotossíntese e na redução do NO_3^- e SO_4^{2-} e na fixação biológica do nitrogênio (VITTI et al, 2006; PRADO, 2008; SFREDO, 2008; MARSCHNER, 2012).

Na deficiência de enxofre ocorre uma diminuição de área foliar, teor de clorofila e de formação de proteínas (CORSI et al, 2007).

2.5. Diagnose nutricional da planta

A diagnose nutricional de uma planta pode ser realizada visualmente ou através de métodos analíticos na folha.

A diagnose visual de deficiência nas plantas em alguns casos é dificultada devido ao fato de poder ocorrer deficiência de mais de um nutriente ou ao mesmo tempo ocorrer uma toxidez por excesso de um nutriente (ROMHELD, 2012). Para auxiliar a identificação da deficiência ou toxidez de um nutriente na planta, é importante ter informações, como resultados de análises de solo, adubações anteriores, condições climáticas e aplicações de defensivos agrícolas (ROMHELD, 2012).

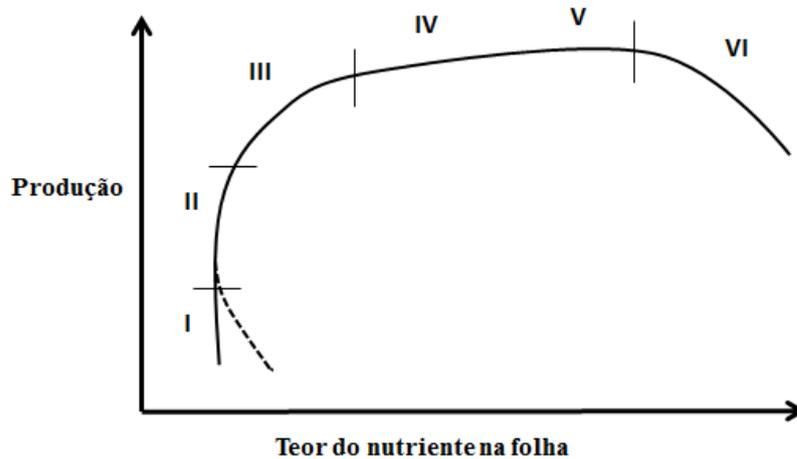
A folha é a principal parte da planta usada para o diagnóstico nutricional, pois é considerada o centro das atividades fisiológicas dentro da planta (MARTINEZ et al, 1999; BATAGLIA e SANTOS, 2001; RAIJ, 2011; ROMHELD, 2012).

A diagnose foliar é mais precisa em relação à visual. Trata-se da análise de uma determinada folha em um estágio fenológico da cultura. Nesse procedimento, através de métodos analíticos, tem-se o teor dos nutrientes no tecido foliar (MARTINEZ et al, 1999).

Segundo Martinez et al (1999), a diagnose nutricional da planta tem sido utilizada geralmente para: a verificação do equilíbrio nutricional; a avaliação do estado nutricional da planta e da possibilidade de resposta as fertilizações; a verificação de uma possível deficiência ou toxidez de nutrientes; a constatação de salinidade elevada em cultivos hidropônicos ou em áreas irrigadas; avaliação e ajuste do programa de adubação.

Há uma relação direta entre o teor foliar e a produção ou crescimento das plantas, em função da fertilidade do solo e/ou doses de fertilizantes (FAQUIN, 2002). A curva construída entre essa relação pode ser dividida em 6 fases (FIGURA 2).

Figura 2 - Relação entre as concentrações de nutrientes e produção ou crescimento.



Fonte: Adaptada de Marschner, 2012.

As zonas I e II são de deficiência severa, ocorrendo grande aumento da produção com redução ou nenhum aumento do nutriente no teor foliar. A ocorrência da redução é devida à diluição do nutriente provocada pelo crescimento da planta. A zona III é de deficiência leve, nessa fase há uma relação direta com o aumento do teor do nutriente na folha com o aumento da produção. A zona IV é considerada adequada, quando o teor do nutriente está relacionado com o máximo da produção. Na zona V, conhecida como “consumo de luxo”, o aumento do nutriente não promove nenhuma mudança da produção. Já na zona VI ocorre toxidez, isto é, quando o aumento do teor do nutriente na folha promove redução na produção (FAQUIN, 2002; ROMHELD, 2012).

Os teores dos nutrientes nas folhas devem ser comparados com teores considerados padrões para cada cultura encontrados na literatura, possibilitando assim determinar o estado nutricional das plantas (MARTINEZ et al, 1999).

Segundo Malavolta et al. (1997), Martinez et al. (1999), Boareto et al. (2009), os teores considerados adequados para a cultura do sorgo estão representados na Tabela 7.

Tabela 7 - Teores foliares de nutrientes considerados adequados para a cultura do sorgo, conforme diferentes autores

	Malavolta et al (1997)	Martinez et al (1999)	Boareto et al (2009)
Macronutrientes	-----g kg ⁻¹ -----		
Nitrogênio	13 – 15	23 - 29	25 - 35
Fosforo	4,0 - 8,0	4,4	2,0 - 4,0
Potássio	25 – 30	13 - 30	14 - 25
Cálcio	4,0 - 6,0	2,1 - 8,6	2,5 - 6,0
Magnésio	4,0 - 6,0	2,6 - 3,8	1,5 - 5,0
Enxofre	0,5 - 1,0	1,6 - 6,0	1,5 - 3,0
Micronutrientes	-----mg kg ⁻¹ -----		
Boro	20	-	4,0 - 20
Cobre	10	10 - 30	5,0 - 20
Ferro	200	68 - 84	65 - 100
Manganês	100	34 - 72	10 - 190
Molibidênio	-	-	0,1 - 0,3
Zinco	20	12 - 22	15 - 50

Fonte: Adaptada de Malavolta et al (1997), Martinez et al (1999) e Boareto et al (2009).

Franco (2011) em trabalhos com o sorgo forrageiro BRS 616, encontrou como teores ideais os teores descritos na Tabela 8.

Tabela 8 - Teores foliares de nutrientes no híbrido de sorgo forrageiro BRS 610

Macronutrientes		Micronutrientes	
	--g kg ⁻¹ --		--mg kg ⁻¹ --
Nitrogênio	23,8	Boro	17
Fosforo	2,8	Cobre	6
Potássio	15,2	Ferro	78
Cálcio	8,6	Manganês	92
Magnésio	2,4	Molibidênio	-
Enxofre	1,3	Zinco	6

Fonte: Adaptado de Franco (2011).

2.6. Características agronômicas da variedade de sorgo BRS Ponta Negra

A cultura do sorgo vem sendo cultivada em todo território nacional, mas ainda apresentando baixos níveis de produtividade. Sendo assim, as instituições de pesquisa vêm desenvolvendo variedades e híbridos com alta produtividade de forragem e/ou de grãos e com boa capacidade de rebrota. Uma dessas variedades é a BRS Ponta Negra, desenvolvida pela Embrapa Milho e Sorgo a partir da seleção em geração segregante de cruzamento, buscando

tolerância à toxicidade de Alumínio e à seca (SANTOS et al, 2007). As características agronômicas da variedade estão descritas na Tabela 9.

Tabela 9 - Características agronômicas da variedade de sorgo BRS Ponta Negra

Tipo	Variedade
Categoria	Forageiro de porte médio
Ciclo	Médio
Florescimento	60 a 75 dias
Maturação	110 a 120 dias
Ponto de silagem	85 a 95 dias
Altura da planta	200 a 250 cm
Tipo de panícula	Semi-aberta
Cor de grão	Marrom clara
Tanino no grão	Presente
Proteína no grão	9,92%
Gordura no grão	2,24%
Cor do endosperma	Branca
Tipo de endosperma	Semiduro
Proteína na folha	16,19%
Acamamento	Resistente
Rendimento de massa verde	60 a 70 Mg ha ⁻¹
Rendimento de massa seca	12 a 15 Mg ha ⁻¹
Rendimento de grãos (sequeiro)	3 a 4 Mg ha ⁻¹
Rendimento de grãos (irrigado)	6 a 8 ha ⁻¹
Antracnose (<i>Colletrotrichum graminicola</i>)	Resistente
Ferrugem (<i>Puccinia purpurea</i>)	Resistente
Cercosporiose (<i>Cercospora fusimaculans</i>)	Resistente
Helminthosporiose (<i>Exserohilum turcicum</i>)	Moderadamente resistente

Fonte: Adaptada de Santos et al. (2007).

Essa variedade é indicada para produção de silagem e corte, seu ponto de colheita para silagem é entorno de 90 dias, sendo, assim, indicada para regiões com curto período de chuva, como a região Nordeste (SANTOS et al, 2007).

2.7. Relação N/S nas plantas

O nitrogênio e o enxofre dentro das plantas estão extremamente relacionados, pois são constituintes das proteínas. Na deficiência de enxofre ocorrerá um acúmulo de nitrogênio não aproveitado (nitrogênio não proteico) e na deficiência de nitrogênio uma parte do enxofre

absorvido pela planta não será aproveitado para formação de alguns aminoácidos, resultando em uma redução na formação de proteínas (CORSI et al, 2007; MARSCHNER, 2012).

A relação N/S nas plantas é uma das principais formas de detecção de deficiência de enxofre, mas deve ser combinada com a avaliação do teor de S no tecido vegetal, pois pode ocorrer uma boa relação N/S com níveis baixos de nitrogênio e enxofre. A relação considerada adequada desses elementos está entre 15 a 17 (MALAVOLTA et al. 1997; CORSI, 2007; MALAVOLTA, 2006).

Nas práticas de adubações, deve-se ter o cuidado de manter uma adubação equilibrada, mantendo uma boa relação de N/S. Segundo Corsi et al (2007), em níveis superiores a 10 mg dm^{-3} de S no solo, deve-se realizar uma adubação com relação de N/S de 16/1 para gramíneas de alta produtividade. Estudos realizados por Bomfim (2005) demonstram que em níveis baixos de S no solo, menor que 10 mg dm^{-3} , a relação de N/S de 10/1 na adubação expressou melhor resultado, devido ao baixo teor de S no solo.

Em solos de alta pluviosidade e altamente lixiviados, a adubação nitrogenada tem sua eficiência reduzida drasticamente devido à baixa concentração de enxofre no solo ou quando não ocorre a adubação sulfatada (MARSCHNER, 2012).

A baixa disponibilidade de S no solo pode promover uma alta relação N/S, promovendo perdas de produtividade e aumentando os níveis de nitrogênio não proteico (NNP), processo no qual o aumento desses níveis pode promover diminuição da eficiência de conversão de alimentos para os animais que se alimentam dessas forragens. O aumento do NNP pode provocar um aumento de pragas, como pulgão verde e cigarrinha das pastagens em gramíneas (CORSI et al 2007).

2.8. Sintoma de deficiência de S no sorgo

A observação de sintomas de deficiência nutricional em alguns casos pode ser confundida com doenças, fitotoxicidades ou distúrbios fisiológicos, sendo assim importante a realização de análises de solo e foliar, para confirmação da possível deficiência (ROMHELD, 2012). Segundo Martinez et al. (1999), os teores foliares considerados ideais de S na cultura do sorgo são entre $1,6$ a 6 g kg^{-1} , e Boareto et al. (2009) consideram os valores de $1,5$ a 3 g kg^{-1} . O período recomendado para coleta do material vegetal para avaliação do seu estado nutricional é entre as fases de emborrachamento e florescimento, coletando-se 30 folhas por área, sendo uma folha por planta, coletada na altura do terço médio (MARTINEZ et al, 1999; RAIJ, 2011).

Na cultura do sorgo, o sintoma de deficiência nutricional devido ao enxofre é observado nas folhas novas e recém-formadas, apresentando uma coloração verde-suave ou amarelo-pálida (FIGURA 3). O sintoma observado nas folhas jovens é devido aos tecidos mais velhos não poderem colaborar para o suprimento do S para os tecidos mais jovens, sendo assim dependendo da absorção do nutriente pelas raízes (MALAVOLTA e DANTAS, 1987).

Figura 3 - Sintoma de deficiência de enxofre na cultura do sorgo.



Foto: Grundon (1987).

2.9. Enxofre no solo

O enxofre no solo possui uma variação de 0,1% para solos minerais e 1% para solos orgânicos, nos quais esse elemento encontra-se de 60 a 90% na forma orgânica (S-aminoácidos, S-carboidratos, S-fenóis, S-lipídeos, S-húmus) (PRADO, 2008)

A forma do enxofre presente no solo a qual as plantas conseguem absorver é a forma do íon sulfato (SO_4^{-2}), o qual permanece na solução do solo, sendo, assim, facilmente lixiviado. Em regiões áridas os sulfatos encontram-se geralmente nas formas de sulfatos de cálcio (CaSO_4), sulfatos de potássio (K_2SO_4) e sulfatos de sódio (Na_2SO_4). Já em regiões úmidas o S encontra-se associado à matéria orgânica, sendo liberado gradativamente para a solução do solo através do processo de mineralização da matéria orgânica do solo (SFREDO, 2008).

A deficiência de enxofre nas plantas cultivadas ocorre por diversos fatores, como: exportação do S via colheitas; uso de fertilizantes concentrados com baixo ou nenhum teor de enxofre; menor uso de agrotóxico contendo enxofre; imobilização do enxofre na matéria orgânica em sistemas de plantio direto ou cultivo mínimo (SFREDO, 2008).

