



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: SOLOS E NUTRIÇÃO DE**  
**PLANTAS**

**IZABEL MARIA ALMEIDA LIMA**

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DE DIFERENTES FONTES DE FOSFATO**  
**NA CULTURA DO SORGO CULTIVADO EM CAMBISSOLO**

**FORTALEZA**

**2013**

IZABEL MARIA ALMEIDA LIMA

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DE DIFERENTES FONTES DE FOSFATO NA  
CULTURA DO SORGO CULTIVADO EM CAMBISSOLO**

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 para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Fertilidade e Química do solo.

**Orientador:** Prof. PhD. Boanerges Freire de Aquino

**FORTALEZA**

**2013**

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

- 
- L698e Lima, Izabel Maria Almeida.  
Estudo da eficiência de diferentes fontes de fosfato na cultura do sorgo cultivado em cambissolo  
. / Izabel Maria Almeida Lima. – 2013.  
80 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 – Solos e Nutrição  
de Plantas, Fortaleza, 2013.  
Área de Concentração: Fertilidade e Química do Solo.  
Orientação: Prof. PhD. Boanerges Freire de Aquino.
1. Adubação de Fósforo. 2. *Sorghum bicolor*. 3. Eficiência de adubo. I. Título.

---

CDD 631.4

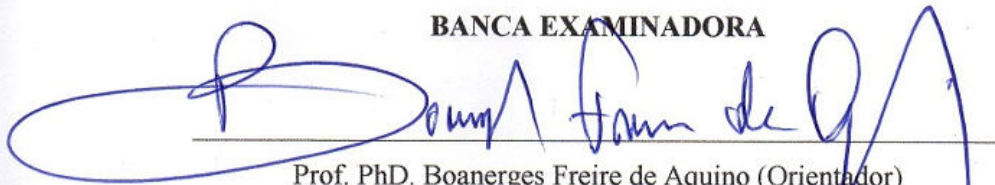
IZABEL MARIA ALMEIDA LIMA

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DE DIFERENTES FONTES DE FOSFATO NA  
CULTURA DO SORGO CULTIVADO EM CAMBISSOLO**

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 para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Fertilidade e Química do solo.

Aprovado em: 28 / 02 / 2013.

**BANCA EXAMINADORA**



Prof. PhD. Boanerges Freire de Aquino (Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)



Prof. Dr. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez

Universidade Federal do Ceará (UFC)



Prof. Dr. Francisco Nildo da Silva

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

A Deus, pela presença marcante em minha vida.  
Aos meus pais, José de Arimatéa e Fátima Almeida,  
a minha tia Francisca e aos meus “Pais científicos”,  
Prof. PhD Boanerges Freire e Prof. Dr. Anna Kelly Moreira.  
que não mediram esforços para que eu chegasse até aqui.

***DEDICO***

## AGRADECIMENTOS

À Deus, fonte de sabedoria, força e paz. Nos momentos difíceis e solitários, a presença Dele me encorajava.

À meus pais, José de Arimatéa e Fátima Almeida, pela educação e por suportarem a distância, a minha tia Francisca pela dedicação e orações, e a toda minha família. Amo vocês.

Ao meu orientador, Prof. Ph.D Boanerges Freire de Aquino, que foi e é um anjo na minha vida, sempre disposto a me ajudar, emprestando um pouco do seu vasto conhecimento, com paciência e amizade; sempre com uma palavra confortante e positiva quando algo não dava certo e por acreditar no meu potencial

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Anna Kelly Moreira, pelo constante incentivo na minha carreira acadêmica, por sempre estar disposta a me ajudar pacientemente e serena; sua amizade foi e é um divisor de águas na minha vida.

Aos meus amigos que não mediram esforços para ajudar-me, Régis dos Santos Braz, meu fiel companheiro de ap. e irmão de alma, Tiago Silva, Bruna de Freitas Iwata e em especial, Bruno Lúcio Meneses com quem compartilhei todos as árduas fases do experimento e foi meu braço direito para a finalização da dissertação. Tenho grande amor, apreço e admiração por todos;

Aos Professores Dr. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez e Dr. Francisco Nildo da Silva, por compor a banca e pelas valiosas colaborações;

À Fátima da Silva, por disponibilizar seu tempo para auxiliar nas análises.

Ao corpo Docente e técnico administrativo do Departamento de Ciências do Solo.

À FUNCEME, em especial ao Antônio José Duarte e M<sup>a</sup> Geórgia de Oliveira, sempre solícitos na hora de ajudar.

À FUNCAP, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

À Universidade Federal do Ceará.

À todas as pessoas que direta e indiretamente colaboraram na execução deste trabalho.

“A ciência nunca resolve um problema  
sem criar pelo menos outros dez”  
(George Bernard Shaw)

## RESUMO

Os baixos teores de fósforo disponíveis nos solos tropicais, em geral, requerem permanentes pesquisas com relação à eficiência das aplicações de diferentes fontes de adubos fosfatados nas culturas cujo objetivo é elevar os teores desse nutriente no solo. Este trabalho teve como objetivo, estudar as respostas do sorgo (*Sorghum bicolor*) às aplicações de diferentes doses e fontes de fósforo no que concerne ao crescimento, produção e remoção de nutrientes, além de avaliar a eficiência agronômica das diferentes fontes. O experimento foi realizado em casa de vegetação da Universidade Federal do Ceará. Foi utilizado o solo da Chapada do Apodi-CE, Cambissolo Háplico Eutófico. No presente trabalho foi utilizado o delineamento em blocos inteiramente casualizados, em esquema fatorial 4x4 (doses e fontes de P, respectivamente), sendo os tratamentos composto pela combinação de quatro doses de fósforo (dose 1 = 0 mg de P kg<sup>-1</sup> solo, dose 2 = 100 mg de P kg<sup>-1</sup> solo, dose 3 = 200 mg de P kg<sup>-1</sup> solo e dose 4 = 300 mg de P kg<sup>-1</sup> solo) e quatro fontes de P (Fosfato Industrial Superfosfato Triplo - ST, Fosfato Natural da Bahia - FNB, Fosfato Natural do Tocantins - FNT e Fosfato Natural Reativo – Gafsa – FNR), com 4 repetições, totalizando 64 unidades experimentais. Foram avaliadas as seguintes variáveis: altura da planta, diâmetro do caule, produção de matéria seca da parte aérea, e teores foliares de macronutrientes e micronutrientes presentes no sorgo. As variáveis analisadas foram submetidas à análise de variância (ANOVA), às análises de regressão em função das fontes e das doses crescentes de fósforo e as médias dessas variáveis foram avaliadas pelo teste de Tukey, a nível de 1% e 5% de probabilidade. O Superfosfato triplo (ST) e o FNB foram as fontes responsáveis pelas respostas mais altamente significativas das variáveis biométricas estudadas, enquanto que o FNT apresentou as menores respostas. As fontes que mais contribuíram para a absorção de fósforo do solo pelo sorgo foram em ordem decrescente: ST > FNB > FNR > FNT. Na dose 300 mg kg<sup>-1</sup> solo ocorreu a maioria dos valores elevados de absorção de macronutriente e micronutriente. No que concerne às absorções de macronutrientes e micronutrientes pelo sorgo em função das doses e das fontes de fósforo usadas, estas ocorreram na seguinte ordem decrescente: N > K > Ca > Mg > P > S; para os micronutrientes, a ordem foi: Mn > Fe > Zn > Cu. A fonte que apresentou o melhor Índice de Eficiência Agronômica foi o Superfosfato triplo (ST), seguido do FNB.

**Palavras-chave:** Adubo de fósforo. *Sorghum bicolor*. Eficiência de adubo.



## ABSTRACT

The low available phosphorus in tropical soils generally require constant research regarding the efficiency and the application of different sources of phosphate fertilizers on crops. This work aimed to study the responses of sorghum (*Sorghum bicolor*) to applications of different levels and sources of phosphorus in terms of growth, yield and nutrient removal, and also to evaluate the agronomic efficiency of these different sources. The experiment was conducted under greenhouse conditions at the Federal University of Ceará, Brazil. It was used a Cambisol soil from the Chapada do Apodi-CE. The statistical design consisted of a randomized complete block in a 4x4 factorial (rates and sources of P, respectively), with treatments consisting of a combination of four rates of phosphorus (rate 1 = 0 mg P kg<sup>-1</sup> soil, rate 2 = 100 mg P kg<sup>-1</sup> soil, rate 3 = 200 mg kg<sup>-1</sup>, rate 4 = 300 mg P kg<sup>-1</sup> soil) with 4 replicates, totalizing 64 experimental units; it was used four sources of P (Phosphate Industrial Triple superphosphate - TS, Natural Phosphate of Bahia - NFB, Natural Phosphate of Tocantins - NPT and Natural Reactive phosphate - Gafsa - NRP). The following variables were evaluated: plant height, stem diameter, dry shoot matter production and, macronutrients and micronutrients leaf concentrations. The variables value results were subjected to analysis of variance (ANOVA), regression analysis according to sources and increasing rates of phosphorus; the averages of these variables were evaluated by the Tukey test at 5% probability. The TS and the NFB sources were responsible for the higher significant responses of the biometric variables studied, whereas NPT induced the lowest responses. The sources that contributed most to the plant absorption of soil phosphorus by sorghum were in descending order: TS > NFB > NRP > NPT. In the rate 300 mg kg<sup>-1</sup> solo occurred the most elevated macronutrient and micronutrient plant P uptake. Considering the amounts of macronutrients and micronutrients absorbed by sorghum, in function of rates and P sources, these occurred in the following order: N > K > Ca > Mg > P > S (macronutrients); Mn > Fe > Zn > Cu (micronutrients). The source that had the highest index of Agronomic Efficiency was the Triple superphosphate, followed by the Natural phosphate of Bahia.