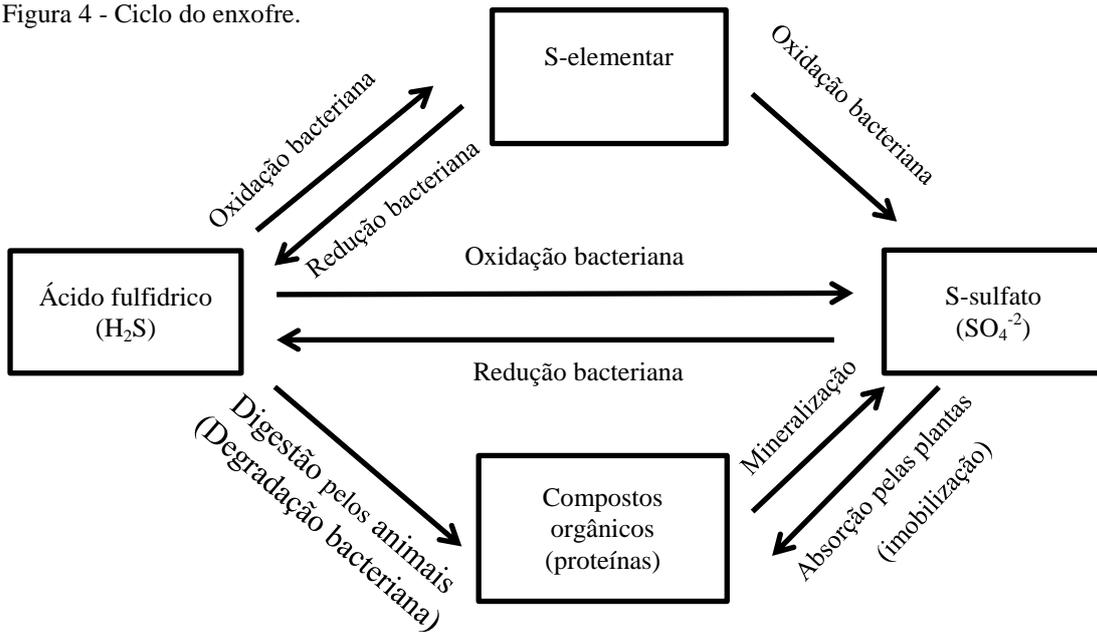
O S pode ser encontrado no solo em vários níveis de oxidação, variando sua valência entre -2 a +6 e formando diversos tipos de compostos, desde Sulfetos (H_2S) (predominando em ambientes anaeróbicos, como pântanos, tendo um odor desagradável, sendo uma das principais características desse gás) a sulfatos (SO_4^{-2}) (sendo a forma absorvível pelas raízes das plantas), assim como demonstra a Tabela 10 e Figura 4 (Suzuki, 1999; VITTI et al., 2006).

Tabela 10 - Estados de oxidação do S no solo

Ambiente	Anaeróbico			Aeróbico	
	S^{-2}	S^0	S^{+2}	S^{+4}	S^{+6}
Estados de Oxidação	H_2S	S	SO	SO_2	SO_3
Composto ou Íons	Sulfeto de Hidrogênio	S Elementar	Monóxido de Enxofre	Dióxido de Enxofre	Trióxido de Enxofre
Formas Hidratadas	HS^-	S^0	H_2SO_2 Ácido Sulfoxílico	H_2SO_3 Ácido Sulfuroso	H_2SO_4 Ácido Sulfúrico
Formas Dissociadas				SO_3^{-2} Sulfito	SO_4^{-2} Sulfato
Condições do solo	Inundado ou compactado			Boa aeração/porosidade	

Fonte: Adaptada de Suzuki 1999; Horowitz, 2003; César 2012.

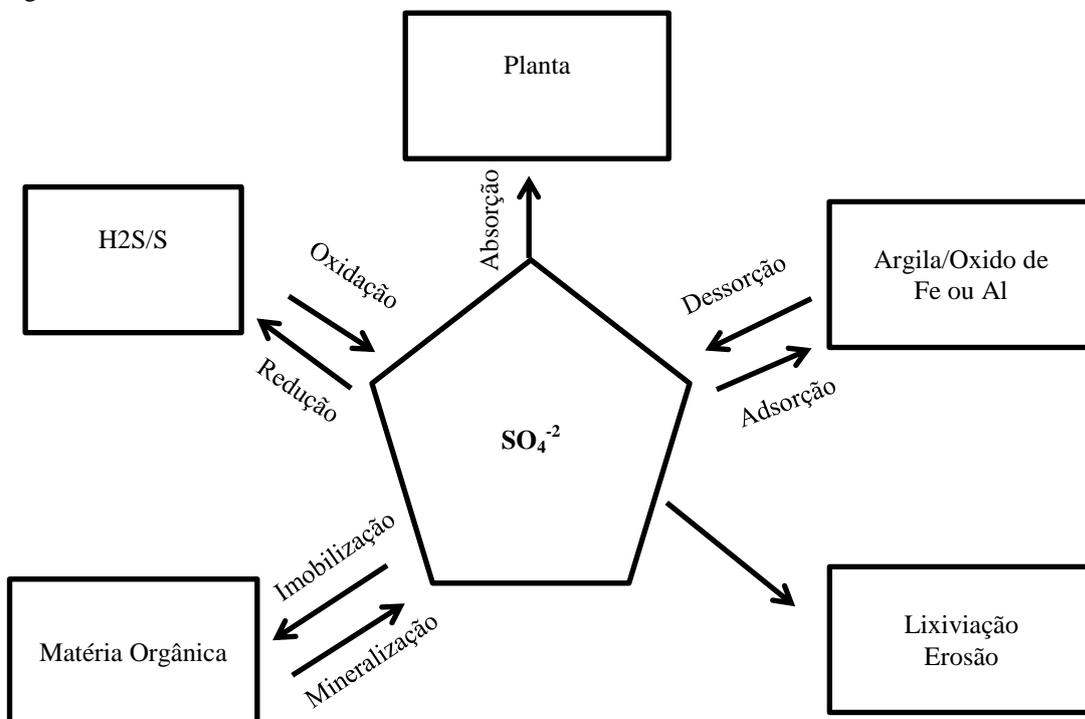
Figura 4 - Ciclo do enxofre.



Fonte: Adaptada de Vitti et al. (2006).

O sulfato é muito dinâmico no solo, no qual fica sujeito a vários fatores, como: redução, adsorção, absorção, imobilização e lixiviação (FIGURA 5).

Figura 5 - Dinâmica do sulfato.



Fonte: Modificada de Horowitz, (2003).

2.10. Produção mundial de enxofre

Em relação às reservas mundiais de enxofre (S), o elemento encontra-se associado ao petróleo, ao gás natural, aos sulfetos de cobre, ao chumbo, ao manganês molibdênio, ao níquel, ao ferro, ao zinco e ao ouro; o S nativo, em rochas sedimentares, arenitos betuminosos e em depósitos vulcânicos (VITTI, e HEIRINCHS, 2007; FONSECA 2013). Na produção mundial de enxofre destaca-se China, Estados Unidos, Rússia e Canadá, como os principais produtores em 2012 (TABELA 11). A produção mundial de enxofre se manteve em 2012 em relação a 2011, na qual um dos fatores foi a estabilização de consumo de rocha fosfática (FONSECA 2013).

Tabela 11 - Produção de enxofre no mundo em 2011 e 2012

Países	Produção			
	2011		2012	
	---mil t---	---%---	---mil t---	---%---
Brasil	478	0.7	500	0.7
China	9700	13.8	9700	13.9
Estados Unidos	8930	12.7	9050	12.9
Rússia	7280	10.3	7300	10.4
Canadá	6520	9.2	6600	9.4
Arábia Saudita	4600	6.5	4600	6.6
Alemanha	3910	5.5	3700	5.3
Japão	3300	4.7	3200	4.6
Cazaquistão	2700	3.8	2700	3.9
Outros países	23082	32.7	22650	32.4
Total	70500	100.0	70000	100.0

Fonte: Fonseca (2013).

Segundo Vitti e Heirinchs (2007), a produção mundial de enxofre é obtida de 70,2% na forma elementar, 6,1% de pirita e 23,7 de outras formas.

O Brasil produziu somente 18% do enxofre consumido no país nos anos de 2011 e 2012, tendo assim que importar esse elemento para atender as suas necessidades. No país a produção de enxofre, concentra-se no processamento de petróleo, formando o S elementar e nos processos metalúrgicos, tendo como subproduto o ácido sulfúrico. Em 2012 a produção foi dividida em 50% de enxofre elementar e o restante, em ácido sulfúrico (FONSECA 2013).

2.11. Adubos que contem enxofre

Os fertilizantes comumente utilizados na agricultura estão apresentados na Tabela 12, na qual os principais são: sulfato de amônio; superfosfato simples; gesso agrícola e sulfato de potássio (STIPP e CASARIN, 2010).

Tabela 12. Fontes comuns de fertilizantes contendo enxofre

Fertilizante	Fórmula química	Teor de S -----%-----
Sulfato de amônio	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	24
Sulperfosfato simples	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	12
Gesso agrícola	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	15 – 18
Enxofre elementar	S	> 85
Sulfato de potássio	K_2SO_4	18
Sulfato de potássio e magnésio	$\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$	22
Sulfato de magnésio (epsomita)	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	13
Tiosulfato de amônio	$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	26
Polissulfeto de amônio	$(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$	40
Kieserita	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	20

Fonte: Vitti e Heirinchs (2007).

No mercado encontra-se outras fontes de fertilizantes contendo enxofre, os quais são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13. Outros fertilizantes contendo enxofre

Material Fertilizante	S	Densidade
	-----%----	---g cm ⁻³ ---
Sulfonitrato de amônio	6	-
Nitrossulfato de amônio	15	-
Uréia + sulfato de amônio	12	-
Uréia revestida com S elementar	10 - 30	-
Sulfuran	4	1,26
Fosfossulfato de amônio	10 - 20	-
S elementar + bentonita	70 - 95	-
Resíduos orgânicos	S	Densidade
	-----%----	---g cm ⁻³ ---
Ajifer	3	1,26
Vinhaça	0,13	1,01

Fonte: Modificada de Vitti e Heirinchs (2007).

O superfosfato simples possui uma alta solubilidade em água e, além de fornecer fósforo, também fornece cálcio e enxofre na forma de sulfato de cálcio (gesso). Sulfato de amônio fornece nitrogênio e enxofre, é uma fonte muito eficiente, pois o S está na forma de SO_4^{-2} (sulfato) estando assim prontamente disponível para absorção das plantas. O gesso é um sal neutro, sendo assim, não promove nenhum efeito sobre o pH do solo, também fornece cálcio e enxofre (sulfato), além de complexar Al^{3+} (tóxico para as plantas), é, assim, um excelente condicionador de subsuperfície. O sulfato de potássio fornece potássio e enxofre, dentre os fertilizantes que contêm K, é o que possui menor índice salino. É muito utilizado em cultivos hidropônicos e em solos naturalmente salinos (FAGERIA e STONE, 1999; STIPPS e CASARIN, 2010).

2.12. O enxofre nos fertilizantes formulados

Hoje há uma tendência de utilização de fertilizantes formulados mais concentrados, pois reduzem custos com transportes, locais de armazenamento e operações no campo de reabastecimentos de fertilizantes. Uma desvantagem dos formulados concentrados são as baixas porcentagens de S na sua composição. Os fertilizantes utilizados nessa mistura são Superfosfato Triplo e/ou MAP, Ureia e/ou Nitrato de Amônio (HOROWITZ E MEURER, 2005; STIPP e CASARIN, 2010).

Já nas formulações com baixas concentrações de N-P-K, geralmente ocorrem altas concentrações de S, devido à sua mistura utilizar como fontes o Superfosfato Simples e o Sulfato de Amônio (HOROWITZ e MEURER, 2005; STIPP e CASARIN, 2010).

Uma alternativa para esse impasse seria a utilização do S-elementar nas formulações mais concentradas, gerando assim ganhos logísticos e fornecimento de enxofre às culturas. Mas esse S-elementar não está na forma prontamente solúvel para a absorção das plantas (S-sulfato), tendo que ocorrer no solo um processo de oxidação do S-elementar para S-sulfato, por ações bióticas e influências abióticas (HOROWITZ E MEURER, 2005; CANTARELLA et al., 2007; STIPP e CASARIN, 2010).

2.13. Fertilizantes constituídos de enxofre elementar

O uso de fertilizantes com S elementar é comum em vários países, como: Austrália, Canadá e Nova Zelândia. Já no Brasil a utilização desses fertilizantes é reduzida (HOROWITZ e MEURER, 2005).

O S-elementar pode ser utilizado na forma de pó (Concentrações de até 99 % de S). Por apresentar uma maior superfície específica, o processo de oxidação ocorre de uma maneira mais rápida em relação aos fertilizantes com S-elementar granulado (superfície específica menor), sendo assim, a forma em pó disponibiliza, em um tempo menor, o S-sulfato para absorção das plantas. Mas a sua forma física dificulta sua aplicação uniforme ao solo (HOROWITZ 2003).

Para melhorar a aplicação do fertilizante, foi desenvolvido o S-elementar granulado, na qual se utiliza argila expansiva, como a bentonita, como agente dispersante (HOROWITZ e MEURER, 2005; BOSWELL et al., 1988). O S-elementar é fundido à argila, formando pastilhas. Essas pastilhas em contato com a água do solo desintegram-se, aumentando a superfície específica e acelerando o processo de oxidação do S-elementar. Segundo McKenzie (2013), esse tipo de fertilizante possui maior eficiência quando aplicado a lanço e deixado sobre a superfície do solo para que ocorra a desagregação, isso devido a sua incorporação ao solo dificultar o processo de desagregação das partilhas de fertilizantes, sendo que após disperso o produto pode se incorporar ao solo.

Outra maneira de utilizar o S-elementar no fertilizante é sua incorporação com fertilizantes comumente utilizados, como o superfosfato triplo (TSP), podendo ocorrer de duas maneiras, primeira: recobrimento dos grânulos de superfosfato triplo, com S-elementar fundido; segunda: incorporação do S-elementar na forma de pó no processo de granulação do

superfosfato triplo (HOROWITZ, 2003). Conforme Horowitz e Meurer (2005), o S-elementar incorporado ao TSP no momento da granulação mostrou-se mais eficiente que os grânulos de TSP cobertos com uma película de S-elementar, considerando-se o processo de oxidação e disponibilização de S-sulfato para a cultura do milho.

2.14. Oxidação do enxofre elementar por fatores bióticos

Existem diversos grupos de microrganismos presentes no solo que possuem capacidade de oxidar o S-elementar, sendo eles classificados como: heterotróficos; quimioautotróficos; fotoautotróficos (GERMIDA e JANZEN, 1993). Em grande parte dos solos com boa aeração, os grupos de microrganismos heterotróficos e os quimioautotróficos possuem maiores importâncias.

. No grupo dos heterotróficos encontram-se espécies de fungos, bactérias e actinomicetos. Esse grupo possui um bom desenvolvimento em pH alcalino. Algumas espécies conhecidas desse grupo são: *Fusarium solani* (fungo); *Achromobacter sp.*(bactéria); *Spretomyces spp* (actinomiceto) (GERMIDA e JANZEN, 1993).

Dentro do grupo dos quimiotróficos destaca-se o gênero de bacterias *Thiobacillus*. As espécies desse gênero que oxidam o S-elementar, sua grande maioria é aeróbica obrigatória. Algumas bactérias do gênero possuem especificidade em relação ao pH do solo, por exemplo, a espécie *T. neapolitanus* que desenvolve-se melhor em pH em torno de 7, e a *T. thiooxidans* em pH abaixo de 5 (WAINWRIGHT e KILLHAM, 1980; WAINWRIGHT, 1984; GERMIDA e JANZEN, 1993).

2.15. Influência dos fatores abióticos sobre a oxidação do enxofre elementar

Fatores abióticos também podem influenciar a oxidação do S-elementar, como: características do solo e fonte de S-elementar.

Entre as características do solo, destacam-se a textura, aeração, temperatura, pH, matéria orgânica e fertilidade (SKIBA E WAINWRIGHT, 1984; GERMIDA e JANZEN, 1993; BOSWELL, 1997; EMBRAPA-CERRADOS, 1997; DONALD e CHAPMAN, 1998; SILVA et al.,1998; HOROWITZ, 2003).

A temperatura é um dos principais fatores de interferência da oxidação do S-elementar. A oxidação mostra-se muito reduzida a temperaturas inferiores a 5°C, a faixa considerada ideal varia entre 30 a 40°C (SKIBA E WAINWRIGHT, 1984; SILVA et

al.,1998). Isso demonstra que fertilizantes à base de S-elementar podem ter diferentes eficiências de acordo com a região, devido ao clima. Outro fator que pode afetar a oxidação é o manejo do solo, como, por exemplo, o plantio direto e o cultivo mínimo que propiciam temperaturas diferentes de solo em relação ao cultivo convencional (solo exposto).

A aeração do solo possui grande influência na oxidação do S-elementar, principalmente pela grande maioria dos microrganismos envolvidos no processo de oxidação serem aeróbicos obrigatórios. A aeração do solo está intimamente relacionada com a umidade do solo. A umidade de solo ideal está entorno da capacidade de campo. Em condições de alta umidade no solo, a aeração fica comprometida, promovendo assim redução na oxidação do S-elementar pelos microrganismos, já com a umidade baixa ocorre boa aeração do solo, mas a baixa disponibilidade de água deduz a atividade microbiana e, consecutivamente, a oxidação do S-elementar (GERMIDA e JANZEN, 1993).

Estudos realizados por Horowitz (2003) em 42 amostras de solos do Brasil demonstraram a capacidade dos solos brasileiros em oxidar o S-elementar, nos quais as condições ambientais (temperatura e umidade) favorecem a oxidação desses fertilizantes principalmente se forem aplicados na forma de pó.

Já a influência da fonte de S-elementar sobre a oxidação ocorre pela forma, tamanho, composição, dispersão e quantidade aplicada. Diversos trabalhos mostram a relação do tamanho da partícula de S-elementar com a taxa de oxidação do S, demonstrando que quanto menor a partícula maior é a oxidação. Isso é devido a partículas menores possuírem maior superfície específica, com isso levando a partícula a uma maior exposição aos microrganismos (BOSWELL, 1997; EMBRAPA-CERRADOS, 1997; DONALD e CHAPMAN, 1998). De acordo com a Embrapa Cerrados (1997), partículas menores que 5 mm possuem eficiência comparada com o gesso agrícola, para o fornecimento de S para a cultura do milho, já partículas superiores a 5 mm não tiveram efeito satisfatório no primeiro ano de cultivo de milho em solos de cerrado brasileiro.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição da Área

O presente estudo foi conduzido na casa-de-vegetação do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, *campus* do Pici em Fortaleza CE. O clima é classificado como Aw conforme a classificação de Köppen (1948). O solo utilizado foi classificado como Cambissolo Eutrofico Tb latossólico, com vegetação nativa classificada como Caatinga hiperxirófila, sendo localizado na Chapada do Apodí, no município de Limoeiro do Norte – CE (LEVANTAMENTO TÉCNICO UFC/DENOS, 1988). O solo foi coletado em uma área nativa, sem uso agrícola, sendo coletado na camada de 0 a 20 cm de profundidade, do qual também foi realizada uma amostragem do solo para a caracterização química e física do (TABELA 14).

Tabela 14 - Caracterização química e física do solo da camada de 0 a 20 cm de profundidade

Prof.	pH Água	H+Al	Al	Ca	Mg	K	CTC	SB	S	P
cm		-----cmol _c dm ⁻³ -----						-----mg dm ⁻³ -----		
0-20	7,39	1,32	0,15	6,80	1,90	0,73	10,80	9,50	10	7
	Fe	Mn	Zn	Cu	V	m	M.O.	argila	silte	areia
	-----mg dm ⁻³ -----				-----%-----		-----g kg ⁻¹ -----			
0-20	2,4	60,1	4,0	0,6	88	2	26,7	234	221	545

3.2. Delineamento Experimental e Tratamentos

O delineamento experimental empregado foi o de inteiramente casualizado (DIC), no esquema fatorial de 4x4, correspondente a 4 fontes de enxofre e 4 doses, com 4 repetições, totalizando 64 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi composta por um vaso, com 4 kg de solo e 3 plantas de sorgo forrageiro por vaso.

No experimento foram utilizados 16 tratamentos com combinações de 4 fontes de S com 4 doses. As fontes foram compostas de fertilizantes contendo Enxofre (S) nas formas de S-elementar e S-sulfato, sendo os tratamentos descritos na Tabela 15.

Tabela 15 - Tratamentos formados pela combinação de doses e fontes de enxofre

Fonte	Dose S (mg kg ⁻¹)	0	40	80	120
		D-0	D1	D2	D3
Superfosfato simples	F1	F1-D0**	F1-D1	F1-D2	F1-D3
Gesso agrícola	F2	F2-D0	F2-D1	F2-D2	F2-D3
S-elementar (granulado)	F3	F3-D0	F3-D1	F3-D2	F3-D3
S-elementar (pó)	F4	F4-D0	F4-D1	F4-D2	F4-D3

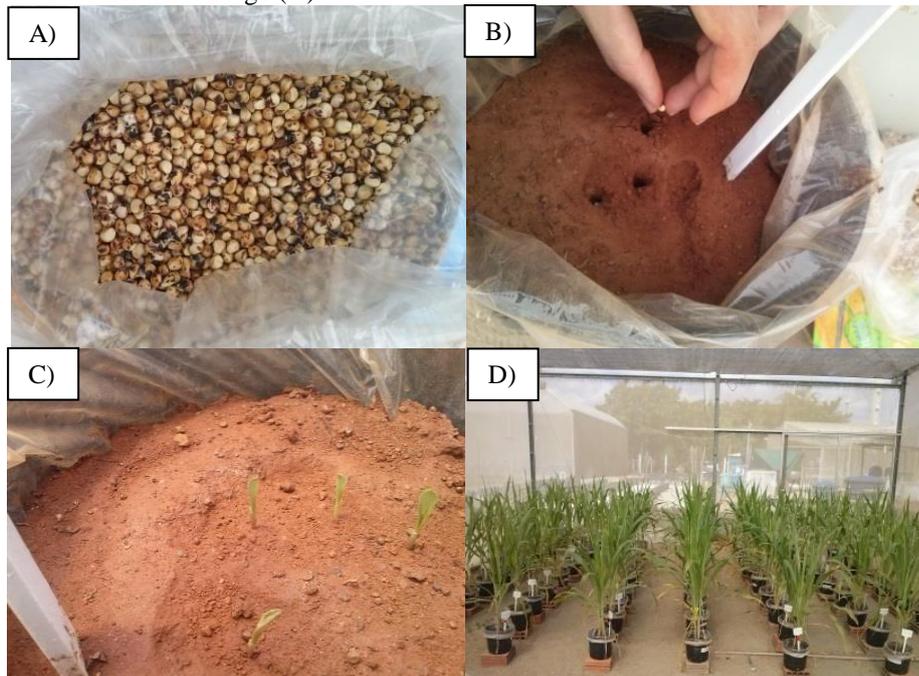
** Leia-se: Tratamento formado pela fonte superfosfato simples e dose de 0 mg dm⁻³ de S. As médias de S dos tratamentos foram calculadas de acordo com a concentração de S dos adubos usados no experimento

3.3. Instalação e Condução do Experimento

Os tratamentos receberam uma adubação com todos os nutrientes com exceção ao S, de forma que atendessem a necessidade nutricional do sorgo. Na semeadura foi aplicada uma dose de 240 mg kg⁻¹ de P₂O₅, aos 7 DAE foram aplicadas 125 e 75 mg kg⁻¹ de N e K₂O, aos 10 DAE foram 3; 6,25; 1,25; 4; 2; 0,25 mg kg⁻¹, respectivamente de Fe, Mn, Cu, Zn, B e Mo e aos 25 DAE foram 125 e 125 mg kg⁻¹ de N e K₂O. Os fertilizantes Superfosfato Simples, Gesso Agrícola, S-elementar (granulado), S-elementar (pó) e Superfosfato Triplo, foram aplicados preservando suas características físicas, para que não fossem favorecidos alguns tratamentos. Os tratamentos com gesso agrícola, S-elementar em (pó) e S-elementar (granulado), tiveram uma adição de superfosfato triplo, para equiparar o fósforo fornecido pelo tratamento com superfosfato simples.

Foi utilizada a variedade de sorgo BRS Ponta Negra, sendo classificada como forrageira de porte médio. Foram utilizados vasos plásticos, sendo adicionados 4 kg de solo, onde foram semeadas no dia 27 de agosto de 2014, 6 sementes a uma profundidade de 3 cm; posteriormente aos 9 DAE, foi realizado um desbaste, deixando-se 3 plantas por vaso (FIGURA 6). As plantas foram colhidas para análise aos 51 dias após a emergência (DAE).

Figura 6 – Sementes de sorgo forrageiro BRS Ponta Negra (A), semeadura (B), emergência das plântulas de sorgo (C) e desenvolvimento do sorgo (D)



Fonte: O autor.

A umidade do solo foi corrigida diariamente para 80% da capacidade de campo, através da pesagem dos vasos, para reposição da água perdida pela evapotranspiração. A capacidade de campo foi mantida a 80% para favorecer o desenvolvimento dos microrganismos que promovem a oxidação do enxofre elementar no solo, garantindo assim uma boa oxigenação do solo. Os vasos foram revestidos por embalagens de polietileno para evitar uma possível lixiviação da solução do solo, pois os vasos possuíam alguns furos.

Foram efetuadas observações diárias quanto há sanidade das plantas. Fez-se necessária aplicação de inseticida para controle de pulgão em algumas plantas, o inseticida utilizado foi K-Othrin sc 25, sendo seu princípio ativo a deltametrina (piretróide).

3.4. Características avaliadas no estudo

3.4.1. Pesos da massa verde e seca da parte aérea

A parte aérea das plantas foi cortada aos 51 DAE, sendo cortadas rente ao solo, após a pesagem da massa verde, os materiais foram colocados em estufa de circulação de ar forçada, a uma temperatura de 65 °C, até atingirem pesos constantes e em seguida, pesados para determinação da massa seca.

3.4.2. Concentrações de macronutrientes na planta

Foram determinadas as concentrações de macronutrientes na parte aérea e raízes do sorgo aos 51 DAE. Os extratos para análises dos teores de P, K, Ca, Mg e S foram submetidos a uma digestão nitroperclórica. Os teores de P foram determinados por colorimetria, K por fotometria de chama, Ca e Mg por espectrofotômetro de absorção atômica e S por turbidimetria (TEDESCO et al., 1995; MALAVOLTA et al., 1997).

O extrato para o N-total foi submetido a uma digestão sulfúrica e determinada a concentração por titulação (método de Kjeldahl) (MALAVOLTA et al., 1997).

3.4.3. Relação N/S na planta

Foi analisada a relação N/S (Nitrogênio e Enxofre totais) na parte aérea, podendo ser considerada como parâmetro de caracterização do estado nutricional das plantas (VITTI et al., 2006).

3.4.4. Concentração de proteína bruta da planta

O teor de proteína bruta foi quantificado para parte aérea e raízes. O método utilizado foi o de Kjeldahl, onde foi determinado o nitrogênio total, efetuando a conversão à proteína bruta utilizando o fator 6,25 (OLIVEIRA et al. 2004).

3.4.5. Índice Relativo de Clorofila (IRC)

Aos 48 DAE foram determinados os índices relativos de clorofila (IRC) (utilizando um clorofilômetro portátil) em 3 folhas de cada unidade experimental, sendo avaliada a 1 folha completamente expandida, contando do ápice para base (FIGURA 7). As leituras foram realizadas no período da manhã, sombreando o aparelho com o corpo para evitar interferência da luz solar.

Figura 7 -Determinação do teor relativo de clorofila nas folhas de sorgo com clorofilômetro.



Fonte: O autor.

3.4.6. Índice de área foliar

A área foliar da folha do sorgo foi determinada através do método direto, em que as folhas foram medidas, utilizando-se um integrador de área foliar, LI-3100 (LI-COR, inc. Lincoln, Nebraska USA) (LI-COR, 1996) (FIGURA 8). Foram medidas todas as folhas das três plantas de cada vaso.

Figura 8 – Determinação de área foliar.



Fonte: O autor.

3.4.7. Teores de macronutrientes no solo

Foram analisados os teores dos macronutrientes, aos 51 DAE. P-disponível foi extraído com Mehlich 1 e determinado o teor por colorimetria, Ca^{+2} e M^{+2} extração foi por $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$ e quantificado por espectrofotômetro de absorção atômica, K^{+} extraído com Mehlich 1 e quantificado por fotometria de emissão de chamas, SO_4^{-2} extraído com fosfato monocalcico a $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ e determinado o teor por turbidimetria (TEDESCO et al., 1995).