**Keywords:** Phosphorus fertilizer. *Sorghum bicolor*. Fertilizer efficiency.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Vista da disposição dos vasos correspondendo às unidades experimentais. ....	36
<b>Figura 2</b> - Vista do experimento com sete dias após a emergência das sementes. ....	36
<b>Figura 3</b> - Desbaste sendo realizado no cultivo do sorgo. ....	37
<b>Figura 4</b> - Plantas desbastadas. ....	37
<b>Figura 5</b> - Medição da altura da planta. ....	38
<b>Figura 6</b> - Medição do diâmetro do caule. ....	38
<b>Figura 7</b> - Esquema simplificado do processo de análise foliar dos nutrientes. ....	39
<b>Figura 8</b> - Plantas de sorgo adubadas com Superfosfato Triplo, FNB, FNT e FNR na dose <u>100</u> mg P kg <sup>-1</sup> solo. ....	43
<b>Figura 9</b> - Plantas de sorgo adubadas com Superfosfato Triplo, FNB, FNT e FNR na dose <u>200</u> mg P kg <sup>-1</sup> solo. ....	44
<b>Figura 10</b> - Plantas de sorgo adubadas com Superfosfato Triplo, FNB, FNT e FNR na dose <u>300</u> mg P kg <sup>-1</sup> solo. ....	44
<b>Figura 11</b> - Efeitos das doses de fósforo de diferentes fontes sobre a altura das plantas de sorgo. ....	45
<b>Figura 12</b> - Efeitos das doses de fósforo de diferentes fontes sobre o diâmetro do caule das plantas de sorgo. ....	47
<b>Figura 13</b> - Efeitos das doses de fósforo de diferentes fontes sobre a produção de matéria seca da parte aérea – PMSPA das plantas de sorgo. ....	50
<b>Figura 14</b> - Absorção de nitrogênio pela parte aérea de plantas de sorgo (mg vaso <sup>-1</sup> ) em função das crescente doses e diferentes fontes de P. ....	53
<b>Figura 15</b> - Absorção de fósforo na parte aérea de plantas de sorgo (mg vaso <sup>-1</sup> ) em função das crescente doses e diferentes fontes de P. ....	55
<b>Figura 16</b> - Absorção de potássio na parte aérea de plantas de sorgo (mg vaso <sup>-1</sup> ) em função das crescente doses e diferentes fontes de fósforo. ....	57
<b>Figura 17</b> - Absorção de cálcio na parte aérea de plantas de sorgo (mg vaso <sup>-1</sup> ) em função das crescente doses diferentes fontes de fósforo. ....	58
<b>Figura 18</b> - Absorção de magnésio na parte aérea de plantas de sorgo (mg vaso <sup>-1</sup> ) em função das crescente doses e diferentes fontes de fósforo. ....	60
<b>Figura 19</b> - Absorção de enxofre na parte aérea de plantas de sorgo (mg vaso <sup>-1</sup> ) em função das crescente doses diferentes fontes de fósforo. ....	62

<b>Figura 20</b> – Análise de regressão dos teores de ferro ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) no sorgo em função de doses crescente e diferentes fontes de fósforo. ....	64
<b>Figura 21</b> – Análise de regressão dos teores de manganês ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) no sorgo em função de doses crescente e diferentes fontes de fósforo .....	66
<b>Figura 22</b> – Análise de regressão dos teores de zinco ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) no sorgo em função de doses crescente e diferentes fontes de fósforo. ....	69
<b>Figura 23</b> – Análise de regressão dos teores de cobre ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) pelo sorgo em função de doses crescente e diferentes fontes de fósforo. ....	71
<b>Figura 24</b> – Análise de regressão do índice de equivalente super triplo (%) dos fosfatos naturais em função de doses crescente de fósforo.....	73
<b>Figura 25</b> – Análise de Regressão do índice de eficiência agronômica (%) dos fosfatos naturais em função de doses crescente de fósforo.....	75

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Características físico-químicas do Cambissolo usado no experimento.....	34
<b>Tabela 2</b> - Teor de P Total nos fosfatos naturais e no superfosfato triplo .....	36
<b>Tabela 3</b> - Resumo da análise de variância (ANOVA) para as variáveis biométricas do sorgo. 41	
<b>Tabela 4</b> - Altura das plantas do sorgo (cm) em função de diferentes fontes e doses de fósforo 42	
<b>Tabela 5</b> - Médias dos valores da altura das plantas do sorgo em função de diferentes fontes e doses de fósforo.....	42
<b>Tabela 6</b> - Médias dos diâmetros dos caules das plantas do sorgo (mm) em função de diferentes fontes e dose de fósforo.....	46
<b>Tabela 7</b> - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável produção de matéria seca da parte aérea ( $\text{g vaso}^{-1}$ ) do sorgo em função de diferentes fontes e doses de fósforo .....	48
<b>Tabela 8</b> - Produção de matéria seca da parte aérea - PMSPA ( $\text{g vaso}^{-1}$ ) das plantas de sorgo em função de diferentes doses e fontes de fósforo.....	49
<b>Tabela 9</b> - Resumo da análise de variância (ANOVA) para os teores de macronutrientes absorvidos (N, P, K, Ca, Mg e S) pelo sorgo em função de diferentes fontes e doses de fósforo.....	51
<b>Tabela 10</b> - Teores de nitrogênio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) encontrados na parte aérea do sorgo em função de diferentes doses e fontes de fósforo. ....	52
<b>Tabela 11</b> - Teores de fósforo ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) encontrados na parte aérea do sorgo em função de diferentes doses e fontes de fósforo. ....	54
<b>Tabela 12</b> - Teores de potássio ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) encontrados na parte aérea do sorgo em função de diferentes doses e fontes de fósforo. ....	56
<b>Tabela 13</b> - Teores de cálcio ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) encontrados na parte aérea do sorgo em função de diferentes doses e fontes de fósforo. ....	57
<b>Tabela 14</b> - Teores de magnésio ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) encontrados na parte aérea do sorgo em função de diferentes doses e fontes de fósforo.....	59
<b>Tabela 15</b> - Teores de enxofre ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) encontrados na parte aérea do sorgo em função de diferentes doses e fontes de fósforo. ....	61
<b>Tabela 16</b> - Resumo da análise de variância (ANOVA) para os teores de micronutrientes absorvidos (Zn, Cu, Fe, Mn) pelo sorgo em função de diferentes fontes e doses de fósforo .....	62

<b>Tabela 17</b> - Teores de ferro ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) encontrados na parte aérea do sorgo em função de diferentes doses e fontes de fósforo. ....	63
<b>Tabela 18</b> - Teores de manganês ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) encontrados na parte aérea do sorgo em função de diferentes doses e fontes de fósforo.....	65
<b>Tabela 19</b> - Teores de zinco ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) encontrados na parte aérea do sorgo em função de diferentes doses e fontes de fósforo. ....	67
<b>Tabela 20</b> - Teores de cobre ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) pela parte aérea do sorgo em função de diferentes doses e fontes de fósforo .....	70
<b>Tabela 21</b> - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável Índice Equivalente Supertriplo em função de diferentes fontes e doses de fósforo.....	72
<b>Tabela 22</b> - Índice de equivalente supertriplo (%) das fontes de fósforo utilizadas no cultivo do sorgo.....	72
<b>Tabela 23</b> - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável Índice de Eficiência Agronômica em função de diferentes fontes e doses de fósforo.....	74
<b>Tabela 24</b> - Índice de eficiência agronômica (%) das fontes de fósforo utilizadas no cultivo do sorgo.....	74

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	18
2.1	A Cultura do Sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> ) .....	18
2.2	Importância da Cultura e Situação Atual no Brasil.....	20
2.3	Os Nutrientes essenciais para o crescimento das plantas.....	21
2.3.1	Macronutrientes.....	22
2.3.1.1	Nitrogênio (N).....	22
2.3.1.2	Fósforo (P).....	23
2.3.1.3	Potássio (K).....	24
2.3.1.4	Cálcio (Ca).....	25
2.3.1.5	Magnésio (Mg).....	25
2.3.1.6	Enxofre (S).....	26
2.3.2	Micronutrientes .....	26
2.3.2.1	Ferro (Fe) .....	26
2.3.2.2	Manganês (Mn) .....	27
2.3.2.3	Zinco (Zn) .....	27
2.3.2.4	Cobre (Cu).....	28
2.4	Nutrição Mineral do Sorgo .....	28
2.5	O Fósforo no Solo e na Planta .....	29
2.6	Adubação com Fósforo.....	30
3	MATERIAL E MÉTODOS .....	33
3.1	Localização e Caracterização da Área.....	33
3.2	Coleta das amostras do solo.....	34
3.3	Fontes de fosfato utilizadas.....	35
3.3.1	Análise do teor de Fósforo nos Fosfatos Naturais utilizadas.....	35
3.3.2	Análise do Fósforo do Superfosfato Triplo utilizadas .....	35
3.4	Condução do experimento .....	36
3.5	Delineamento experimental .....	36
3.6	Análise da Planta .....	38
3.6.1	Altura da Planta e Diâmetro do Caule .....	38
3.6.2	Matéria Seca da Parte Aérea.....	38
3.6.3	Macronutrientes e Micronutrientes .....	39

3.7	Índice Equivalente Supertriplo .....	40
3.8	Índice de Eficiência Agrônômica (IEA).....	40
3.9	Análises Estatísticas.....	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	41
4.1	Altura da Planta e Diâmetro do Caule .....	41
4.2	Produção da Matéria Seca da parte aérea .....	48
4.3	Acumulações de macronutrientes e micronutrientes na parte aérea da planta.....	51
4.3.1	<i>Macronutrientes na parte aérea</i> .....	51
4.3.2	<i>Micronutrientes na parte aérea</i> .....	62
4.4	Índice Equivalente Supertriplo .....	71
4.5	Índice de Eficiência Agrônômica .....	73
5	CONCLUSÕES.....	75
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	76

## 1 INTRODUÇÃO

O fósforo é considerado como o nutriente mais problemático da agricultura brasileira. Pesquisas são necessárias para determinar o seu comportamento no solo, bem como encontrar manejos que visem o uso eficiente dos adubos na busca das máximas produtividades. O sorgo (*Sorghum bicolor*), originário da África, é considerado como o quarto, ou o quinto, cereal em área plantada no mundo, e isto é devido à versatilidade de seu uso como grãos e como forragem na nutrição e nas rações de ruminantes, além do uso na produção de álcool anidro e bebidas alcoólicas. É cultivado na maior parte das regiões tropicais e subtropicais do planeta por ser tolerante á seca e às altas temperaturas. Trata-se de uma cultura bem adaptada às áreas que apresentam risco de ocorrência de deficiência hídrica ou de distribuição irregular de chuvas.

É uma importante cultura para o Brasil pela sua capacidade em substituir ao milho (*Zea mays*) como suplemento energético, trazendo grandes vantagens econômicas ao produtor. É considerada uma cultura rústica que apresenta elevada produção de biomassa, sendo a composição nutricional dos seus grãos similar a dos grãos de milho.

Atualmente, a demanda de grãos do Brasil vem aumentando em virtude do crescimento dos setores aviário, bovinocultura e suinocultura, considerando que a produção da cultura do milho não está conseguindo atender essa expansão, portanto, a cultura do sorgo, de modo oportuno, ajuda a suprir essa demanda.

Os nutrientes têm funções essenciais e específicas no metabolismo das plantas. Dessa forma, quando um dos nutrientes essenciais não está presente em quantidades satisfatórias no solo, ou em condições que o torne pouco disponível, a sua deficiência promoverá alterações no metabolismo da planta, portanto na sua produção.

O Fósforo (P) é um dos nutrientes que está entre os maiores problemas dos solos tropicais, sendo o elemento químico que mais limita a produção nesse tipo de solo e representa, então, um desafio para a produção agrícola mundial. Em regiões tropicais onde predominam solos altamente intemperizados, o fósforo é liberado para a solução em pequenas quantidades, sendo este comportamento uma consequência da sua facilidade em formar compostos através de fortes ligações com os coloides do solo, tornando-o indisponível para a planta.

Encontra-se na planta na forma de DNA (ácido desoxirribonucléico), RNA (ácidos ribonucléicos), estando presente no ácido fítico, e nos fosfolipídios. Interferem nos



processos de fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia, integrando as moléculas de ATP (adenosina trifosfato) e ADP (adenosina difosfato). Contribui para o crescimento precoce das raízes, grãos e formação das sementes, bem como interfere na eficiência no uso da água da planta, o que é extremamente relevante, principalmente para os cultivos instalados na região semiárida brasileira.