3.4.8. pH do solo

Foi realizada análise de pH (H_2O) do solo, para observar possíveis alterações promovidas pelos tratamentos, aos 51 DAE. Sendo quantificado através de medição eletronicamente por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo: líquido de 1;2,5, conforme descrito por EMBRAPA (1997).

3.5. Análises Estatísticas

Quando a interação fontes x doses de enxofre foi significativa foi realizada análise de regressão no desdobramento das doses em cada fonte de S e teste de comparação de médias para fontes de S em cada dose. Os programas estatísticos utilizados foi o SISVAR 5.3 build-77.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1. Pesos de matéria fresca e seca da parte aérea

Nas análises de variância foram constatadas diferenças significativas nas matérias fresca e seca da parte aérea, nas interações fontes x doses (TABELA 16).

Tabela 16 - Resumo da análise de variância para a variável: matéria fresca (MFPA) e seca da parte aérea (MSPA) do sorgo forrageiro, em função das fontes (F) e doses de enxofre (D)

F. V.	G. L.	F	
		MFPA	MSPA
Doses/F1	3	3,354*	4,194*
Regressão Linear	1	3,864 ^{ns}	3,578 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	1,499 ^{ns}	8,617**
Regressão Cúbica	1	4,692*	0,386 ^{ns}
Doses/F2	3	4,060*	10,538**
Regressão Linear	1	8,752**	21,982**
Regressão Quadrática	1	2,076 ^{ns}	5,431*
Regressão Cúbica	1	1,352 ^{ns}	4,201*
Doses/F3	3	2,029 ^{ns}	3,018*
Regressão Linear	1	4,564*	8,677**
Regressão Quadrática	1	0,000 ^{ns}	0,275 ^{ns}
Regressão Cúbica	1	1,523 ^{ns}	0,101 ^{ns}
Doses/F4	3	7,672**	7,049**
Regressão Linear	1	6,658*	4,49*
Regressão Quadrática	1	2,951 ^{ns}	0,006 ^{ns}
Regressão Cúbica	1	13,408**	16,649**
Resíduo	48	-	-
CV (%)	-	2,65	2,40

^{ns} e ^{**} referem-se a não significativo, significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente pelo teste F.

F. V.: fator de variação, G. L.: graus de liberdade, MFPA: matéria fresca parte aérea, MSPA: matéria seca parte aérea, Doses/F1: doses dentro da fonte (superfosfato simples), Doses/F2: doses dentro da fonte (gesso agrícola), Doses/F3: doses dentro da fonte (S-elementar (granulado)), Doses/F4: doses dentro da fonte (S-elementar (pó)), CV: coeficiente de variação.

Na matéria fresca da parte aérea (MFPA), a interação fontes x doses de enxofre propiciaram um maior aumento no peso das plantas com o S-elementar na forma de pó na dose de 80 mg kg⁻¹ de S e superfosfato simples na dose de 40 mg kg⁻¹ de S (TABELA 17).

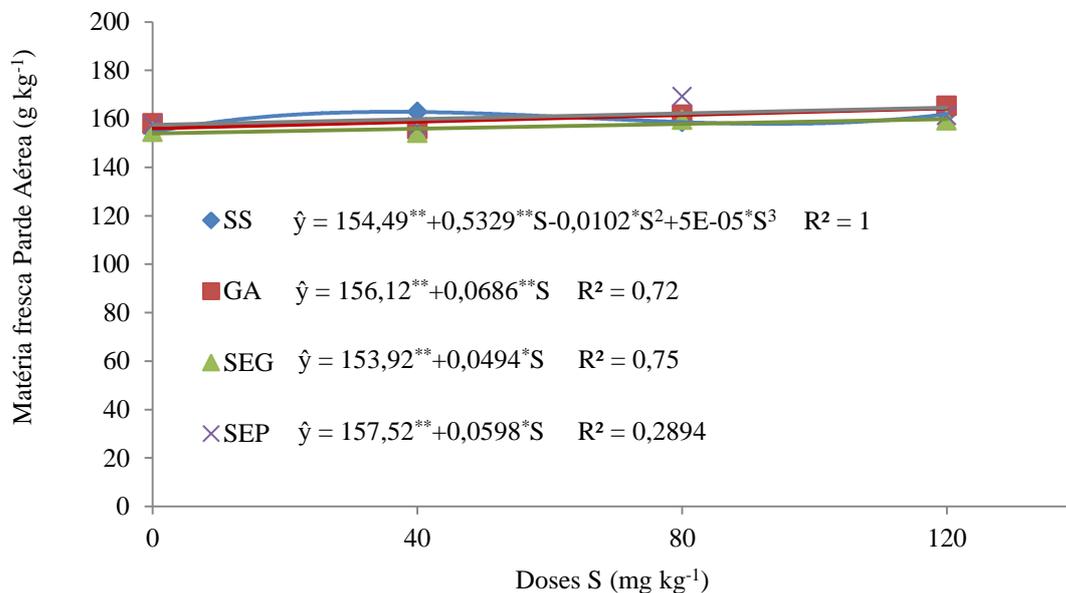
Tabela 17 - Desdobramento da interação entre fontes e doses de enxofre, sobre matéria fresca da parte aérea do sorgo forrageiro, aos 51 DAE. Sendo mensuradas as três plantas de cada vaso

Fontes	Doses de S (mg kg ⁻¹)			
	0	40	80	120
-----Matéria Fresca Parte Aérea (g vaso ⁻¹)-----				
Superfosfato Simples	154,49 a	162,85 a	158,66 b	161,96 a
Gesso Agrícola	158,16 a	155,76 ab	161,73 ab	165,30 a
S-Elementar (granulado)	154,49 a	154,19 b	159,59 b	149,28 a
S-Elementar (pó)	157,43 a	156,60 ab	169,16 a	161,21 a

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os comportamentos das doses dentro de cada fonte tiveram incrementos crescentes de matéria fresca na parte aérea, tendo uma tendência de regressão linear nas fontes: gesso agrícola, S-elementar granulado e S-elementar (pó) (FIGURA 9). Sendo que a cada 1 mg kg⁻¹ adicionada de S aumentou 0,0686; 0,0494; 0,0598 g kg⁻¹ MFPA, respectivamente gesso agrícola, S-elementar (granulado) e S-elementar (pó).

Figura 9 - Efeito das doses nas fontes de enxofre: superfosfato simples, gesso agrícola, S-elementar em pó e granulado, na matéria fresca da parte aérea do sorgo forrageiro, aos 51 DAE. Sendo mensuradas as três plantas de cada vaso.



** e * : significativos a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente pelo teste t. SS: superfosfato simples, GA: gesso agrícola, SEG: S-elementar granulado, SEP: S-elementar pó.

Na produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), as maiores interações entre fontes x doses, também ocorreram com o S-elementar na forma de pó na dose de 80 mg kg⁻¹ de S e o superfosfato simples na dose de 40 mg kg⁻¹ de S (TABELA 18).

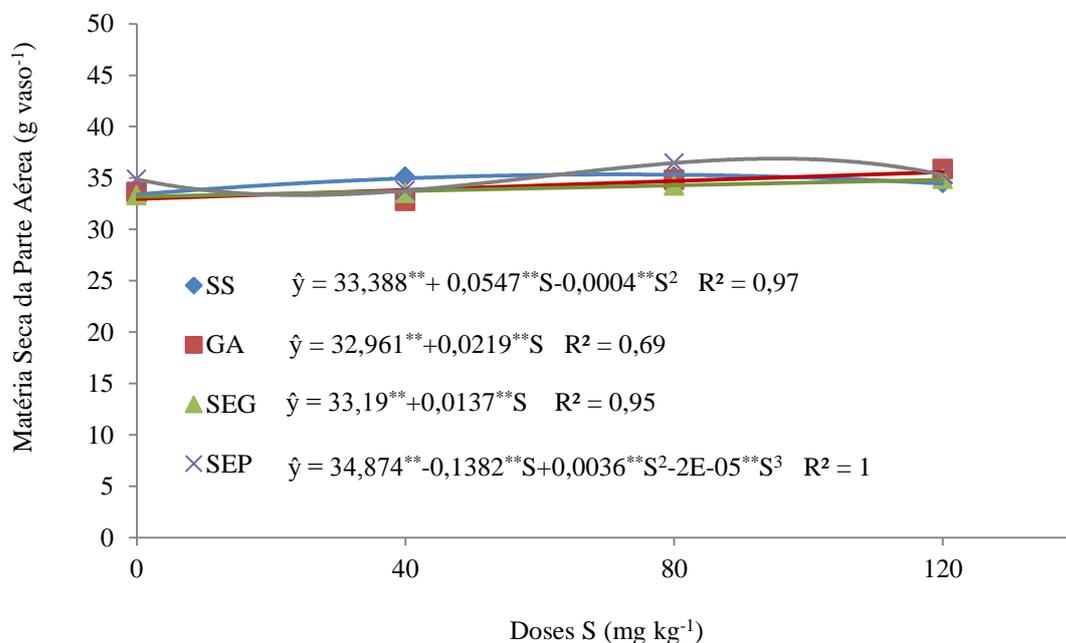
Tabela 18 - Desdobramento da interação entre fontes e doses de enxofre, sobre matéria seca da parte aérea do sorgo forrageiro, aos 51 DAE. Sendo mensuradas as três plantas de cada vaso

Fontes	Doses de S (mg kg ⁻¹)			
	0	40	80	120
-----Matéria Seca Parte Aérea (g vaso ⁻¹)-----				
Superfosfato Simples	33,33 a	35,14 a	35,14 ab	34,50 a
Gesso Agrícola	22,64 a	32,78 b	34,80 b	35,88 a
S-Elementar (granulado)	33,33 a	33,54 b	34,29 b	34,92 a
S-Elementar (pó)	34,87 a	33,78 ab	36,46 a	35,30 a

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O aumento das doses de enxofre em relação a cada fonte tiveram incrementos na produção de matéria seca, obtendo tendência linear para gesso agrícola e S-elementar (granulado), conforme as equações cada 1 mg kg⁻¹ de S proporciona um aumento de 0,0219 e 0,0137 g MSPA, respectivamente gesso agrícola e S-elementar (granulado) (FIGURA 10). Já o superfosfato simples teve tendência quadrática e enquanto o S-elementar (pó) teve tendência cúbica (FIGURA 10).

Figura 10 - Efeito das doses nas fontes de enxofre: superfosfato simples, gesso agrícola, S-elementar em pó e granulado, na matéria seca da parte aérea do sorgo forrageiro, aos 51 DAE. Sendo mensuradas as três plantas de cada vaso.



** : significativos a 1 % de probabilidade pelo teste t. SS: superfosfato simples, GA: gesso agrícola, SEG: S-elementar granulado, SEP: S-elementar pó.

Em estudos com doses de enxofre associadas a doses de nitrogênio, diversos autores encontraram efeitos positivos nas produções de matéria seca da parte aérea de

gramíneas, como capim-Marandu (ARTUR 2010, BATISTA e MONTEIRO 2006), capim-Braquiária (BONFIM-DA-SILVA 2005). Já Osorio Filho (2006) em um cultivo de sorgo em casa de vegetação com quatro tipos de solo e quatro níveis acumulados de sulfato, não observou diferença estatística na produção de matéria seca, apesar da absorção linear positiva de S, sendo explicado pelo “consumo de luxo” da absorção do enxofre pela planta.

Resende et al. (2011) em estudos realizados com doses de enxofre na cultura do alho, encontraram ganhos de massa seca das folhas e na produtividade média de bulbos, com o aumento das doses de enxofre aplicadas no solo. Almeida et al. (2014) utilizando gesso agrícola como fonte de enxofre, constataram aumento de produção de matéria seca do capim-Braquiária.

Foi verificado que as adubações com enxofre favoreceu o aumento da massa fresca e seca da parte aérea do sorgo, sendo importante para produção de forragem para os animais.

4.2. Concentrações de macronutrientes na planta

As concentrações de enxofre na parte aérea foram significativas para as fontes e doses de enxofre, já no nitrogênio não foi significativas para as fontes, doses e interações (TABELA 19). O enxofre na raiz foi significativo na interação entre fontes x doses (TABELA 20). Já para fósforo na parte aérea e raiz, foram significativos somente para fontes, entretanto para potássio, cálcio e magnésio na parte aérea e raiz não foram encontradas diferenças significativas (TABELA 21).

Tabela 19 - Resumo da análise de variância para as variáveis: nitrogênio e enxofre na parte aérea, em função das fontes de enxofre (F) e doses de enxofre (D)

F. V.	G. L.	F	
		S na parte aérea	N na parte aérea
Fontes (F)	3	6,439**	0,517 ^{ns}
Doses (D)	3	16,107**	0,304 ^{ns}
Interação F x D	9	1,016 ^{ns}	0,291 ^{ns}
Resíduo	48	-	-
CV (%)	-	7,54	3,11

^{ns} e ^{**} referem-se a não significativo, significativo a 1% de probabilidade, respectivamente pelo teste F.

F. V.: fator de variação, G. L.: graus de liberdade e CV: coeficiente de variação.

Tabela 20 - Resumo da análise de variância para a variável: enxofre na raiz, em função das fontes de enxofre (F) e doses de enxofre (D)

F. V.	G. L.	F	
		S na raiz	
Doses/F1	3	43,165 ^{**}	
Regressão Linear	1	124,211 ^{**}	
Regressão Quadrática	1	2,402 ^{ns}	
Regressão Cúbica	1	2,883 ^{ns}	
Doses/F2	3	84,379 ^{**}	
Regressão Linear	1	249,140 ^{**}	
Regressão Quadrática	1	0,388 ^{ns}	
Regressão Cúbica	1	3,609 ^{ns}	
Doses/F3	3	10,206 ^{**}	
Regressão Linear	1	26,248 ^{**}	
Regressão Quadrática	1	0,607 ^{ns}	
Regressão Cúbica	1	3,764 ^{ns}	
Doses/F4	3	78,179 ^{**}	
Regressão Linear	1	199,145 ^{**}	
Regressão Quadrática	1	32,951 ^{**}	
Regressão Cúbica	1	2,441 ^{ns}	
Resíduo	48	-	
CV (%)	-	5,51	

^{ns} e ^{**} referem-se a não significativo, significativo a 1% de probabilidade, respectivamente pelo teste F.

F. V.: fator de variação, G. L.: graus de liberdade, Doses/F1: doses dentro da fonte (superfosfato simples), Doses/F2: doses dentro da fonte (gesso agrícola), Doses/F3: doses dentro da fonte (S-elementar (granulado)), Doses/F4: doses dentro da fonte (S-elementar (pó)), CV: coeficiente de variação.

Tabela 21 - Resumo da análise de variância para as variáveis: fósforo na parte aérea, fósforo na raiz, potássio na parte aérea e potássio na raiz do sorgo forrageiro, em função das fontes de enxofre (F) e doses de enxofre (D)

F. V.	G. L.	F			
		P parte aérea	P raiz	K parte aérea	K raiz
Fontes (F)	3	9,050 ^{**}	2,839 [*]	0,827 ^{ns}	1,296 ^{ns}
Doses (D)	3	3,169 ^{ns}	2,046 ^{ns}	0,341 ^{ns}	1,084 ^{ns}
Interação F x D	9	0,327 ^{ns}	1,378 ^{ns}	1,033 ^{ns}	0,439 ^{ns}
Resíduo	48	-	-	-	-
CV (%)	-	9,03	10,21	7,74	9,78

^{ns}, ^{**} e ^{*} referem-se a não significativo, significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente pelo teste F.

F. V.: fator de variação, G. L.: graus de liberdade e CV: coeficiente de variação.

Tabela 22 - Resumo da análise de variância para as variáveis: cálcio na parte aérea, cálcio na raiz, magnésio na parte aérea e magnésio na raiz do sorgo forrageiro, em função das fontes de enxofre (F) e doses de enxofre (D)

F. V.	G. L.	F			
		Ca na parte aérea	Ca na raiz	Mg na parte aérea	Mg na raiz
Fontes (F)	3	1,989 ^{ns}	0,072 ^{ns}	2,631 ^{ns}	2,681 ^{ns}
Doses (D)	3	0,277 ^{ns}	0,959 ^{ns}	0,845 ^{ns}	0,991 ^{ns}
Interação F x D	9	1,196 ^{ns}	1,404 ^{ns}	0,588 ^{ns}	0,849 ^{ns}
Resíduo	48	-	-	-	-
CV (%)	-	9,14	8,85	9,63	9,71

^{ns} refere-se a não significativo pelo teste F.

F. V.: fator de variação, G. L.: graus de liberdade e CV: coeficiente de variação.

A comparação das médias das fontes na concentração de S na parte aérea, demonstraram uma maior absorção desse nutriente através da aplicação de superfosfato simples, gesso agrícola e S-elementar (pó), sendo que não diferiram entre si (TABELA 23). Entretanto o S-elementar (granulado) teve a menor média de concentração de S na parte aérea do sorgo.

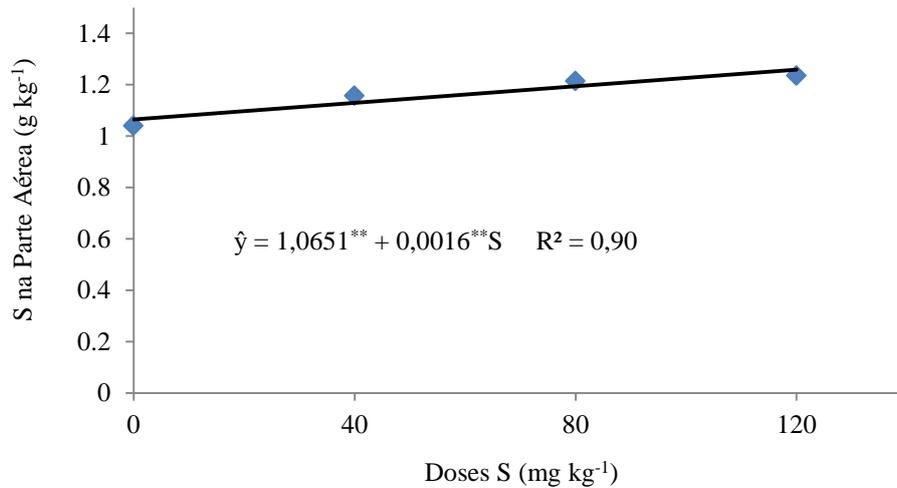
Tabela 23 - Comparação de médias das fontes de enxofre, para a variável: concentração de enxofre na parte aérea do sorgo forrageiro, aos 51 DAE

Fontes	S na parte aérea
	-----g kg ⁻¹ -----
Superfosfato Simples	1,20 a
Gesso Agrícola	1,20 a
S-Elementar (granulado)	1,08 b
S-Elementar (pó)	1,17 a
DMS	0,08225

Médias seguidas da mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O efeito isolado das doses propiciou um aumento linear na concentração de S na parte aérea com o aumento das doses de S, sendo que cada 1 mg kg⁻¹ de S aplicada proporcionou um aumento de 0,0016 g kg de S na parte aérea do sorgo (FIGURA 11).

Figura 11 – Efeito das doses de enxofre na concentração de enxofre na parte aérea do sorgo forrageiro, aos 51 DAE.



** : significativos a 1 % de probabilidade, pelo teste t.

Bonfim-da-Silva (2005) encontrou aumento da concentração de S em gramíneas com o aumento das doses de S aplicadas no solo. Diferentemente Czicza et al. (2008) não encontraram aumentos na concentração de S, mas observaram ganhos de produtividade de grãos de milho com as fontes de enxofre.

No S na raiz a interação entre as fontes x doses, destacaram-se com maiores valores da concentração de S as fontes: gesso agrícola e S-elementar (pó) na dose de 120 mg kg⁻¹ de S e com o S-elementar (pó) nas doses 40 e 80 mg kg⁻¹ de S (TABELA 24).

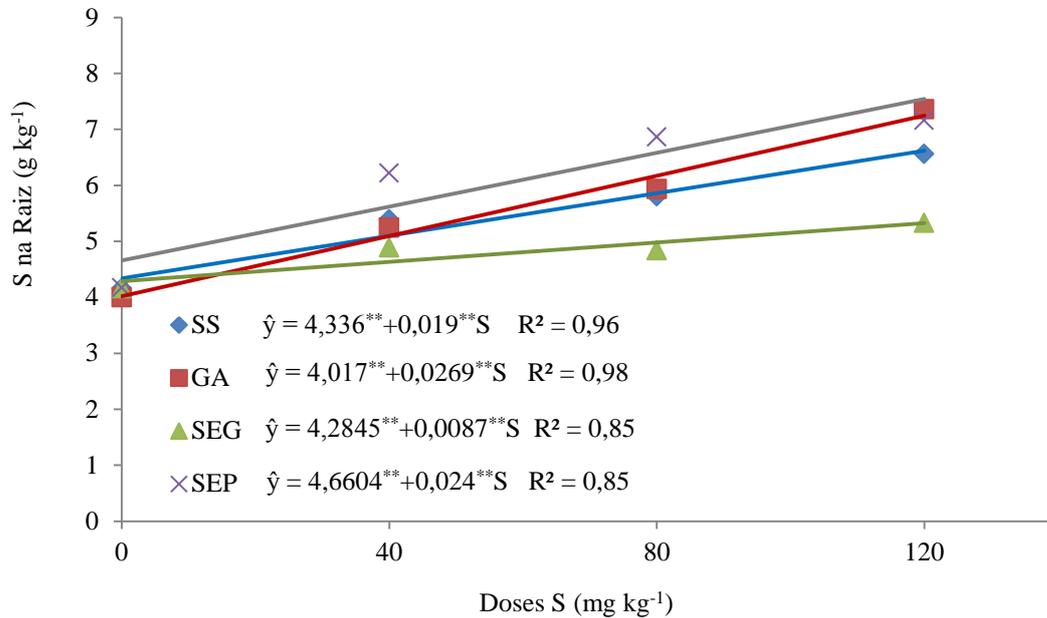
Tabela 24 – Desdobramento da interação entre fontes e doses de enxofre, sobre concentração de enxofre na raiz do sorgo forrageiro, aos 51 DAE

Fontes	Doses de S (mg kg ⁻¹)			
	0	40	80	120
	-----S na Raiz (g kg ⁻¹)-----			
Superfosfato Simples	4,16 a	5,39 b	5,80 b	6,56 b
Gesso Agrícola	4,00 a	5,24 b	5,92 b	7,36 a
S-Elementar (granulado)	4,15 a	4,89 b	4,84 c	5,33 c
S-Elementar (pó)	4,17 a	6,22 a	6,86 a	7,16 a

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Observando o efeito das doses sobre cada fonte, todas as fontes tiveram aumentos nas concentrações de S na raiz do sorgo, com ajuste de regressão linear (FIGURA 12). Para cada 1 mg de S adicionado ao solo, promove um aumento de 0,019; 0,0269; 0,0087; 0,024 g kg⁻¹ de S na raiz, respectivamente superfosfato simples, gesso agrícola, S-elementar (granulado) e S-elementar (pó) (FIGURA 12).

Figura 12 – Efeito das doses nas fontes de enxofre: superfosfato simples, gesso agrícola, S-elementar em pó e granulado, na concentração de enxofre na raiz do sorgo forrageiro, aos 51 DAE.



** : significativos a 1 % de probabilidade, pelo teste t. SS: superfosfato simples, GA: gesso agrícola, SEG: S-elementar granulado, SEP: S-elementar pó.

As concentrações de fósforo na parte aérea e raiz do sorgo foram maiores com a utilização do S-elementar na forma de pó e superfosfato simples (TABELA 25). Apesar de não diferirem estatisticamente, à média do S-elementar em pó foi maior que a média do superfosfato simples.

eTabela 25 – Comparação de médias das fontes de enxofre, para a variável: fósforo na parte aérea do sorgo forrageiro, aos 51 DAE

Fontes	P na parte aérea		P na raiz
	-----g kg ⁻¹ -----		
Superfosfato Simples	1,15	ab	0,87 ab
Gesso Agrícola	1,07	bc	0,84 b
S-Elementar (granulado)	1,02	c	0,85 ab
S-Elementar (pó)	1,18	a	0,93 a
DMS	0,09425		0,08395

Médias seguidas da mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O enxofre elementar no seu processo de oxidação libera H⁺ o qual reduz o pH do solo e ajuda a disponibilizar o fósforo nativo em solos alcalinos e aumenta à liberação de P em alguns adubos fosfatados. Já o gesso e o S-elementar granulado tiveram menores

concentrações de P na parte aérea e raízes das plantas (TABELA 25). O solo do presente estudo possui alto teor de Ca, e o gesso tem alta concentração de cálcio (30%), proporcionando assim um maior aumento de Ca^{+2} no solo, podendo precipitar assim o H_2PO_4^- (disponível para as plantas) em CaHPO_4 (insolúvel) deixando indisponível para a absorção das plantas. Com o S-elementar granulado com argila, pode ter ocorrido alguma fixação de fósforo na argila do fertilizante, diminuindo assim a disponibilidade do nutriente para as plantas.

Cesar (2012) observou em estudos realizados com fontes de fósforo e doses de enxofre elementar no feijoeiro, que a aplicação de enxofre elementar aumentou o acúmulo de P na parte aérea, devido a maior solubilização dos fertilizantes. Frandoloso et al. (2010), também em estudos com fontes de fósforo e enxofre elementar, constatou aumento da eficiência dos adubos fosfatados com a associação de enxofre elementar.

Com relação às concentrações dos demais macronutrientes, corroborando com o resultado Moreira et al. (1997) também não encontraram diferenças nas concentrações de K, Ca e Mg na cultura da alfafa, em estudos com doses de enxofre. Czicza et al. (2008) com a utilização de fontes de enxofre nas formas de sulfato e elementar, não observou diferença estatística na concentração de macronutrientes no tecido foliar do milho.

4.3. Relação N/S e teor de proteína bruta na parte aérea

Na Tabela 26 estão representados os resultados da análise de variância, e foram costatadas diferenças significativas para relação nitrogênio e enxofre (N/S) para fontes e doses de enxofre, já no teor de proteína bruta (PB) não foi encontrada diferença significativa.

Tabela 26 – Resumo da análise de variância para as variáveis: relação nitrogênio/enxofre e teor de proteína bruta na parte aérea do sorgo forrageiro, em função das fontes de enxofre (F) e doses de enxofre (D)

F. V.	G. L.	F	
		N/S	Teor de Proteína Bruta
Fontes (F)	3	6,368**	0,517 ^{ns}
Doses (D)	3	18,181**	0,305 ^{ns}
Interação F x D	9	1,235 ^{ns}	0,291 ^{ns}
Resíduo	48	-	-
CV (%)	-	7,46	3,11

^{ns}, e ^{**} referem-se a não significativo, significativo a 1% de probabilidade, respectivamente pelo teste F. F. V.: fator de variação, G. L.: graus de liberdade e CV: coeficiente de variação.

As médias dos valores da N/S da parte aérea em relação às fontes de enxofre aplicadas obtiveram um maior valor para o S-elementar (granulado) (TABELA 27). Os menores valores da relação N/S foram com o superfosfato simples, gesso agrícola e S-elementar (pó), isso significa que ocorreu uma maior absorção de S pelas plantas, por essas fontes.