Por interferir em vários processos vitais das plantas, deve haver um suprimento adequado de fósforo desde a germinação até o final do ciclo produtivo, principalmente em plantas de ciclo curto.

Diante disso, existem poucas informações relativas à nutrição e adubação fosfatada do sorgo forrageiro para as condições tropicais brasileiras, esse fato justifica a realização de estudos que contemplem aspectos de suas exigências nutricionais. A partir dessas circunstâncias estabeleceram-se as seguintes hipóteses:

1. A fonte de fósforo afeta a produção de biomassa do sorgo.
2. A fonte de fósforo afeta a eficiência de utilização do P pelo sorgo.
3. A fonte de fósforo afeta a absorção macronutrientes e micronutrientes pela cultura do sorgo.
4. A dose de fósforo afeta a absorção macronutrientes e micronutrientes pela cultura do sorgo.
5. Os fosfatos naturais são menos eficientes que o superfosfato triplo em disponibilizar fósforo para a cultura do sorgo.

Portanto, este trabalho teve como objetivo estudar os efeitos de diferentes doses e fontes de fósforo nos componentes de produção da cultura do sorgo (*Sorghum bicolor*), assim como avaliar a eficiência agrônômica das diferentes fontes de fósforo usadas.

O presente estudo, conduzido em condições de casa de vegetação, envolveu quatro fontes de fósforo, sendo uma Fonte Industrial (Superfosfato Triplo) e três fontes naturais (Fosfato Natural da Bahia – FNB, Fosfato Natural do Tocantins - FNT, Fosfato Natural Reativo – Gafsa – FNR).

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A Cultura do Sorgo (*Sorghum bicolor*)

O sorgo pertence à família *Poaceae*, gênero *Sorghum* e a espécie cultivada é *Sorghum bicolor* (L.) Moench. É uma cultura que apresenta alto potencial para alimentação de animais, podendo ser empregado nas regiões semiáridas, por ser resistente à seca e altas temperaturas, sendo diferencial em relação às outras culturas e com isso tem sua importância em regiões onde não dispõem de irrigação artificial (OLIVEIRA *et al.*, 2002).

A origem do sorgo está provavelmente na África, embora algumas evidências indiquem que possa ter havido duas regiões de dispersão independentes: África e Índia. A domesticação do sorgo, segundo registros arqueológicos, deve ter acontecido por volta de 3000 AC, ao tempo em que a prática da domesticação e cultivo de outros cereais era introduzida no Egito Antigo a partir da Etiópia. Sendo que o sorgo chegou ao Oriente Próximo um pouco mais tarde e ao mesmo tempo atingiu a Europa através da Itália, provavelmente com sementes trazidas da Índia por volta de 60 a 70 anos DC e chegou à China no século III DC (PAUL, 1990).

As espécies “Durras” chegaram à Califórnia vindos do Egito em 1874. O tipo “Shallu”, da Índia em 1890; os “Kafirs”, da África do Sul em 1904 e alguns anos mais tarde os “Milo”, os “Feterita” e os “Hegari”, do Sudão. Na primeira década do século XX, sorgo foi extensivamente cultivado nos EUA para produção de xarope ou melaço. As cultivares eram de porte muito alto e tardias, com alguma semelhança fenotípica com os atuais sorgos forrageiros para silagem (MAGALHÃES *et al.*, 2000).

No hemisfério ocidental e nas Américas foi introduzido bem mais recente. As primeiras introduções ocorreram no Caribe, trazidas por escravos africanos, e desta região o sorgo atingiu o Sudoeste dos Estados Unidos por volta da metade do século XIX. Nos Estados Unidos, atualmente o maior produtor mundial de grãos de sorgo, lançou o que pode ter sido a primeira cultivar comercial "moderna" de sorgo do mundo, fruto, já, da manipulação genética promovida pelo homem. A partir daí numerosos materiais genéticos foram introduzidos nos EUA pelo Departamento de Agricultura e outras agências, provenientes de diversas partes do mundo (PAUL, 1990).

Magalhães *et al.*, (2000) comenta que com o advento da mecanização na segunda década do século XX, novas seleções foram sendo feitas a partir dos materiais originais, que acrescentaram mais valores às cultivares como precocidade e porte cada vez

mais baixos. Mas foi a partir da década de 40, com o surgimento dos chamados "combine types" ou sorgos graníferos é que a cultura tomou um significativo incremento em várias regiões do Oeste dos EUA.

No início dos anos 60 pesquisadores viabilizaram os híbridos. O sorgo híbrido tornou-se um incontestável sucesso nos EUA e a nova tecnologia rompeu suas fronteiras, tornando-se rapidamente uma cultura muito popular em diversos países como: Argentina; México; Austrália; China; Colômbia; Venezuela; Nigéria; Sudão; Etiópia e no Brasil.

Em todo o mundo a combinação de potencial genético e o uso de práticas de cultivo como fertilização adequada; controle de doenças, insetos e plantas daninhas; manejo da água de irrigação; zoneamento agroclimático e altas populações de plantas, tem propiciado altos rendimentos de grãos e forragem em regiões e condições ambientais desfavoráveis para a maioria dos cereais (MAGALHÃES *et al.*, 2000).

Agronomicamente os sorgos são classificados em 4 grupos: granífero; forrageiro para silagem; forrageiro para pastejo/corte ou cobertura morta; e vassoura. O primeiro grupo inclui tipos de porte baixo adaptados à colheita mecânica. O segundo grupo inclui tipos de porte alto apropriados para confecção de silagem e/ou produção de açúcar e álcool. O terceiro grupo inclui tipos utilizados principalmente para pastejo, corte verde, fenação e cobertura morta. O quarto grupo inclui tipos de cujas panículas são confeccionadas vassouras (MAGALHÃES *et al.*, 2000).

No Brasil, os tipos forrageiros para silagem e forrageiro para pastejo são os de maior importância. A cultura do sorgo forrageiro desempenha grande importância dentro do sistema de produção da bovinocultura brasileira. Esta cultura apresenta alta capacidade de produção de volumoso para utilização em períodos de baixa produção das pastagens nativas ou manejadas (RIBAS, 2008).

Atualmente, a pecuária moderna exige a máxima produção econômica de forragem com qualidade, com respeito ao meio ambiente. Para isso, uma saída racional para a exploração agrícola em bases sustentáveis seria "adaptar a planta ao solo" a partir do uso de culturas/cultivares que sejam eficientes no processo de formação de colheita "fazendo mais com menos". Nas últimas décadas, especialmente nos anos 90, a produção agrícola tem aumentado; entretanto, a aplicação de fertilizantes diminuiu, o que poderia ser explicado pela maior eficiência de uso de nutrientes pelas culturas (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Diante disso, é de fundamental importância se pesquisar formas de elevar a produtividade, melhorar a qualidade dos grãos e chegar a mais eficientes padrões de adaptação às condições agrícolas e ecológicas regionais.

## 2.2 Importância da Cultura e Situação Atual no Brasil

Devido ao potencial produtivo do sorgo, a procura de informações sobre a cultura tem aumentado associado ao surgimento de novas cultivares e expansão do seu cultivo no Brasil.

O cerrado brasileiro é considerado o segundo maior bioma nacional, com uma área de aproximadamente 207 milhões de hectares, correspondendo a cerca de 20% do território nacional. Nessa região, o cultivo do sorgo (*Sorghum bicolor*), assume destaque em substituição ao milho (*Zea mays*) como suplemento energético trazendo vantagens econômicas, uma vez que essa substituição é tecnicamente viável, especialmente nas fronteiras agrícolas, tornando-se extremamente vantajoso o uso de grãos de sorgo (AMARAL *et al.*, 1999).

O sorgo é entre as espécies alimentares, uma das mais versáteis e mais eficientes, tanto do ponto de vista fotossintético, como em velocidade de maturação. Sua reconhecida versatilidade se estende desde a matéria prima para produção de álcool anidro, bebidas alcoólicas, colas e tintas; o uso de suas panículas para produção de vassouras; extração de açúcar de seus colmos; até às inúmeras aplicações de sua forragem na nutrição de ruminantes (MAGALHÃES *et al.*, 2000).

A produtividade de sorgo no Brasil compreende a faixa de aproximadamente 2340 kg ha<sup>-1</sup> em média (CONAB, 2012). Cabe mencionar que as produtividades médias do sorgo granífero no Brasil variam, de acordo com o ambiente de cultivo e a tecnologia adotada, de 0,75 a 5 t ha<sup>-1</sup>, sendo que o potencial produtivo é de 12 t ha<sup>-1</sup>. Da mesma forma, as produtividades médias do sorgo forrageiro variam de 8 a 18 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca, com potencial produtivo de 25 t ha<sup>-1</sup> (ZAGO; GUIMARÃES, 2008).

Este fato para o Brasil é estrategicamente importante, pois ter uma área ocupada com sorgo, para a garantia do abastecimento de grãos, será de fundamental importância. A produção brasileira de grãos depende quase que exclusivamente da precipitação pluviométrica. Em anos com a ocorrência de condições desfavoráveis, normalmente há déficit na produção de grãos e o sorgo, sendo uma cultura de vocação para

cultivo em condições adversas de clima e solo, poderia reduzir o impacto desse fator no abastecimento de grãos (MAGALHÃES *et al.*, 2000).

Procurando atender à demanda por informações sobre essa cultura, elaborou-se um Programa de Sistema de Produção, que abrange os aspectos relevantes do seu manejo e adubação, de modo a propiciar ao usuário condições para familiarização com os seus fundamentos e para o planejamento e tomada de decisões no negócio do sorgo (MARTINEZ *et al.*, 1999).

Segundo Martinez *et al.*, (1999) um programa racional de adubação envolve as seguintes considerações: a) diagnose da fertilidade do solo; b) requerimento nutricional do sorgo; c) padrões de absorção e acumulação dos nutrientes, principalmente N e K; e d) fontes de nutrientes, considerações essas avaliadas neste estudo.

A diagnose tem sido utilizada na avaliação do estado nutricional e da probabilidade de resposta às adubações; na verificação do equilíbrio nutricional; na constatação da ocorrência de deficiências ou excessos de nutrientes; e no acompanhamento, avaliação e ajuda no ajuste do programa de adubação (MARTINEZ *et al.*, 1999).

### 2.3 Os Nutrientes essenciais para o crescimento das plantas

A literatura considera dezessete elementos químicos como nutrientes de plantas, a saber: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Cl, Mo e Ni. Os nutrientes são importantes para a vida, porque desempenham funções importantes em seu metabolismo, seja como substrato, seja como sistemas enzimáticos.

De forma sucinta, tais funções podem ser classificadas como (MALAVOLTA *et al.*, 1997):

- **Estrutural** (faz parte da estrutura de qualquer composto orgânico vital para a planta);
- **Constituinte de enzima** (faz parte de uma estrutura específica, grupo prostético/ativo de enzimas);
- **Ativador enzimático** (não faz parte da estrutura).

Salienta-se que o nutriente, não só ativa, como também inibe sistemas enzimáticos, com isso afeta a velocidade de várias reações no metabolismo do vegetal. Assim, percebe-se a importância dos nutrientes na vida das plantas.

Existem dois grandes grupos de nutrientes de plantas (não considerando C, H e O):

- **Macronutrientes** – São os nutrientes que são absorvidos ou exigidos pelas plantas em maiores quantidades: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S) (expresso em  $\text{g kg}^{-1}$  de matéria seca). Os macronutrientes podem ainda ser divididos em macronutrientes primários, que são N, P e K, e os macronutrientes secundários, que são o Ca, Mg e S.

- **Micronutrientes** – São os nutrientes que são absorvidos ou exigidos pelas plantas em menores quantidades: Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Boro (B), Cloro (Cl) e Molibdênio (Mo) (expresso em  $\text{mg kg}^{-1}$  de matéria seca).

De forma geral, as culturas apresentam suas necessidades nutricionais, que representam as quantidades de macro e micronutrientes que as plantas retiram do solo, ao longo do cultivo, para atender a todas as fases de desenvolvimento, expressando em colheitas adequadas (máximas econômicas).

Nesse sentido, os estudos sobre a extração de nutrientes podem identificar, nas culturas, a exigência nutricional para um determinado nutriente e, assim, é possível atender a sua demanda, incrementando a produção da cultura. O fornecimento de nutrientes para as plantas é importante, pois, além de participarem das moléculas orgânicas que constituem as plantas, além da sua síntese como catalisadores em reações, com menor gasto de energia, auxilia também na economia de água pelas plantas (PRADO, 2008).

A característica de rusticidade do sorgo, ao contrário do que muitos pensam, não significa que a planta não precisa de nutrientes ou não responda à adubação.

### **2.3.1 Macronutrientes**

#### **2.3.1.1 Nitrogênio (N)**

Em quantidades adequadas, o nitrogênio, pode favorecer o crescimento da raiz, devido ao fato de que o crescimento da parte aérea aumenta a área foliar e a fotossíntese, e, com isso, maior fluxo de carboidratos para a raiz, favorecendo o seu crescimento. Segundo Black (1968), o N disponível estimula o crescimento das plantas e aumenta a utilização dos carboidratos disponíveis para formação de células e de protoplasma.

Cardoso (2005) narra que na maioria das culturas forrageiras, observa-se alta resposta à aplicação do nitrogênio e salienta-se que a irrigação é importante para maximizar a resposta das plantas à nutrição nitrogenada.

O efeito do nitrogênio no aumento da qualidade da matéria seca, ou seja, na maior proporção de folhas e perfilhos novos, massa foliar e longevidade foliar, tem reflexos em maior consumo voluntário de matéria seca pelo animal, que é maximizado pelo uso de intervalos de corte menor, tendo teor de proteína maior e, portanto, com benefícios na qualidade da forragem (PRADO, 2008).

A deficiência de nitrogênio tem como sintoma típico um amarelecimento da folha por falta de clorofila, que deixa de ser sintetizada, ou é degradada (hidrólise e redistribuição de proteínas), para a liberação do nitrogênio para suprir a deficiência nas folhas novas. O sintoma aparece nas folhas mais velhas devido ao transporte do nitrogênio dessas folhas para folhas mais novas. Entretanto, com o tempo, tem-se agravamento da deficiência, com a clorose atingindo todas as folhas, seguida de necrose. A deficiência de N restringe o potencial de perfilhamento das plantas forrageiras (Alexandrino *et al.*, 2005) e, principalmente, limita o crescimento e o aparecimento de folhas individuais e a capacidade fotossintética (WHITEHEAD, 1995). Assim, o crescimento da parte aérea é mais prejudicado que o das raízes.

Os principais aspectos de excesso de nitrogênio absorvido e metabolizado estão relacionados ao desvio de carboidratos para as proteínas, que promove excesso de desenvolvimento vegetativo da parte aérea, em detrimento do reprodutivo (produção), possivelmente por desequilíbrio dos fitormônios e, também, causando aumento da relação parte aérea/raiz, prejudicando o desenvolvimento do sistema radicular, diminuindo a capacidade de resistência das plantas a períodos secos (veranicos) e, ainda, o acamamento das plantas. Assim, altas doses de nitrogênio podem reduzir a qualidade da forragem para bovinos, pois há possibilidade de acúmulo de níveis tóxicos de nitrato na forragem (OLSEN, 1972).

### **2.3.1.2 Fósforo (P)**

No solo, o teor de P adequado para forrageiras em geral depende da exigência, sendo >8; >11 e >18 mg P dm<sup>-3</sup> (em resina) (Vilela *et al.*, 1998) ou >7; > 9 > 12 mg P dm<sup>-3</sup>

(Souza *et al.*, 2007), para espécies pouco exigentes, exigentes e muito exigentes, respectivamente, para as condições do Cerrado.

No Estado de São Paulo, consideram como adequado teor de P (em resina) > 40 mg dm<sup>-3</sup>, para forrageiras gramíneas, independentemente da sua exigência. Nota-se, portanto, que, se o teor do nutriente no solo estiver abaixo dos valores indicados pelos autores existe a necessidade de aplicação, pois haverá resposta da forrageira (WERNER *et al.*, 1997).

O fósforo desempenha papel do ativador enzimático, contribuindo para funções vitais que possibilitem a máxima acumulação de matéria seca do produto agrícola final (grão ou forragem) e, em seguida, consumo pelo animal (PRADO, 2008).

O P é um dos nutrientes que mais limitam a produtividade das culturas nos solos de carga variável que predominam nas regiões tropicais e subtropicais, caso dos solos brasileiros (Meurer, 2006), porém é o nutriente mais utilizado como fertilizante, sendo, portanto, este elemento discutido de modo mais abrangente e com mais detalhes.

A deficiência de P em pastagem pode limitar especialmente na fase de implantação da pastagem, onde a exigência inicial da forrageira é alta, desde a fase de semeadura (sistema radicular pouco desenvolvido), até a fase de pleno crescimento, onde o acúmulo do P é alto, a qual, tendo baixa disponibilidade no solo, poderá surgir à sintomatologia de deficiência. O sintoma mais característico de deficiência de fósforo é o aparecimento de coloração verde mais escura nas folhas mais velhas, visto que o número de folhas e a expansão da área foliar diminuem muito, em detrimento da formação de clorofila (PRADO, 2008).

### **2.3.1.3 Potássio (K)**

A maior parte do K da forrageira, absorvido pela planta, é exportada pela remoção da parte aérea, e outra parte permanece na área como resíduo vegetal. A deficiência de K leva a alterações em diferentes níveis, desde o início na dinâmica do metabolismo a nível bioquímico, até atingir os tecidos. Assim, Malavolta (1984) indica um enfraquecimento das membranas celulares das camadas mais externas, isolamento de cloroplastos e presença de matéria graxa, e a destruição do cloroplasto, deterioração das mitocôndrias, e, posteriormente, ocorrem falhas na diferenciação dos tecidos condutores e perda da atividade cambial.



Nas culturas em geral, os sintomas de deficiência de K, caracterizam-se pela clorose marginal e necrose das folhas, inicialmente, as mais velhas (MALAVOLTA, 1980). É pertinente salientar que, em determinadas condições, a deficiência de K pode ser semelhante à toxicidade de B.

Apesar de as plantas apresentarem consumo de luxo de K, os sintomas característicos não são conhecidos. Entretanto, em plantas submetidas ao excesso do nutriente, a sintomatologia confunde-se com os danos causados pela salinidade, que é alta nos principais fertilizantes potássicos (PRADO, 2008).

#### **2.3.1.4 Cálcio (Ca)**

O cálcio é importante nos pontos de crescimento, como para o desenvolvimento de raízes e gemas e é importante para a retenção de folhas e maturação dos frutos.

Prado (2008) relata que os sintomas de deficiência de Ca ocorrem, inicialmente, em regiões meristemáticas (pontos de crescimento) e nas folhas novas apresentando cor esbranquiçada nas margens de folhas e formas irregulares de folhas, com dilaceramento das margens e aspecto gelatinoso em suas pontas. Já o excesso, é altamente tolerado pelas plantas, podendo atingir nas folhas velhas cerca de 10% de Ca, sem sintomas de toxicidade.

#### **2.3.1.5 Magnésio (Mg)**

Elemento que participa no processo de síntese dos hidratos de carbono, determina o volume da produção e é fundamental na composição da clorofila.

A deficiência de Mg pode ocorrer pela baixa concentração no meio de cultivo ou também pode ocorrer deficiência induzida pela competição com outros cátions, como o K. Como a maior parte do Mg da planta é móvel no floema, a deficiência aparece, inicialmente, nas folhas mais velhas, por meio de uma clorose internerval, podendo ser acompanhada por manchas amareladas (PRADO, 2008).

Prado (2008) relata que o fornecimento de magnésio em níveis excessivos resulta em deposição do elemento na forma de diferentes sais nos vacúolos celulares e que

são escassos os trabalhos descritos na literatura sobre os efeitos prejudiciais ao desenvolvimento e produção das plantas.

A maior quantidade de Mg aplicado inibe a absorção de Zn, por se tratar de elemento com valência, raio iônico e grau de hidratação semelhantes (Kabata-Pendias; Pendias, 1984) e também do Ca.

### **2.3.1.6 Enxofre (S)**

Em solos que sofrem adições de sulfato, seja pelo processo da mineralização, seja pela adubação (superfosfatos) e gessagem, o mesmo, por apresentar alta mobilidade no solo, pode sofrer também perdas por lixiviação.

Como a participação do enxofre de estruturas orgânicas nas plantas e de diversas reações enzimáticas, sua deficiência pode trazer prejuízos também na síntese protéica, como um acúmulo de nitrogênio (N-nitrato ou N orgânico), promovendo redução do teor de proteína nas plantas e no crescimento vegetal (PRADO, 2008).

A deficiência de enxofre causa uma clorose muito semelhante à de deficiência de nitrogênio. A distinção pode ser feita quando se detecta no início, uma vez que a deficiência de enxofre começa pelas folhas mais novas devido à baixa mobilidade do mesmo nas plantas, e a de nitrogênio, começa pelas folhas mais velhas, o que é atribuído à alta mobilidade desse nutriente. Entretanto, com o agravamento da sintomatologia, pode ocorrer clorose distribuída de forma uniforme tanto nas folhas novas como nas velhas.

As plantas, no geral, são relativamente tolerantes a altos níveis de S na solução do solo. A alta concentração de sulfato nos solos podem causar pequeno desenvolvimento da planta e intensa coloração verde-escura das folhas. Além disso, pode ocorrer prematura senescência de folhas.

## **2.3.2 Micronutrientes**

### **2.3.2.1 Ferro (Fe)**

O primeiro micronutriente mais abundante em solos tropicais é o Ferro. É um elemento importante na formação da clorofila e nos processos metabólicos da planta (respiração e síntese de proteínas).

O início da deficiência de Fe caracteriza-se pela redução no tamanho dos cloroplastos, na síntese de proteínas e no conteúdo de clorofilas. Em sorgo, o excesso de Fe torna as folhas mais claras, com lesões desde enegrecidas até cor palha nas margens (PRADO, 2008).

### **2.3.2.2 Manganês (Mn)**

O segundo micronutriente mais abundante em solos tropicais, é o Mn, perdendo apenas para o Fe.