Tabela 27 – Comparação de médias das fontes de enxofre, para a variável: relação nitrogênio/enxofre na parte aérea do sorgo forrageiro, aos 51 DAE

Fontes	N/S na parte aérea
Superfosfato Simples	13,01 b
Gesso Agrícola	13,12 b
S-Elementar (granulado)	14,40 a
S-Elementar (pó)	13,35 b
DMS	0,94548

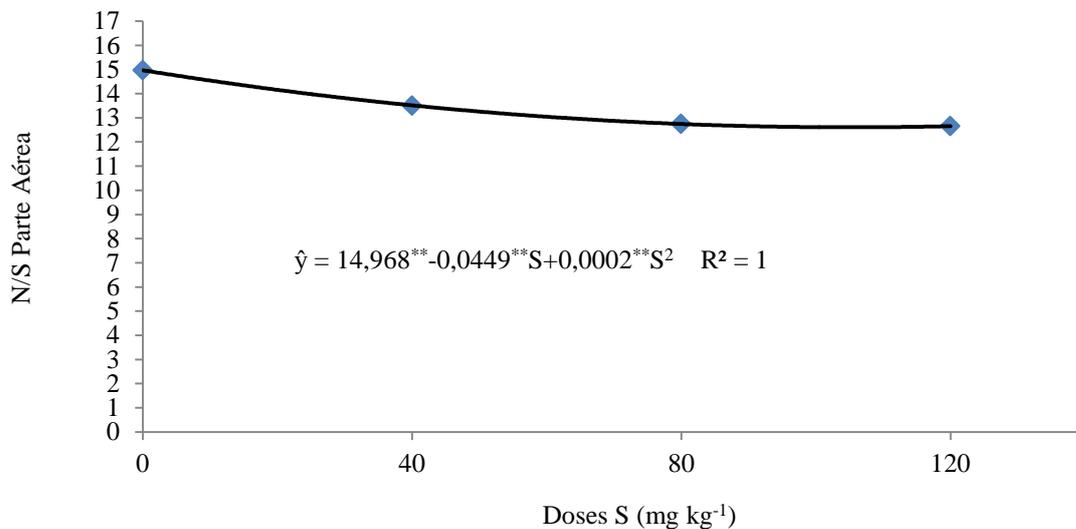
Médias seguidas da mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Apesar do fertilizante S-elementar granulado, ter obtido maior média na N/S, esse valor 14,40 (TABELA 26), permaneceu um pouco abaixo da relação considerada ideal para as plantas que é entre 15 a 17 (MALAVOLTA et al., 1997; CORSI, 2007; MALAVOLTA, 2006). Monteiro e Carriel (1987) afirmam que relação N/S acima de 20/1 corresponde à faixa de deficiência de enxofre em gramíneas. Corroborando com o estudo, pois não foi observado deficiência de enxofre no sorgo forrageiro.

Já Batista (2002) encontrou efeito do enxofre em interação com o nitrogênio na relação N/S no capim-Marandu. Diferentemente Bonfim-da-Silva (2005) em estudos com interação de doses de N e S no capim-Braquiária, não encontrou efeito do enxofre na relação N/S, observou somente o efeito isolado das doses de N.

O aumento das doses de enxofre promoveu uma redução dos valores da N/S da parte aérea do sorgo (FIGURA 13).

Figura 13 – Efeito das doses de enxofre na relação nitrogênio enxofre (N/S) na parte aérea do sorgo forrageiro, aos 51 DAE.



** : significativos a 1 % de probabilidade, pelo teste t.

Em relação à proteína bruta (PB) na parte aérea a média geral foi de 9,67%. Mello et al. (2003) em estudos de épocas de corte de sorgo forrageiro, encontraram um valor médio de 7,78 de PB para o corte aos 50 DAE. O valor superior de PB desse estudo pode ser devido à dose maior de nitrogênio e/ou a variedade de sorgo forrageiro.

Moreira et al. (1997) e Malavolta et al. (1984) não encontraram efeitos das doses de enxofre no valor de proteína bruta nos cultivos realizados. Entretanto Cunha et al. (2001) em estudo em campos naturais no Rio Grande do Sul, encontraram aumento do teor PB com a associação de enxofre e nitrogênio.

O nitrogênio possui maior relação com o aumento do teor de PB, ajustando-se geralmente a regressões lineares, sendo constatado por diversos autores (MOREIRA et al., 2009; QUADROS e RODRIGUES, 2006; RODRIGUES, 2002; ANDRADE et al., 1996). Mas o enxofre também possui relação com a PB, pois é constituinte essencial das proteínas (VITTI et al, 2006; PRADO, 2008, SFREDO, 2008, MARSCHNER, 2012). Em condições de deficiência de S ocorre redução na formação de proteína nas plantas (CORSIS et al, 2007; MARSCHNER, 2012).

4.4. Índice relativo de clorofila e índice de área foliar

O índice relativo de clorofila e índice de área foliar do sorgo, não foram observadas diferenças significativas (TABELA 28). Demonstrando que o teor de clorofila e o índice de área foliar, não sofreram influências das fontes e doses de enxofre aplicado como fertilizante no solo.

Tabela 28 – Resumo da análise de variância para as variáveis: teor de clorofila e área foliar, em função das fontes de enxofre (F) e doses de enxofre (D). Sendo mensuradas as três plantas de cada vaso

F. V.	G. L.	F	
		Índice Relativo de Clorofila	Índice de Área Foliar
Fontes (F)	3	1,459 ^{ns}	2,1553 ^{ns}
Doses (D)	3	1,260 ^{ns}	0,1343 ^{ns}
Interação F x D	9	1,093 ^{ns}	1,2113 ^{ns}
Resíduo	48	-	-
CV (%)	-	5,48	7,15

^{ns} refere-se a não significativo pelo teste F.

O índice relativo de clorofila e de área foliar não sofreram influências pelas doses e fontes de enxofre, provavelmente devido os teores nativos de enxofre do solo ter sido suficiente para o desenvolvimento do sorgo forrageiro nas condições experimentais.

Diferentemente Lavres Junior et al. (2008) encontraram uma influência positiva das doses de S em relação ao teor de clorofila do capim-Marandu. Bonfim-da-Silva (2005) observou aumento do teor de clorofila no capim-Braquiária com a aplicação de nitrogênio associado com enxofre. O enxofre possui relação com a fotossíntese, pois participa da constituição da ferredoxina, sendo importante nas reações de oxirreduções (VITTI et al, 2006; PRADO, 2008, SFREDO, 2008, MARSCHNER, 2012).

Em estudos com capim-Braquiária Bonfim-da-Silva (2005) constatou que o maior incremento na área foliar foi quando se associou enxofre com nitrogênio, sendo superior aos tratamentos contendo somente nitrogênio, o mesmo resultado foram encontrados por Batista e Monteiro (2006) em estudos com capim-Marandu.

4.5. Teores de macronutrientes e pH do solo

Conforme os resultados das análises de variância, o cálcio e enxofre no solo foram significativos para interação entre fontes x doses (TABELA 29). Já o fósforo, potássio,

magnésio e pH do solo não foram significativos, com exceção do pH que foi significativo para fontes e doses de enxofre (TABELA 30).

Tabela 29 – Resumo da análise de variância para as variáveis: cálcio e enxofre no solo, em função das fontes de enxofre (F) e doses de enxofre (D)

F. V.	G. L.	F	
		Ca	S
Doses/F1	3	16,996**	18,167**
Regressão Linear	1	39,872**	49,827**
Regressão Quadrática	1	6,992*	1,875 ^{ns}
Regressão Cúbica	1	4,123*	2,800 ^{ns}
Doses/F2	3	7,739**	18,151**
Regressão Linear	1	20,769**	54,286**
Regressão Quadrática	1	0,026 ^{ns}	0,140 ^{ns}
Regressão Cúbica	1	2,422 ^{ns}	0,026 ^{ns}
Doses/F3	3	0,333 ^{ns}	0,195 ^{ns}
Regressão Linear	1	0,032 ^{ns}	0,079 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	1,952 ^{ns}	0,505 ^{ns}
Regressão Cúbica	1	0,287 ^{ns}	0,001 ^{ns}
Doses/F4	3	0,757 ^{ns}	8,701**
Regressão Linear	1	39,872**	24,678**
Regressão Quadrática	1	6,992*	0,949 ^{ns}
Regressão Cúbica	1	4,123*	0,475 ^{ns}
Resíduo	48	-	-
CV (%)	-	7,23	16,54

^{ns}, * e ** referem-se a não significativo, significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente pelo teste F.

F. V.: fator de variação, G. L.: grau de liberdade, Doses/F1: doses dentro da fonte (superfosfato simples), Doses/F2: doses dentro da fonte (gesso agrícola), Doses/F3: doses dentro da fonte (S-elementar (granulado)), Doses/F4: doses dentro da fonte (S-elementar (pó)), CV: coeficiente de variação.

Tabela 30 – Resumo da análise de variância para as variáveis: fósforo, potássio, magnésio e pH do solo, em função das fontes de enxofre (F) e doses de enxofre (D)

F. V.	G. L.	F			
		P	K	Mg	pH
Fontes (F)	3	0,615 ^{ns}	2,242 ^{ns}	1,531 ^{ns}	5,033*
Doses (D)	3	0,420 ^{ns}	0,496 ^{ns}	0,231 ^{ns}	5,594*
Interação F x D	9	1,523 ^{ns}	0,852 ^{ns}	0,890 ^{ns}	1,023 ^{ns}
Resíduo	48	-	-	-	-
CV (%)	-	13,43	5,22	12,87	0,90

^{ns} e * referem-se a não significativo, significativo a 5% de probabilidade, respectivamente pelo teste F.

F. V.: fator de variação, G. L.: grau de liberdade e CV: coeficiente de variação.

No teor de Ca no solo, as maiores interações entre fontes e doses de enxofre ocorreram com as fontes superfosfato simples e gesso agrícola na dose de 120 mg kg⁻¹ de S (TABELA 31). Esse aumento é devido os dois fertilizantes possuírem o Ca como seus

constituintes (superfosfato simples ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)) (VITTI e HEIRINCHS 2007).

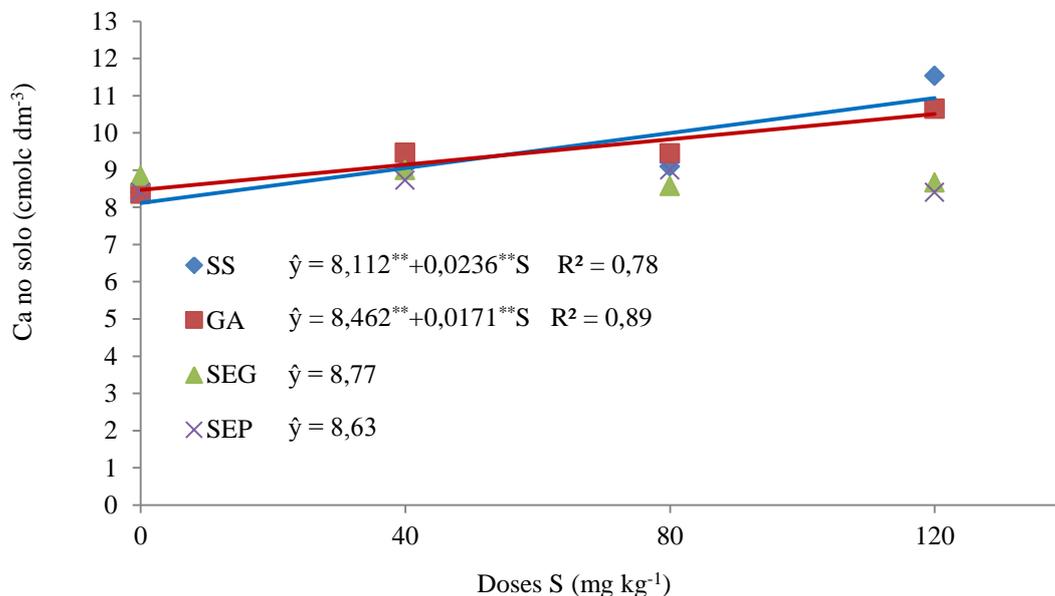
Tabela 31 – Desdobramento da interação entre fontes e doses de enxofre, sobre teor de cálcio no solo, aos 51 DAE do sorgo forrageiro

Fontes	Doses de S (mg kg^{-1})			
	0	40	80	120
	-----Ca no solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)-----			
Superfosfato Simples	8,40 a	9,07 a	9,10 a	11,53 a
Gesso Agrícola	8,37 a	9,47 a	9,45 a	10,65 a
S-Elementar (granulado)	8,85 a	9,00 a	8,57 a	8,67 b
S-Elementar (pó)	8,40 a	8,73 a	9,00 a	8,40 b

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Observando o efeito das doses em cada fonte, o superfosfato simples e gesso agrícola tiveram tendência de regressão linear, aumentando os teores de Ca no solo com o aumento das doses (FIGURA 14). Sendo que cada 1 mg kg^{-1} de S aplicada aumenta $0,0236$ e $0,0171 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca no solo, respectivamente superfosfato simples e gesso agrícola.

Figura 14 – Efeito das doses nas fontes de enxofre: superfosfato simples, gesso agrícola, S-elementar em pó e granulado, no teor de cálcio no solo, aos 51 DAE.



** : significativos a 1 % de probabilidade pelo teste t. SS: superfosfato simples, GA: gesso agrícola, SEG: S-elementar granulado, SEP: S-elementar pó.

Caires et al. (2003), em estudos com gesso agrícola, constataram o fornecimento de Ca até a camada de 0,6 m, em um período de 8 meses. Castañon et al. (2011) em estudos

de doses de gesso agrícola na cultura da soja, observaram aumento do teor de Ca no solo nas maiores doses aplicadas.

Com relação aos teores de P, K e Mg no solo (TABELA 30) não sofreram alterações, isso foi devido as adubações de doses uniformes com esses nutrientes para todos os tratamentos. Corroborando com o resultado Leal et al. (2012) em pesquisas realizadas com gesso na cultura do algodão, não foram encontradas diferenças significativas nos teores de fósforo e potássio no solo, em um período de avaliação de 12 meses. Por outro lado, Caires et al. (2003), encontraram um aumento linear nos teores de P no solo, com a aplicação de doses de gesso agrícola, sendo devido a impurezas do insumo e pelas altas doses aplicadas.

No teor de enxofre no solo os maiores valores na interação fontes x doses de S, ocorreram com o gesso agrícola e superfosfato simples com a dose de 120 mg kg⁻¹ de S (TABELA 32).