De maneira geral, a deficiência de manganês é caracterizada por clorose (amarelecimento) da superfície das folhas jovens, podendo avançar e formando nervuras.

A toxicidade aparece, inicialmente, em folhas jovens, caracterizada por clorose marginal que evoluem para necróticas na superfície do limbo e encarquilhamento das folhas, especialmente em leguminosas. Nestes pontos necróticos é que se acumula o Mn em altas concentrações. As plantas podem apresentar crescimento reduzido, com aspecto de enfezamento. Em muitas espécies, os sintomas de toxicidade de manganês são caracterizados por salpicos marrons em folhas maduras.

### **2.3.2.3 Zinco (Zn)**

O Zn é um micronutriente limitante para a maioria das culturas. Isto se deve à sua baixa concentração no solo e a práticas agrícolas inadequadas.

Prado (2008) relata que é comum a deficiência de zinco em culturas cultivadas em solos tropicais. Normalmente, a deficiência de zinco nas diversas espécies é caracterizada pelo encurtamento dos internódios e da folha pequena; entretanto, têm-se faixas amareladas (ou brancas) entre a nervura e as bordas das folhas.

As plantas deficientes em Zn podem levar à clorose, diminuição do tamanho das folhas e alto teor de P, especialmente nas folhas velhas, e tem-se inibição da redistribuição do P da parte aérea para a raiz.

A toxicidade de Zn manifesta-se pela diminuição da área foliar, seguida de clorose. Além disso, faz diminuir a absorção de K.

### 2.3.2.4 Cobre (Cu)

Apresenta função importante na síntese de proteínas e no metabolismo dos carboidratos. É importante na fase de formação da cultura, pois interfere no crescimento.

Uma deficiência de Cu, às vezes, causa apenas menor crescimento e redução da colheita, sem sintomatologia característica, enquanto deficiências mais severas podem causar amarelecimento (ou coloração verde-azulada) das folhas, estas podem ficar murchas ou com as margens enroladas para cima ou, ainda, ficar maiores que as normais, podendo até ocorrer à morte das regiões de crescimento da planta. (PRADO, 2008).

O excesso de nitrogênio, especialmente em áreas com baixo teor de Cu disponível, pode diminuir o transporte do Cu para as partes jovens das plantas, induzindo a sua deficiência.

A toxidez de Cu não é comum; entretanto, durante os estádios iniciais, a redução de crescimento é evidente indica toxidez de cobre.

## 2.4 Nutrição Mineral do Sorgo

A escassez de informações quanto às exigências nutricionais de cultivares de alto potencial produtivo justifica a realização de estudos que contemplem estes materiais genéticos, quanto a essas exigências (quanto e quando aplicar de determinado nutriente). Isso contribuirá para aumentar a eficiência no manejo da adubação, o que possibilitará aumento na produção e redução de custos na lavoura, pela utilização mais racional e eficiente dos fertilizantes e do solo (BORGES, 2006).

A exigência nutricional é a quantidade de nutrientes acumulados na planta inteira durante seu ciclo de produção. Para contabilizar a exigência nutricional (EN) de uma cultura, é necessário considerar os nutrientes absorvidos pela planta. Normalmente, o incremento da produção da cultura implicará aumento da quantidade de nutrientes acumulados pela planta, ou melhor, a exigência nutricional. A ordem-padrão, decrescente de extração das culturas em geral, é a seguinte:

**Macronutrientes:**  $N > K > Ca > Mg > P > S$

**Micronutrientes:**  $Cl > Fe > Mn > Zn > B > Cu > Mo$

Cantarella *et al.* (1997) estudando a extração de macronutrientes pela cultura do sorgo, concluíram que para a produção de uma tonelada de grãos são exportados 17 kg

N; 4 kg P; 5 kg K e 1,2 kg S. Entretanto, para a planta inteira, observaram que para cada tonelada de grãos são exportados respectivamente 30; 6; 23 e 2,7 kg de N, P, K e S. Em outro estudo semelhante, porém com micronutrientes, Malavolta (1986) observou que para cada tonelada de grãos produzidos são extraídos, pelas plantas inteiras de sorgo, 100 g de B; 73 g de Cu; 1.893 g Fe; 340 g Mn; 2,67 g Mo e 162 g Zn.

## 2.5 O Fósforo no Solo e na Planta

O Fósforo (P) é um dos elementos vitais para a agricultura e para a vida em geral, porque contribui em todas as cadeias alimentícias, participando de todas as reações químicas e de compostos minerais como combinações orgânicas (lecitina, fitinas e proteínas). Nas plantas, constitui os fosfolipídios e ácido nucléico, e a sua redução implica principalmente na queda do crescimento e da produção de grãos, e implica na consequente deficiência no valor alimentício (CASTRO; MELGAR, 2005).

No Brasil é o nutriente mais utilizado com fertilizante, embora seja exigido em menor quantidade que o nitrogênio e o potássio pelas plantas, e isto se explica pelo baixo teor do elemento nos solos e a forte interação desse elemento com o solo (RAIJ, 1991).

O fósforo adsorvido pelas plantas vem da solução do solo, mas apenas pequenas quantidades dele estão presentes na solução. A principal forma química é o íon ortofosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ). Existe um equilíbrio químico entre as formas de fósforo em solução e fracamente ligadas aos minerais do solo e matéria orgânica (P lábil). Assim que o fósforo é retirado da solução do solo, vai sendo reabastecido de maneira a manter o equilíbrio. Com o passar do tempo, formas mais estáveis de fósforo são formadas, aumentando o “pool” de P não lábil. O pH do solo influencia a forma química do fósforo que estará na solução e também a eficiência de utilização do fósforo pelas as plantas (RAIJ, 1991).

À medida que o pH aumenta, aumenta a disponibilidade do P já presente no solo. Esse fenômeno é explicado pela competição que se estabelece entre os ânions  $\text{OH}^-$  (do pH que se eleva) e os  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HPO}_4^{2-}$  das superfície dos coloides (AQUINO, 2008). A capacidade de um solo renovar o P da solução dependerá da capacidade tampão de P desse solo. A capacidade tampão de P do solo define-se pela relação entre a quantidade de P da fase sólida e a concentração de P em equilíbrio na solução (AQUINO, 2005). Portanto, solos com diferentes capacidades tampão de P requererão diferentes quantidades de adubos fosfatados para fornecer a mesma quantidade de P na solução.

O maior contato de P no solo acarreta em mais P fixado portando a dose aplicada deve ser superior a que a planta necessita para que a solução do solo seja sempre renovada. O fósforo favorece ainda na fase de floração das plantas e no desenvolvimento do sistema radicular, diminuindo o extravio de água por meio da retenção da mesma e aumenta a absorção de outros elementos. Além disso, um maior sistema radicular aumenta a absorção do fósforo.

Pelo fato da planta necessitar de quantidades de P/ha bem superiores às encontradas na solução do solo, deduz-se que esta solução precisa ser constantemente renovada a fim de atender à demanda da planta. Em virtude dessas baixas concentrações de P na solução do solo deva ser renovada é de grande importância a fim de que a quantidade de P absorvida pelas raízes atenda efetivamente a demanda da planta (AQUINO, 2008).

Sintomas característicos de deficiência de fósforo incluem crescimento reduzido em plantas jovens e uma coloração verde escura das folhas, as quais podem encontrar-se malformadas e conter pequenas manchas de tecido morto, chamadas manchas necróticas (TAIZ *et al.*, 2004). E de acordo com Rosolem; Marubayashi (1994), os caules ficam mais curtos e finos e os sintomas se desenvolvem de baixo para cima da planta.

## 2.6 Adubação com Fósforo

As principais fontes de Fósforo (P) comercializadas no Brasil são os fosfatos acidulados, os fosfatos naturais e os termofosfatos. No entanto na agricultura brasileira mais de 90% dos fosfatos utilizados são os acidulados (GOEDERT *et al.*, 1988). Um benefício desses fertilizantes fosfatados é a facilidade de aplicação localizada por se tratar de produtos granulados. Entretanto, em solos ácidos intemperizados, imediatamente após a aplicação de fontes de P de elevada solubilidade em água uma parte do fósforo aplicado tornar-se imediatamente indisponível pelos processos de adsorção nas superfícies de óxidos de Fe e de Al e minerais de argila e/ou precipitação como minerais secundários de fósforo ligado a ferro e a alumínio (HAVLIN *et al.*, 2005).

Lopes (1989) afirma que a adubação fosfatada além de promover a formação e o crescimento prematuro de raízes, também melhora a eficiência no uso da água, e quando se encontra em alto nível no solo, ajuda a manter a absorção deste pelas mesmas. Encontrar-se nos solos do semi árido limitações químicas, dentre essas, baixo conteúdo de fósforo. De tal maneira que, o mesmo é considerado essencial para esta cultura e dentre as

diversas funções que exerce nas plantas, melhora a eficiência no uso da água, o que é extremamente relevante, principalmente para os cultivos instalados na região semiárida brasileira.

Os fosfatos acidulados mais usados são superfosfato simples e superfosfato triplo, obtidos pela reação da rocha fosfática com ácido sulfúrico e ácido fosfórico respectivamente, além dos fosfatos de amônio (monoamônio – MAP e diamônio – DAP) obtidos pela reação do ácido fosfórico com amônia. Geralmente, estas fontes são utilizadas como fontes padrão de fósforo em experimentos que avaliam a eficiência

A caracterização destas fontes de P é realizada mediante determinações dos teores de  $P_2O_5$  total, solúvel em citrato neutro de amônio + água (CNA +  $H_2O$ ), solúvel em água (RAIJ, 1991).

Vance *et al.*, (2003) estimam que as reservas de fósforo no mundo economicamente viáveis para exploração podem ser suficientes até 2050, indicando a necessidade de estudar a eficiência de fontes alternativas de P para as culturas.

Os fosfatos naturais são concentrados apatíticos, também conhecidos como fosfatos de rocha, que se formaram sob regimes geológicos distintos – ígneos, sedimentares ou metamórficos. Assim, os depósitos de fosfatos de origem ígnea, ou magmática, são geralmente pobres em sílica, possuem textura simples e contêm rochas associadas do tipo carbonatitos e ultrabásicas, em que a fluorapatita é o principal mineral fosfático, como Jacupiranga e Catalão no Brasil e Tennessee nos EUA (KAMINSKI, 1990). Estes fosfatos representam, aproximadamente, 17% das reservas mundiais e cerca de 50% das reservas brasileiras (HAMMOND, 1977).

Os fosfatos de origem sedimentar possuem história geológica complexa e variada, podendo ser detríticos, precipitados químicos ou conter quantidades significativas de apatita fóssil (orgânica); e os minerais predominantes são apatitas com alto grau de substituições isomórficas de fosfato por carbonato, e são encontradas em áreas desérticas ou de clima seco. São muitas vezes identificados como francolitas ou fosforitas (KLIEMAN; LIMA, 2001).

Os fosfatos de origem metamórfica representam uma categoria intermediária entre as rochas sedimentares e ígneas, mas são rochas duras e apresentam outros minerais misturados mais intimamente entre si, conservando a estrutura básica dos sedimentos. São também identificadas como rochas meta sedimentares (ZAPATA; ROY, 2004).

No mercado brasileiro são encontrados alguns dos fosfatos naturais reativos que permitem sua utilização diretamente na agricultura, como os fosfatos naturais da Carolina do Norte nos EUA; de Gafsa na Tunísia; de Daoui em Marrocos, de Sechura no Peru e o de Arad em Israel (SANTOS QUISPE, 2004). Porém, o emprego desses materiais, na forma como são comercializados, não se fundamenta ainda em informações da pesquisa agrícola que assegurem ou não a sua eficiência como fontes de P alternativas.

A eficiência dos fosfatos naturais está intimamente relacionada com o grau de substituição de carbono ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) por fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), que gera instabilidade na estrutura cristalina da rocha (LEHR; McCLELLAN, 1972). Outros fatores são importantes quando se trata de aplicação dos fosfatos diretos tais como: superfície específica e granulometria (COUTINHO *et al.*, 1991).

Segundo Rajj (1991), os fosfatos naturais têm baixa solubilidade em água, e assim, quanto menor o tamanho da partícula e maior o contato com o solo, maior será a liberação de fósforo.

A aplicação direta de fosfatos naturais frequentemente não dá resultados satisfatórios quando esses são de baixa reatividade, aplicados em solos com pH elevado ou em períodos de tempo curto de desenvolvimento de uma cultura (CHIEN, MENON, 1995).

No entanto, em termos mundiais, as principais reservas minerais de fosfatos naturais são encontradas em Marrocos (21 bilhões de toneladas), China (10 bilhões de toneladas), EUA (4 bilhões de toneladas), República da África do Sul (2,5 bilhões de toneladas) e Jordânia (1 bilhão), o que representa 83,5% do patrimônio mundial de rocha fosfática. As principais jazidas de exploração de rochas fosfática no Brasil são situadas em Catalão e Ovidor (GO), Araxá e Tapira (MG) e Jacupiranga (SP), de acordo como o Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM (2005).

Dentre as várias fontes minerais e orgânicos de P disponíveis para o uso na agricultura, os fosfatos totalmente acidulados, como os superfosfatos, são as fontes de P mais utilizadas no mundo para a correção dos baixos teores de fósforo no solo (BARBOSA FILHO, 1984). Isso ocorre em consequência da sua elevada quantidade de P considerado disponível para as plantas.

Além disso, o uso de fertilizantes fosfatados acidulados solúveis em água, como superfosfato triplo ou simples, pelos agricultores de baixa renda é limitado nos países em desenvolvimento principalmente pelo seu elevado custo (CHIEN *et al.*, 1996).



Os fosfatos de rocha são a matéria-prima para a produção dos fertilizantes solúveis em água, e o processamento industrial prevê a quebra da estrutura cristalina mediante a ação de ácidos fortes, como o ácido sulfúrico na fabricação do superfosfato simples e ácido fosfórico na fabricação do superfosfato triplo. A reação dos fosfatos naturais com amônia produz os fosfatos monoamônico (MAP) e diamônio (DAP), com alta concentração de nutrientes, vantajoso para transportes a longas distâncias.

Por causa do tratamento da rocha fosfática com ácido sulfúrico, o superfosfato simples - SS é uma mistura de fosfato monocálcio com gesso. Assim, uma fosfatagem corretiva com esta fonte, indiretamente, promove gessagem parcial ou total, dependendo do tipo de solo. Contém em torno de 18% de  $P_2O_5$  solúvel em citrato neutro de amônio mais água (CNA+água), dos quais cerca de 90% é solúvel em água.

Em adição, apresenta cerca de 12% de enxofre e 26% de CaO. Podem ser citadas com principais vantagens desse produto: fornece, além de fósforo, cálcio e enxofre; há formação do gesso agrícola como resíduo, que pode corrigir áreas solidas e melhorar o ambiente radicular em profundidade; e apresenta elevada solubilidade em água (VITTI *et al.*, 2003).

Portanto, a eficiência da adubação fosfatada é baixa e novos estudos com fontes de P são necessários.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e Caracterização da Área

O experimento foi realizado em casa de vegetação, do Departamento de Ciências do Solo, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici em Fortaleza, Ceará, Brasil. A área escolhida está inserida numa região pertencente ao grupo de clima tropical chuvoso, apresentando tipo climático Aw' de acordo Köppen (1948), clima este característico da cidade de Fortaleza-CE.

O solo que foi usado no experimento é classificado como Cambissolo Háplico Eutófico segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006), retirado da Chapada do Apodi localizada no município de Limoeiro do Norte, estado do Ceará, a 198 km de distância da capital Fortaleza.

Possui um clima tropical quente com temperatura média anual de 28,5°C, sendo a mínima de 22°C e a máxima de 35°C. A precipitação média anual é 772 mm, registrando-se uma distribuição de chuvas muito irregular, espacial e temporariamente.

As características físicas e químicas do solo desta região se encontram na Tabela 1. O relevo do local é plano com declividade dominante inferior a 2%, observando-se apenas pequenas áreas ligeiramente deprimidas como variação das condições da morfologia geral.

**Tabela 1** - Características físico-químicas do Cambissolo usado no experimento.

pH (H <sub>2</sub> O)	6,8
M.O (g kg <sup>-1</sup> )	20,8
C (g kg <sup>-1</sup> )	12,0
N (g kg <sup>-1</sup> )	1,1
CE (dS m <sup>-1</sup> )	0,3
P (mg kg <sup>-1</sup> )	1,0
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,1
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,5
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	4,4
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,8
H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,9
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,1
SB (%)	6,8
T (%)	8,8
V (%)	77
m(%)	1
PST	1
Areia Grossa (g kg <sup>-1</sup> )	457
Areia Fina (g kg <sup>-1</sup> )	172
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	131
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	240
Argila natural (g kg <sup>-1</sup> )	110
Densidade Global-g cm <sup>-3</sup>	1,43
Classificação Textural	Franco Argilo Arenosa

Fonte: AUTORA (2013).

### 3.2. Coleta das amostras do solo

Foi retirada a camada superior do solo (0-25 cm) em uma área de mata nativa, com remoção da cobertura vegetal; as amostras foram colocadas em sacos plásticos com capacidade de aproximadamente 60 kg, sendo transportados para a casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará. Posteriormente, as

amostras foram secas ao ar, destorroadas, passadas em peneira de malha de 2 mm de abertura.

### **3.3 Fontes de fósforo utilizadas**

Para a condução do experimento foram analisadas quatro fontes de fósforo, sendo, uma Fonte Industrial (Superfosfato Triplo - ST) e três Fontes Naturais (Fosfato Natural de Bahia – FNB, Fosfato Natural do Tocantins - FNT e Fosfato Natural Reativo - FNR). Foram realizadas análises para determinação do teor de fósforo (percentagem) de cada uma das fontes acima relacionadas e usadas no experimento.

#### ***3.3.1 Análise do teor de fósforo dos Fosfatos Naturais utilizadas***

Os fosfatos naturais depois de adquiridos foram homogeneizados e submetidos à estufa para secagem a 110 °C até peso constante. O fósforo total presente nos fosfatos naturais foi analisado de acordo com o método colorimétrico do ácido molibdovanadofosfórico (EMBRAPA, 1997). Para isso, pesou-se 0,5 g da amostra de fosfato natural em um becker de 250 mL. Em seguida, foi adicionado 30 mL de ácido nítrico e 5 ml de ácido perclórico, sendo posteriormente submetida à fervura para destruir a matéria orgânica existente. Logo após foi adicionado 40 mL de água destilada e levado a à fervura por 3 minutos. Em seguida, o material foi transferido para balão volumétrico de 250 mL e avolumado com água destilada. O fósforo da amostra foi determinado em espectrofotômetro a 660 nm.

#### ***3.3.2 Análise do Fósforo do Superfosfato Triplo utilizadas***

A determinação do teor de fósforo total no superfosfato triplo foi determinada utilizando apenas água para a extração. Para isso, pesou-se 0,5 g de superfosfato triplo, sendo posteriormente colocado em papel filtro que estava acoplado um funil. O superfosfato triplo foi lavado durante varias vezes até o líquido preencher o volume de 250 mL do balão volumétrico. O fósforo foi determinado em espectrofotômetro a 660 nm (EMBRAPA, 1997). A Tabela 2 apresenta os teores de fósforo encontrados nos fosfatos naturais e no superfosfato triplo utilizados usados no estudo.

**Tabela 2** - Teor de P Total encontrado nos fosfatos naturais e no superfosfato triplo.

Fonte	Fósforo (%)
ST	18,0
FNB	9,5
FNT	6,1
FNR	10,9

Fonte: AUTORA (2013).

### 3.4 Condução do experimento

Após a coleta das amostras de solos e análises dos teores de fósforo das fontes, foi realizado o enchimento dos vasos com 4 kg de solo para o cultivo do sorgo. O plantio das sementes certificadas do sorgo fornecidas pela Secretaria do Desenvolvimento Agrário - DAS, sede em Fortaleza-CE, foi realizado em novembro de 2012.

### 3.5 Delineamento experimental

Para o delineamento experimental foram utilizadas quatro doses de Fósforo (P), 0, 100, 200 e 300 mg de P kg<sup>-1</sup>, com quatro repetições. O delineamento experimental que foi utilizado é o de blocos inteiramente casualizados dispostos em um esquema fatorial 4.4.4 (doses de P, fontes de P e repetições, respectivamente). Desta forma, o experimento constou 16 tratamentos totalizando 64 unidades experimentais (Figura 1).

**Figura 1** - Vista da disposição dos vasos correspondendo às unidades experimentais.



Fonte: AUTORA (2013).

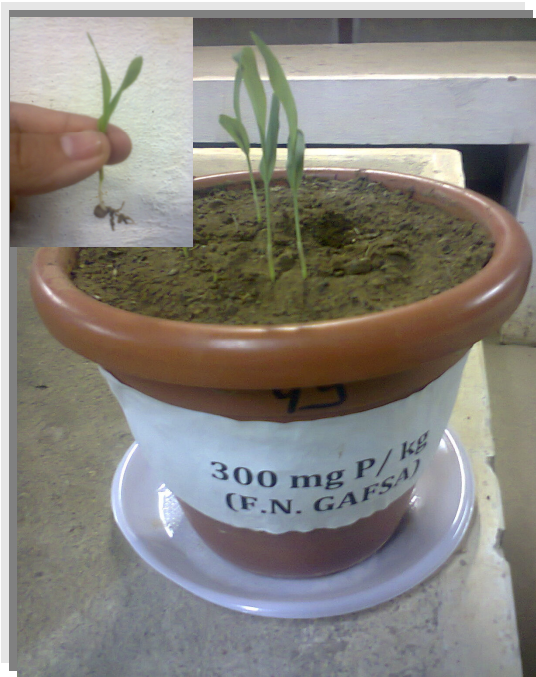
**Figura 2** - Vista do experimento com sete dias após a emergência das sementes.



Fonte: AUTORA (2013).

Nos vasos com 4 Kg de solo, foram plantadas oito sementes por vaso. Após sete dias do plantio (Figura 2) foi realizado o desbaste, deixando-se três plantas por vaso (Figura 3 e 4).