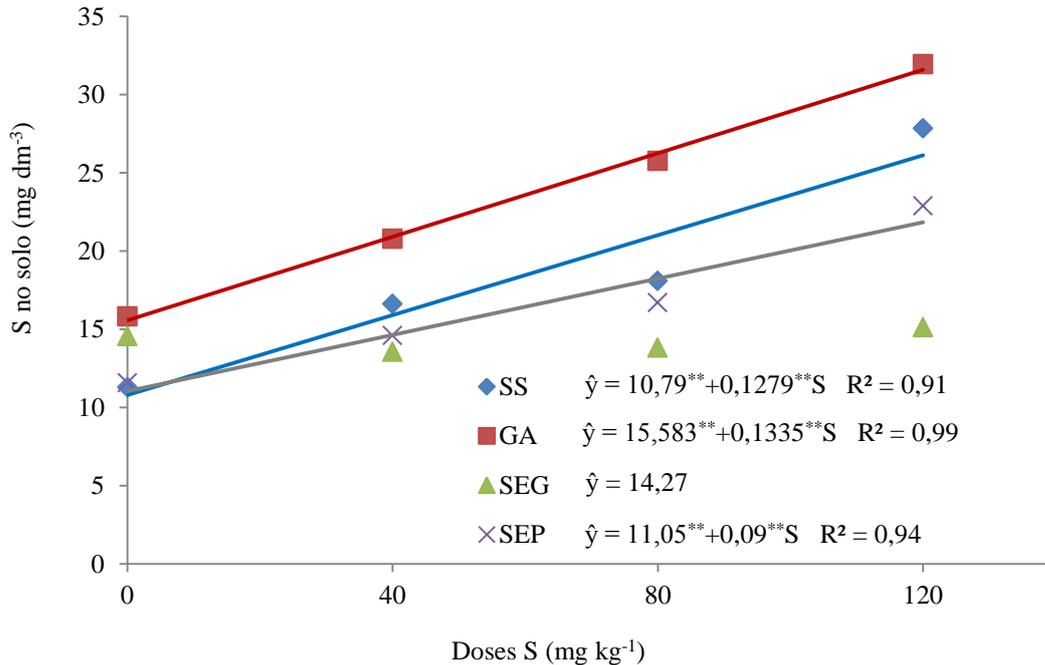
Tabela 32 – Desdobramento da interação entre fontes e doses de enxofre, sobre o teor de enxofre no solo, aos 51 DAE

Fontes	Doses de S (mg kg ⁻¹)			
	0	40	80	120
	-----S no solo (mg kg ⁻¹)-----			
Superfosfato Simples	11,29 a	16,62 ab	18,09 b	27,85 ab
Gesso Agrícola	15,83 a	20,79 a	25,78 a	31,96 a
S-Elementar (granulado)	14,56 a	13,56 b	13,82 b	15,14 c
S-Elementar (pó)	11,59 a	14,61 b	16,71 b	22,89 b

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

No desdobramento das doses em cada fonte, o gesso agrícola demonstrou-se mais eficiente em relações às outras fontes, em fornecer enxofre para o solo. Conforme a equação do gráfico abaixo, ocorre um acréscimo de forma linear de 0,1335 mg kg⁻¹ de S no solo, com cada 1 mg kg⁻¹ de S adicionada pelo gesso agrícola (FIGURA 15). O superfosfato simples e S-elementar em forma de pó, também tiveram acréscimo linear, mas sendo menores em relação as doses de gesso agrícola.

Figura 15 – Efeito das doses nas fontes de enxofre: superfosfato simples, gesso agrícola, S-elementar em pó e granulado, no teor de S no solo, aos 51 DAE.

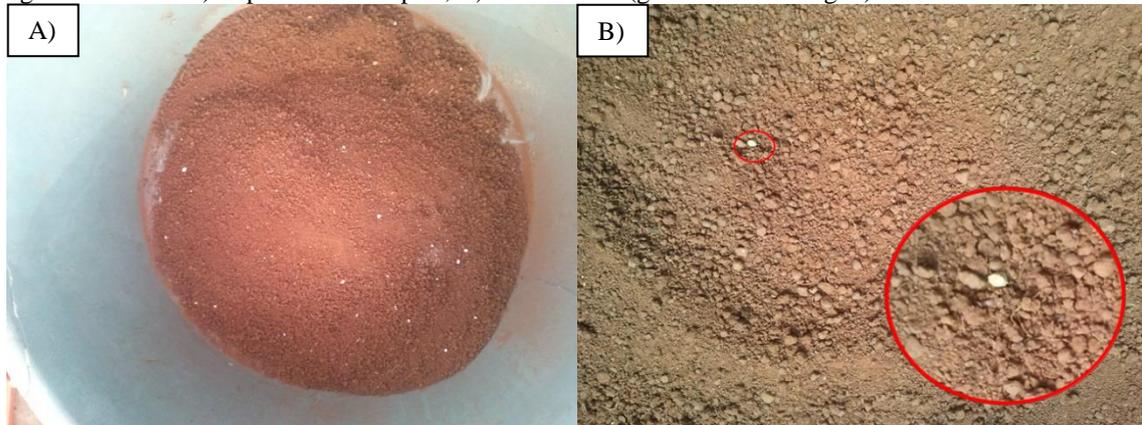


** : significativos a 1 % de probabilidade, respectivamente pelo teste t. SS: superfosfato simples, GA: gesso agrícola, SEG: S-elementar granulado, SEP: S-elementar pó.

O gesso agrícola foi mais eficiente em relação às outras fontes, devido a duas características: primeira o gesso encontrar-se na forma de pó, dissolvendo assim mais rapidamente, e tendo como consequência uma liberação mais rápida do enxofre, segundo, o gesso agrícola libera o enxofre na forma de sulfato, não precisando passar por processos de oxidação para formação do sulfato. Caires et al. (2003) observaram aumentos dos teores de sulfato no solo, com a aplicação de gesso agrícola, até as camadas estudadas (0,6m).

Observou-se que os fertilizantes granulados não tiveram tempo suficiente para sua desagregação completa, permanecendo alguns grânulos inteiros, com isso liberando pouco nutriente para solução do solo, tendo contribuído assim para menor eficiência das fontes granuladas em relação às formas de pó (FIGURA 16). Nos fertilizantes com enxofre na forma de sulfato, o gesso agrícola (pó) foi mais eficiente que o superfosfato simples (granulado) (FIGURA 15). Nos fertilizantes na forma de enxofre elementar, S-elementar (pó) foi melhor que o S-elementar (granulado) (FIGURA 15).

Figura 16 – Fertilizantes granulados sem desagregação por um período de 51 DAE em um cultivo de sorgo forrageiro em vaso. A) Superfosfato simples, B) S-elementar (granulado com argila).



Fonte: O autor.

No pH do solo, as médias dos valores em relação as fontes de enxofre aplicadas, demonstraram que o S-elementar (pó) e granulado promoveram uma redução do pH, em relação as fontes superfosfato simples e gesso agrícola (TABELA 33).

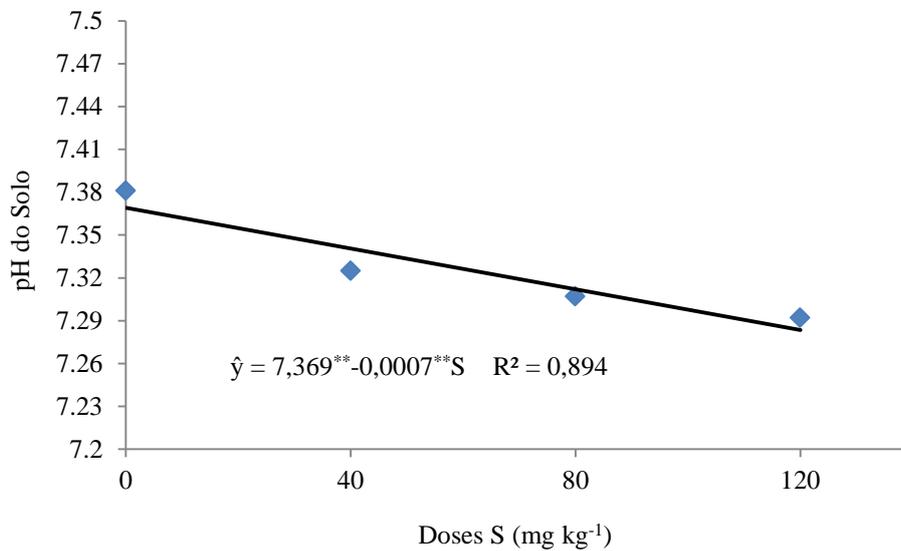
Tabela 33 – Comparação de médias das fontes de enxofre, para a variável: pH do solo aos 51 DAE

Fontes	pH do solo
Superfosfato Simples	7,36 a
Gesso Agrícola	7,34 a
S-Elementar (granulado)	7,33 ab
S-Elementar (pó)	7,27 b
DMS	0,06177

Médias seguidas da mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O aumento das doses de S promoveram uma diminuição do valor do pH do solo de uma maneira linear (FIGURA 17). A dose de 120 mg kg^{-1} de S foi a que promoveu maior redução do valor de pH do solo. Conforme a equação apresentada na Figura 19, o valor de pH decresce $0,0007$ a cada 1 mg kg^{-1} de S adicionado ao solo.

Figura 17 - Efeito das doses de enxofre no pH do solo, aos 51 DAE.



** : significativos a 1 % de probabilidade, respectivamente pelo teste t.

Em relação a doses de S, essa redução do pH do solo foi promovida pelas fontes de S-elementar. Segundo Jorge (1983) o uso de enxofre elementar acarreta a formação de ácido sulfúrico, promovendo a diminuição do pH do solo.

Stamford et al. (2004) verificaram redução do pH do solo com a aplicação de enxofre elementar, utilizando 300 kg ha⁻¹ de S. Diferentemente Frandoloso (2006) não observou diferença no valor de pH do solo em relação a aplicação de 30 kg ha⁻¹ de S (elementar), sendo devido à dose baixa do S aplicada.

5. CONCLUSÕES

As matérias fresca e seca da parte aérea do sorgo forrageiro aumentam significativamente com as aplicações crescentes de enxofre no solo.

O S-elementar granulado proporciona uma menor concentração de S na parte aérea e raiz das plantas.

A aplicação de S-elementar (pó) favorece a absorção de P, aumentando sua concentração na parte aérea das plantas.

As concentrações de N, K, Ca e Mg nas plantas não são influenciadas pelas aplicações crescentes de superfosfato simples, gesso agrícola, S-elementar (granulado e pó). O mesmo ocorre com o índice relativo de clorofila, índice de área foliar e teor de proteína bruta no sorgo.

O teor de enxofre no solo aumenta significativamente com as doses de enxofre aplicadas, sendo o gesso agrícola a fonte mais eficiente para fornecimento de S.

O pH do solo diminui com o aumento das doses de enxofre aplicadas na forma de S-elementar.

Os fertilizantes na forma de S-elementar quando aplicados na forma de pó possuem eficiências semelhantes às formas de sulfatos, na produção de biomassa e características nutricionais do sorgo forrageiro.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. A.; TEODORO, A. G.; PEREIRA, L. M.; Backes, C.; Santos, A. J. M.; Silva, V. H. A.; Machado Neto, N. W. Produção de forragem estabelecida do capim Marandu em função da aplicação de doses de gesso no período chuvoso e seco. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA*, 24., 2014. Vitória. **Anais...** Vitória: Associação Brasileira de Zootecnistas/Universidade Federal do Espírito Santo, 2014. 1CD-ROM

ALVAREZ V., V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. *In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARAES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H (eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**, 5ª Aproximação. Comissão de Fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais. Viçosa, 1999, p.43-60.*

ANDRADE, J.B.; BENINTENDE, R.P.; FERRARI JR., E. et al. Efeito das adubações nitrogenada e potássica na produção e composição de *Brachiaria ruziziensis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.31, n.9, p.617-620, 1996.

APPS. **Área plantada de sorgo safra 2011/2012**. Disponível em: <http://www.apps.agr.br/upload/de_1009201203221800_area_sorgo_11_12doc.pdf> Acesso em: 13 março 2014.

ARTUR, Adriana. Guirado. **Adubação com nitrogênio e enxofre: frações no solo, características estruturais, nutricionais, produtivas e uso da água pelo capim-Marandu**. 2010. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

BATAGLI, O. C.; SANTOS, W. R. Diagnose foliar - Estado nutricional de plantas perenes: avaliação e monitoramento. **Informações Agrônomicas**. n. 96, p. 3-8, dez. 2001.

BATISTA, Karina. **Resposta do capim-Marandu a combinações de doses nitrogênio e enxofre**. 2002. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

BATISTA, K. MONTEIRO, F. A. Respostas morfológicas e produtivas do capim-marandu adubado com doses combinadas de nitrogênio e enxofre. **R. Bras. Zootec.**, v. 35, n. 4, p. 1281-1288, 2006.

BOARETTO, A. E.; RAIJ, B. Van; SILVA, F. C. da; CHITOLINA, J. C.; TEDESCO, M. J.; CARMO, C. A. F. do. **Amostragem acondicionamento e preparo de amostras de planta para análise química**. *In: SILVA, F. C. da (ed.) Manual de análises químicas de solos, planta e fertilizantes*. Brasília. p.61-85, 2009.

BONFIM-DA-SILVA, Edna Maria. **Nitrogênio e enxofre na recuperação de pastagem de capim *Brachiaria* em degradação em Neossolo quartzarênico com expressiva matéria orgânica**. 2005. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

BOSWELL, C.C. Dryland lucerne responses to elemental sulphur of different particle sizes applied at different rates and frequencies in North Otago, New Zealand. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Wellington, v.40, p.283-295, 1997.

BOSWELL, C.C.; SWANNEY, B.; OWERS, W.R. Sulfur/sodium bentonite mixtures as sulfur fertilizers. 1. The effects of S/Na-bentonite ratios on the rate of dispersion and particle size distribution of elemental sulfur dispersed from laboratory-produced prills. **Fertilizer Research**, Wageningen, Netherlands, v.15, p. 13-31, 1988.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Estádios fenológicos do trigo para a adubação nitrogenada em cobertura. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 25, p. 317-323, 2001.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 27, p. 275-286, 2003.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, G. C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (ed.) **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba. p. 355-412, 2007.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C. E.O. Cereais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1996. p. 43-71 (Boletim Técnico, 100).