**Figura 3** - Desbaste sendo realizado no cultivo do sorgo.



Fonte: AUTORA (2013).

**Figura 4** - Plantas desbastadas.



Fonte: AUTORA (2013).

A adubação básica foi constituída de Sulfato de Amônio -  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , (1000 mg de N/ vaso<sup>-1</sup>), Cloreto de Potássio - KCl (500 mg de K vaso<sup>-1</sup>) e Micronutrientes: Sulfato Manganoso Hidratado -  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (25 mg de Mn vaso<sup>-1</sup>), Fe-EDTA (12 mg de Fe vaso<sup>-1</sup>), Sulfato Cúprico Hidratado -  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (5 mg de Cu vaso<sup>-1</sup>), Tetraborato de Sódio Hidratado -  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (8 mg de B vaso<sup>-1</sup>), Molibdato de Amônio -  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (1 mg de Mo vaso<sup>-1</sup>) e Sulfato de Zinco Hidratado -  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (16 mg de Zn vaso<sup>-1</sup>).

A irrigação dos vasos foi realizada diariamente com base no peso dos vasos, procurando-se manter o teor de umidade constante. Por fim a colheita do material para análises ocorreu aos 45 dias após a emergência das sementes.

### 3.6 Análises da planta

#### 3.6.1 Altura da planta e Diâmetro do caule

A altura da planta foi medida aos 45 dias da emergência da planta; com o auxílio de uma trena, a medição da altura da planta foi realizada desde a superfície do solo até a ponta da maior folha (Figura 5).

O diâmetro do caule das plantas foi determinado logo após o segundo internódio com o auxílio de um paquímetro digital (Figura 6).

**Figura 5** - Medição da altura da planta.



Fonte: AUTORA (2013).

**Figura 6** - Medição do diâmetro do caule.



Fonte: AUTORA (2013).

#### 3.6.2 Matéria seca da parte aérea

Ao final do experimento, após os 45 dias depois da emergência, as plantas foram coletadas para análises laboratoriais. As partes aéreas foram acondicionadas em sacos de papel e posteriormente secadas em estufa de circulação forçada de ar (65 °C), até atingir peso constante em 48 h. Logo em seguida, o material vegetal foi pesado para obtenção da produção da matéria seca da parte aérea - PMSPA (em g/vaso).



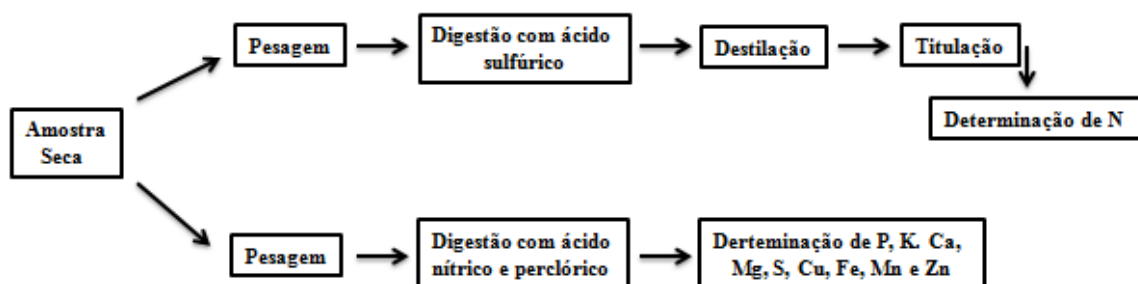
### 3.6.3 Macronutrientes e Micronutrientes

Depois da determinação da PMSPA, foi efetuada a moagem para digestão e realização das demais análises físico-químicas. Foram realizadas as determinações dos teores de macronutrientes e micronutrientes do tecido vegetal.

Os macronutrientes analisados foram: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre. Os micronutrientes analisado foram: ferro, manganês, zinco e cobre.

Para as determinações dos nutrientes acima relacionados, foi utilizada a digestão úmida com solução nitro-perclórica (3:1) de acordo com metodologia proposta por Malavolta *et al.*, (1997) e Embrapa (1997). A figura 7 apresenta um esquema simplificado do processo de análise.

**Figura 7** - Esquema simplificado do processo de análise foliar dos nutrientes.



Fonte: AUTORA (2013).

Para a obtenção do extrato nitro-perclórico, pesou-se 0,5g do material vegetal em tubos de vidro e em seguida adicionou-se 6,0 mL da mistura de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) + ácido perclórico ( $\text{HClO}_4$ ) deixando em repouso por 3 a 4 horas. Em seguida, os tubos foram colocados em uma placa digestora onde a temperatura foi gradativamente elevada até atingir  $120^\circ\text{C}$ , permanecendo nesta temperatura até o volume se reduzir à metade. Passado esse tempo, a temperatura foi aumentada para  $200^\circ\text{C}$  e mantida constante até o extrato ficar incolor, cujo tempo de duração foi em torno de 3 a 4 horas.

Após o esfriamento, o extrato foi avolumado com água destilada em um balão volumétrico de 50 mL. A determinação do fósforo foi realizada por espectrofotometria com azul-de-molibdênio, sendo utilizado 5,0 mL do extrato da digestão úmida com 10 mL

da solução diluída de molibdato e uma pitada de ácido ascórbico. Após o tempo de 30 minutos, foi feita a leitura no espectrofotômetro a 660 nm.

Após a obtenção do extrato, os micros e macronutrientes foram analisados. O potássio foi determinado usando o fotômetro de chamas, e os demais, com exceção do nitrogênio, foram determinados utilizando a técnica de espectrofotometria de absorção atômica.

O nitrogênio foi analisado através da digestão sulfúrica seguida de destilação pelo método Kjeldahl. Para isso, foram utilizados 0,2 g de amostra e 7 mL da mistura digestora. As amostras foram colocadas em tubos e submetidas ao processo de digestão. No bloco digestor, as mesmas foram aquecidas lentamente até 350°C, as quais permaneceram em extração por até 4 horas, ou até a obtenção de um líquido esverdeado.

Com os dados das concentrações dos macronutrientes e dos micronutrientes da parte aérea e das produções da matéria seca, foi possível determinar a quantidade de cada nutriente acumulada por vaso.

Todas as análises foram realizadas com três repetições nos laboratórios do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará - UFC.

### 3.7 Índice Equivalente Supertriplo

O índice equivalente supertriplo foi utilizado para relacionar percentualmente a produção de matéria seca na parte aérea obtida utilizando uma dose de um fertilizante-teste de fósforo e a produção obtida com a mesma dose na forma de superfosfato triplo de acordo com a equação abaixo:

$$\text{Índice Eq. Supertriplo (\%)} = (P_1 / P_2) \times 100$$

Onde:

P<sub>1</sub>= Produção da massa seca da parte aérea (MSPA) com certa dose de fosfato natural;

P<sub>2</sub>= Produção da massa seca da parte aérea (MSPA) com certa dose do superfosfato triplo.

### 3.8 Índice de Eficiência Agronômica (IEA)

O índice de eficiência agronômica (IEA) foi calculado com os valores de produção de massa seca da parte aérea (PMSPA), conforme equação abaixo descrita por



Chien e Hammond (1978) e utilizada por Moreira, Malavolta e Morais (2002) e Franzini et al. (2009).

$$\text{IEA (\%)} = [(M_2 - M_1) / (M_3 - M_1)] \times 100$$

**Onde:**

M<sub>1</sub>= Produção da MSPA na testemunha (sem P);

M<sub>2</sub>= Produção da MSPA com a fonte testada nas diferentes doses;

M<sub>3</sub>= Produção da MSPA com a fonte de referência (SFT) nas diferentes doses de P.

### 3.9 Análises estatísticas

As variáveis estudadas foram submetidas à análise de variância (ANOVA), relacionando as fontes, doses e interação de fontes e doses. Sendo as médias avaliadas pelo teste de Tukey, a 1 e a 5 % de probabilidade, utilizando o programa ASSISTAT Versão 7.6 Beta (SILVA; AZEVEDO, 2002). Além disso, foram realizadas análises de regressão com as variáveis e as doses de fósforo das fontes.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Altura de planta e Diâmetro de caule

Encontra-se na tabelas 3, o resumo da análise de variância para altura de planta e diâmetro do caule. Na variável altura de planta, observou-se que os fatores doses e fontes exerceram efeitos isolados e não foi verificado efeito significativo entre a interação das doses e fontes.

**Tabela 3** - Resumo da análise de Variância (ANOVA) para as variáveis biométricas do Sorgo.

Teste F		
Fonte de Variação	Altura da Planta	Diâmetro de Caule
Fontes	6.2293 **	7.7492 **
Doses	153.6595 **	114.8033 **
Fontes x Doses	1.5695 ns	2.7046 *

F = Estatística do teste F; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade, \* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05), ns não significativo (p >= .05);

Na Tabela 4, apresenta-se a altura das plantas do sorgo cultivadas em função de diferentes fontes e doses de fósforo.

**Tabela 4** - Altura das plantas do sorgo (cm) em função de diferentes fontes e doses de fósforo.

Fontes	Doses (mg P kg <sup>-1</sup> )			
	0	100	200	300
ST	61,83	95,13 ns	98,04 ns	101,00 ns
FNB	61,83	97,41 ns	95,94 ns	101,62 ns
FNT	61,83	89,16 ns	92,27 ns	85,70 ns
FNR	61,83	89,78 ns	93,41 ns	96,37 ns
CV%	6,15			

Não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo. C.V= Coeficiente de Variação; ST= Superfosfato triplo; FNB= Fosfato Natural da Bahia; FNT= Fosfato Natural do Tocantins; FNR= Fosfato Natural Reativo.

Avaliando-se as médias do fator fonte, foi verificado que o Superfosfato triplo (89,00 cm) e o FNB (89,20 cm) foram as fontes que proporcionaram os maiores valores de altura, diferindo estatisticamente do FNT e do FNR que proporcionaram as menores alturas (82,24 e 85,35 cm, respectivamente). Os maiores valores para altura de planta obtidos com as fontes Superfosfato triplo e FNB se justificam pelas mais elevadas solubilidades dessas duas fontes. Já os menores valores de alturas proporcionadas pelas outras duas fontes, provavelmente tenham sido resultadas das mais baixas solubilidades e mais baixas concentrações de P do FNT e do FNR (conforme a tabela 5). Os resultados encontrados podem ser visualizados nas figuras 8, 9 e 10.