CASTAÑON, T. H. F. M.; SANTOS, M.; PIMENTEL, F. L.; CARLOS ANDRE OLIVEIRA DE MORAIS, C. A. O.; MENDES, S. O. Uso do gesso agrícola na cultura da soja, na região Sul do Estado de Mato Grosso. **Ciência e Tecnologia: FATEC-JB**, Jaboticabal, v.3, 2011. Suplemento.

CÉSAR, Fabio Ricardo Coutinho Fontes. **Efeito do enxofre elementar na eficiência do fosfato natural**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

COELHO, A. M.; CASELA, C. R.; MENEZES, C. B.; SILVA, D. D.; GUIMARÃES D. P.; KARAM, D.; LANDAU, E. C.; MANTOVANI, E. C.; TARDIN, F. V.; FREIRE, F.M.; DURÃES, F. O. M.; GARCIA, J. C.; SANTOS, J.P.; DUARTE, J. O.; VIANA, J. H. M.; RODRIGUES, J. A. S.; CRUZ, J. C.; WAQUIL, J. M.; MAGALHÃES, J. V.; COTA, L.V.; SANS, L. M. A.; FONSECA, M. J. O.; OLIVEIRA, M. F.; CONTIJO NETO, M. M.; VIANA, P. A.; MAGALHÃES, P. C.; COSTA, R. V.; MENDES, S. M.; SOUZA, T. C.; ALVES, V. M. C. Cultivo do Sorgo. **Sistema de Produção – EMBRAPA Milho e Sorgo**, n. 2. ed. 8, out. 2012.

COELHO, A. M.; WAQUIL, J. M. KARAM, D.; CASELA, C. R.; RIBAS, P. M. Seja o doutor do seu sorgo. **POTAFOS**: Encarte do informações agronômicas. n. 100, dez. 2002.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Perspectivas para a agropecuária safra 2014/2015. Brasília: **Conab**, v. 2, 2014.

CORSI, M.; GOULART, R. C. D.; ANDREUCCI, M. P. Nitrogênio e enxofre em pastagens. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (ed.) **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba. p. 487-512, 2007.

CUNHA, M.A.D.; LEITE, G.G.; DIOGO, J.M.S. et al. Características morfológicas do *Paspalum citratum* cv. Pojuca submetido ao pastejo rotacionado. Dinâmica de perfilhamento e alongação de folhas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.3, p.935-940, 2001.

CZYCZA, R.V.; FONTANIVA, S.; LANA, M.C.; FRANDOLOSO, J.F.; VALE, F. Eficiência agrônômica de diferentes fertilizantes contendo enxofre para a cultura do milho. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 28., 2008. Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja/SBCS/IAPAR/UEL, 2008. 1 CD-ROM.

DONALD, D.; CHAPMAN, S.J. Use of powdered elemental sulphur as a sulphur source for grass and clover. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Madison, v.29, n.9-10, p.1315-1328, 1998.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 212p.1997.

EMBRAPA CERRADOS. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. **Efeito da granulometria na eficiência agrônômica de fontes de enxofre em solo de Cerrado**. Planaltina, DF: EMBRAPA/CPAC; Porto Alegre : Adubos Trevo, 1997.

FANCELLI, Antônio Luiz. Milho. In: PROCHNOW, Luiz Inácio; CASARIN, Valter; STIPP, Silvia Regina (Eds.) **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: Culturas**. Piracicaba: IPNI – Brasil. V. 3, 2010. p. 43-89.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. **Manejo da acidez dos solos de cerrado e de várzea do Brasil**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 42 p.

FAQUIN, Valdemar. **Diagnose do estado nutricional das plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 77 p.

FONSECA, D. S. Sumário Mineral 2013: Enxofre. **Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM**. 2013.

FRANCO, Antônio Augusto Nogueira. **Marcha de absorção e acúmulo de nutrientes na cultura do sorgo**. 2011. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Estadual de Monte Carlos - Unimontes, Janaúba, 2011.

FRANDOLOSO, Jucenei Fernando. **Eficiência de adubos fosfatados associados a enxofre elementar na cultura do milho**. 2006. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Candido Rondon, 2006.

FRANDOLOSO, J. F.; LANA, M. C.; FONTANIVA, S.; CZYCZA.; R. V. **Eficiência de adubos fosfatados associados ao enxofre elementar na cultura do milho**. Rev. Ceres, Viçosa, v. 57, n. 5, p. 686-694, set/out, 2010.

GALRÃO, E. Z. Micronutrientes. In: SOUZA, D.M.G. de; LOBATO, E. (eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina – DF: Embrapa Cerrados. 2002. p. 185-226.

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

HOROWITZ, Nelson. **Oxidação e eficiência agrônômica do enxofre elementar em solos do Brasil**. 2003. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Enxofre: Uso do enxofre elementar como fertilizante. **Informações Agrônômicas**. n. 12, p. 4-7, dez. 2005.

JORGE, José Antônio. **Solo: manejo e adubação**. São Paulo: Nobel, 1983. 307 p.

KOZLOWSKI, L. A. Período crítico de interferência das plantas daninhas na cultura do milho baseado na fenologia da cultura. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.20, n.3, p.365-372, 2002.

KÖPPEN, Wladimir **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra. Fondo de Cultura Económica**. México. 1948, 479 p.

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**, Recife, v. 3, n. 3, p. 225-231, jul.-set., 2008.

LEAL, A. J. F.; HOLANDA, H. V.; MINGUINI, R.; ALVES, M. C.; ANSELMO, J. L. Atributos químicos do solo cultivado com algodão em função de sistemas de manejo e doses de gesso. *In*: Congresso brasileiro de ciência do solo, 38., 2012. Uberlândia. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2012. 1 CD-ROM.

LEVANTAMENTO TÉCNICO UFC/DENOS. Levantamento detalhado dos solos da Chapada do Apodí. **UFC/DENOS**, 1988.

LI-COR. **LI 3100 area meter instruction manual**. Lincoln: LICOR, 1996. 34p.

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C.; RODRIGUES, J. A. S. Cultivo do Sorgo: Ecofisiologia. **Sistema de Produção – EMBRAPA Milho e Sorgo**, n. 2. ed. 8, out. 2012.

MALAVOLTA, Euripedes. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Editora Agrônômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, Euripedes. **Micronutrientes na adubação**. Paulínia: Nutriplant, 1986. 70 p.

MALAVOLTA, E. e DANTAS, J.P. Nutrição e adubação do milho. *In*: PATERNIANI, E. e VIEGAS, G.D. (eds.). **Melhoramento e produção de milho**. 2 ed. v.2 Campinas: Fundação Cargill, 1987.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E.; Vifli, O.C.; FORNASIERI FILHO, D.; ROSELEM, C.A.; MUTON, M.A.; EIMORI, I.; MALAVOLTA, M.A.; MORAES, R.X. Capim-Coloniao (*Panicum maximum* Jacq). *In*: MALAVOLTA, E. (Ed.). **Efeitos de doses e fontes de enxofre em**

culturas de interesse econômico. São Paulo: NS Centro de Pesquisa e Promoção de Sulfato de Amônio, 1984. p.9-22. (Boletim Técnico,3).

MARSCHNER, Petra. **Marschner's mineral nutrition of higher plants.** 3. ed. Amsterdam, Netherlands: Elsevier/ Academic Press, 2012. 688 p.

MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G. de.; SOUZA, R.B. de. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.V.H. (Ed.) Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: **5 Aproximação.** Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, p.143-168, 1999.

MOREIRA, L.M.; MARTUSCELLO, J.A.; FONSECA, D.M. et al. Perfilamento, acúmulo de forragem e composição bromatológica do capim-braquiária adubado com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.9, p.1675-1684, 2009.

McKenzie, R. H. Sulphur Fertilizer Application in Crop Production. **Practical Information for Alberta's Agriculture Industry – AGRI-FACTS.** p. 1-8, fev. 2013.

MELLO, R.; NÖRNBERG, J. L.; ROCHA, M. G.; DAVID, D. B. Análise produtiva e qualitativa de um híbrido de sorgo interespecífico submetido a dois cortes. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 2, n. 1, p. 20-33, 2003.

MONTEIRO, F.A.; CARRIEL, J.M. Aplicação de níveis de enxofre na forma de gesso para o cultivo do capim-Colonião em dois solos arenosos do estado de São Paulo. **Boletim de Industria Animal.** Nova Odessa, v. 4, p. 335-347, 1987.

MOREIRA, A.; CARVALHO, J. G.; EVANGELISTA, A. R. Efeito de doses de enxofre na produção e composição mineral da alfafa. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 32, n. 5, p. 533-538, mai, 1997.

PINTO, Carlos Alberto Souza. **Produtor de sorgo.** Fortaleza: Instituto Centro de Ensino Tecnológico, 2008. 50 p. (Coleção cadernos tecnológicos)

PRADO, Renato de Melo. **Nutrição de Plantas.** 1. ed. São Paulo: UNESP, 2008. 378 p.

QUADROS, D.G.; RODRIGUES, L.R.A. Valor nutritivo dos capins Tanzânia e Mombaça adubados com nitrogênio e sob lotação rotacionada. **Acta Scientiarum. Zootechny**, v.28, n.4, p.385-392, 2006.

OLIVEIRA, J. P.; CHAVES, L. J.; DUARTE, J. B.; BRASIL, E. M.; LEONIDES TEODORO FERREIRA JUNIOR, L. T. F.; RIBEIRO, K.O. Teor de proteína no grão em populações de milho de alta qualidade protéica e seus cruzamentos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.34, n. 1, p. 45-51, 2004.

OSORIO FILHO, B. D. **Dinâmica de enxofre no sistema solo e resposta das culturas à adubação sulfatada.** 2006. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), Santa Maria, 2006.

RAIJ, Bernardo Van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes.** Piracicaba: International Plant Nutrition Institute (IPNI), 2011. 420p.

RESENDE, A. V.; COELHO, A. M.; RODRIGUES J. A. S.; SANTOS, F.C. Adubação maximiza o potencial produtivo do sorgo. **EMBRAPA Milho e Sorgo: Circular Técnica**. Sete Lagoas, n. 119, p. 1-8, dez. 2009.

RESENDE, J. T. V.; MORALES, R. G. F.; RESENDE, F. V.; CARMINATTI R.; BERTUZZO L. L. C.; FIGUEIREDO A. S. T. Aplicação complementar de enxofre em diferentes doses na cultura do alho. **Horticultura Brasileira** v. 29, n. 2, abr.- jun. 2011.

RODRIGUES, R.C. **Calcário, nitrogênio e enxofre para recuperação do capim-Braquiária cultivado em solo proveniente de uma pastagem degradada**. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

ROMHELD, V. Diagnosis of Deficiency and Toxicity of Nutrients. In: MARSCHNER, P. (Ed) **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. Amsterdam, Netherlands: Elsevier/ Academic Press, 2012. p. 299-314.

RTAM e RTAS, LVIII Reunião Técnica Anual de Milho e XLI Reunião Técnica Anual de Sorgo. **Indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul – safras 2013/2014 e 2014/2015**. Brasília: EMBRAPA, 124 p. 2013.

SANTOS, V. C.; COELHO, A. M.; RESENDE, A.V.; MIRANDA, R. A. Correção e adubação na cultura do sorgo. **Informe Agropecuário**, v.35, n.278, 2014. p. 76-88.

Santos, F. G.; Rodrigues, J. A. S.; Schaffert. R. E.; Lima, J. M. P.; Pitta, G. V. E.; Casela, C. R.; Ferreira, A. S. BRS Ponta Negra variedade de sorgo forrageiro. 1 ed. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2007. (Documentos, 145).

SAWAZAKI, E. Sorgo forrageiro ou misto, sorgo granífero, sorgo vassoura – Sorghum bicolor L. Moench. In: FALH, J.L. (Ed.) **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. Instituto Agrônomo de Campinas, 6 ed, p.44-49, 1998.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS E SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre, 2004. 400p.

SFREDO, G. J. Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral. **EMBRAPA Soja**, Londrina, n. 305, 2008. 148 p.

SILVA S., R.; LONGERI S., L.; VIDAL P., I.; SANDOVAL E., M. Incidencia de la temperatura y humedad sobre la oxidacion de azufre elemental en un suelo derivado de cenizas. **Agricultura Técnica**, Santiago, v.58, n.3, p.213-220, 1998.

SKIBA, U.; WAINWRIGHT, M. Oxidation of elemental-S in coastaldune sands and soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 77, p. 87-95, 1984.

STAMFORD, N.P.; MOURA, A.M.M.F.; SANTOS, K.S. e SANTOS, P.R. Atuação de Acidithiobacillus na solubilização de fosfato natural em solo de tabuleiro cultivado com Jacatupé. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 75-83, 2004.

STIPP, S. R.; CASARIN, V. A importância do enxofre na agricultura brasileira. **Informações Agronômicas**, n. 129, p. 14-20, 2010.

SUZUKI, I. Oxidation of inorganic sulfur compounds: Chemical and enzymatic reactions. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 45, p. 97-105, 1999.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J.; **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. rev. e ampl. Porto Alegre : Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174p.

WAINWRIGHT, M. Sulfur oxidation in soils. **Advances in Agronomy**, San Diego, CA, v. 37, p. 349-396, 1984.

WAINWRIGHT, M.; KILLHAM, K. Sulphur oxidation by *fusarium solani*. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, UK, v.12, p.555-558, 1980.

VITTI, G. C.; HEIRINCHS, R. Formas tradicionais e alternativas de obtenção e utilização de nitrogênio e do enxofre: Uma visão holística. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (ed.) **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba. p. 109-157, 2007.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M. S. (ed.) **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa. p. 300-326, 2006.

ZAGO, C. P.; GUIMARÃES, F. B. Sistemas de produção para sorgo. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 27., 2008, Londrina. **Anais...** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. 1 CD-ROM.7