**Tabela 5** - Médias dos valores da altura das plantas do sorgo em função de diferentes fontes e doses de fósforo.

Fator 1 = Fontes		Fator 2 = Doses	
ST	89,00 a	0	61,83 b
FNB	89,20 a	100	92,87 a
FNT	82,24 b	200	94,91 a
FNR	85,35 b	300	96,17 a

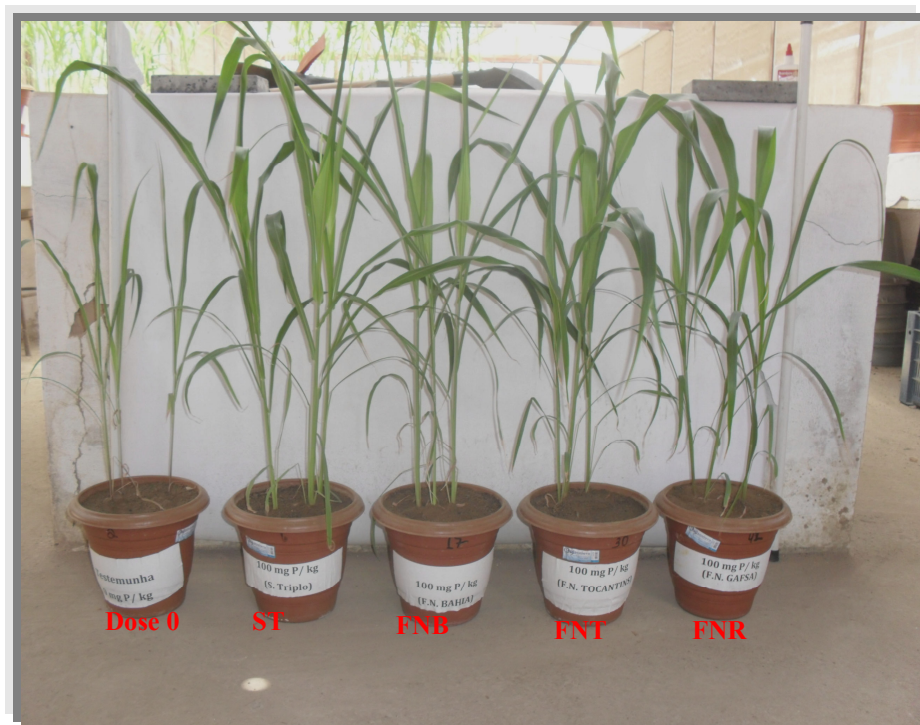
ST=Superfosfato triplo; FNB= Fosfato Natural da Bahia; FNT= Fosfato Natural do Tocantins; FNR= Fosfato Natural Reativo.

O resultado observado foi comprovado por Resende *et al.* (2006), os quais relataram que os efeitos das diferentes solubilidade dos fosfatos resultam em diferenças na aquisição de P e conseqüentemente refletem nos componentes de produção das culturas.

Martinez *et al.*, (1999) encontrou resultados semelhantes de altura de plantas do sorgo adubadas com Superfosfato Triplo.

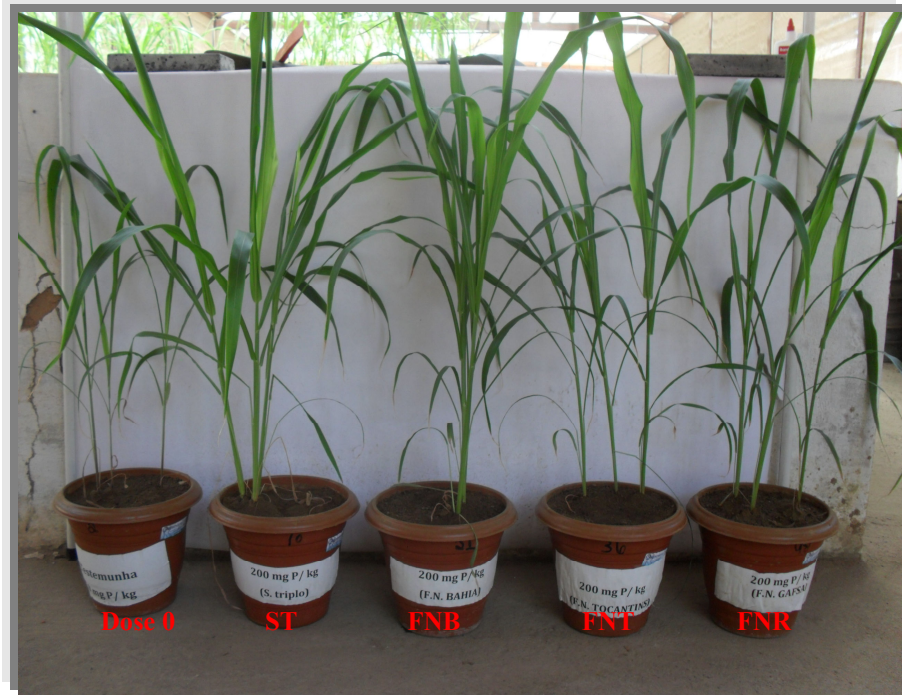
Pode ser observado que as alturas das plantas responderam positivamente a todas as doses de todas as fontes cujas médias foram: 92,87 cm (dose 100 mg kg<sup>-1</sup> solo), 94,91 cm (dose 200 mg kg<sup>-1</sup> solo) e 96,17 cm (dose 300 mg kg<sup>-1</sup> solo) e que não diferiram estatisticamente entre si, contudo diferiram da dose 0 que apresentou a menor média de altura (61,83cm).

**Figura 8** - Plantas de sorgo adubadas com Superfosfato Triplo, FNB, FNT e FNR na dose **100** mg P kg<sup>-1</sup> solo.



Fonte: AUTORA (2013).

**Figura 9** - Plantas de sorgo adubadas com Superfósforo Triplo, FNB, FNT e FNR na dose **200 mg P kg<sup>-1</sup>** solo.



Fonte: AUTORA (2013).

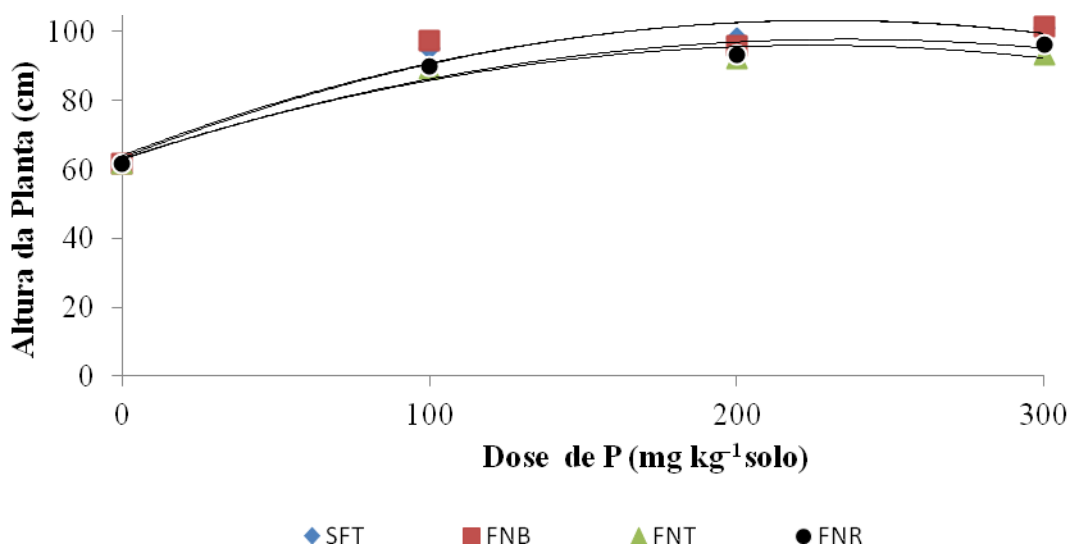
**Figura 10** - Plantas de sorgo adubadas com Superfósforo Triplo, FNB, FNT e FNR na dose **300 mg P kg<sup>-1</sup>** solo.



Fonte: AUTORA (2013).

A análise de regressão que relaciona a altura das plantas de sorgo com as doses crescentes de fósforo está na figura 11. Notou-se que as fontes ST, FNB, FNT e FNR, tiveram os dados de altura de planta ajustados ao modelo quadrático de regressão. A dose 300 mg P kg<sup>-1</sup> solo de todas as fontes foi responsável pelo maior crescimento do sorgo, a saber: ST (101 cm), FNB (101,62 cm), FNT (93,41 cm) e FNR (96,37 cm).

**Figura 11** - Efeitos das doses de fósforo de diferentes fontes sobre a altura das plantas de sorgo (cm).



$$\blacklozenge y (\text{SFT}) = -0,000759x^2 + 0,347970x + 63,352000 \quad R^2 = 0,953$$

$$\blacksquare y (\text{FNB}) = -0,000748x^2 + 0,342150x + 64,040000 \quad R^2 = 0,903$$

$$\blacktriangle y (\text{FNT}) = -0,000655x^2 + 0,294275x + 62,942500 \quad R^2 = 0,963$$

$$\bullet y (\text{FNR}) = -0,000625x^2 + 0,294675x + 63,012500 \quad R^2 = 0,963$$

O efeito positivo proporcionado por todas as fontes deve-se ao fato de que o solo utilizado apresentava um baixo teor de P (1 mg kg<sup>-1</sup>). Um grande número de pesquisas, usando um número variado de espécies de plantas, tem mostrado que o suprimento de P na fase inicial da vida da planta é fundamental para o ótimo rendimento da cultura. A falta de P no início do desenvolvimento restringe o crescimento, condição da qual a planta não mais recupera ao longo do seu ciclo. A falta de P no período mais tardio do ciclo tem muito menor impacto na produção da cultura do que no início. O suprimento adequado de P e água são essenciais e devem ser assegurados em todos os estágios de

crescimento da planta; o estresse hídrico interfere diretamente na absorção do P (MARSCHNER,2002).

A Tabela 6 apresenta os resultados referentes às comparações de médias do diâmetro do caule das plantas de sorgo cultivado com diferentes fontes e doses de fósforo.

**Tabela 6** - Médias dos diâmetros dos caules das plantas do sorgo (mm) em função de diferentes fontes e dose de fósforo.

Fontes	Doses (mg P kg <sup>-1</sup> )			
	0	100	200	300
ST	2,01 aB	3,89 abA	4,03 aA	4,27 aA
FNB	2,01 aC	4,04 aB	3,98 aB	4,92 aA
FNT	2,01 aB	3,32 bA	3,81 aA	3,34 bA
FNR	2,01 aB	3,85 abA	3,74 aA	4,39 aA
CV%	10,70			

Médias seguidas por letras distintas dentro de cada dose diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Colunas= letras minúsculas; Linhas=letras maiúsculas; C.V= Coeficiente de Variação; ST= Superfosfato triplo; FNB= Fosfato Natural da Bahia; FNT= Fosfato Natural do Tocantins; FNR= Fosfato Natural Reativo.

Em relação ao diâmetro do caule foi possível identificar efeitos significativos causados pelas fontes e pelas doses ao nível de 1% de probabilidade ( $p \geq 0,01$ ); na interação entre fontes e doses, houve efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ ), conforme a tabela 3.

Na dose 100 mg kg<sup>-1</sup> solo, o FNB foi a fonte que causou o maior valor de diâmetro do caule, diferindo estatisticamente do FNT que apresentou o menor valor. Na dose 200 mg kg<sup>-1</sup> solo, não houve diferença estatisticamente entre as fontes. E na dose 300 mg kg<sup>-1</sup> solo, o ST, FNB e o FNR foram os que tiveram maiores valores de diâmetro de caule, diferindo estatisticamente do FNT que teve o menor valor.

No FNB, houve diferença estatística entre as doses, sendo a dose 300 a que proporcionou o maior diâmetro, seguido da dose 100 e 200 que não diferiram entre si; todas as doses de todas as fontes diferiram significativamente da dose 0, que apresentou o menor valor de diâmetro de caule.

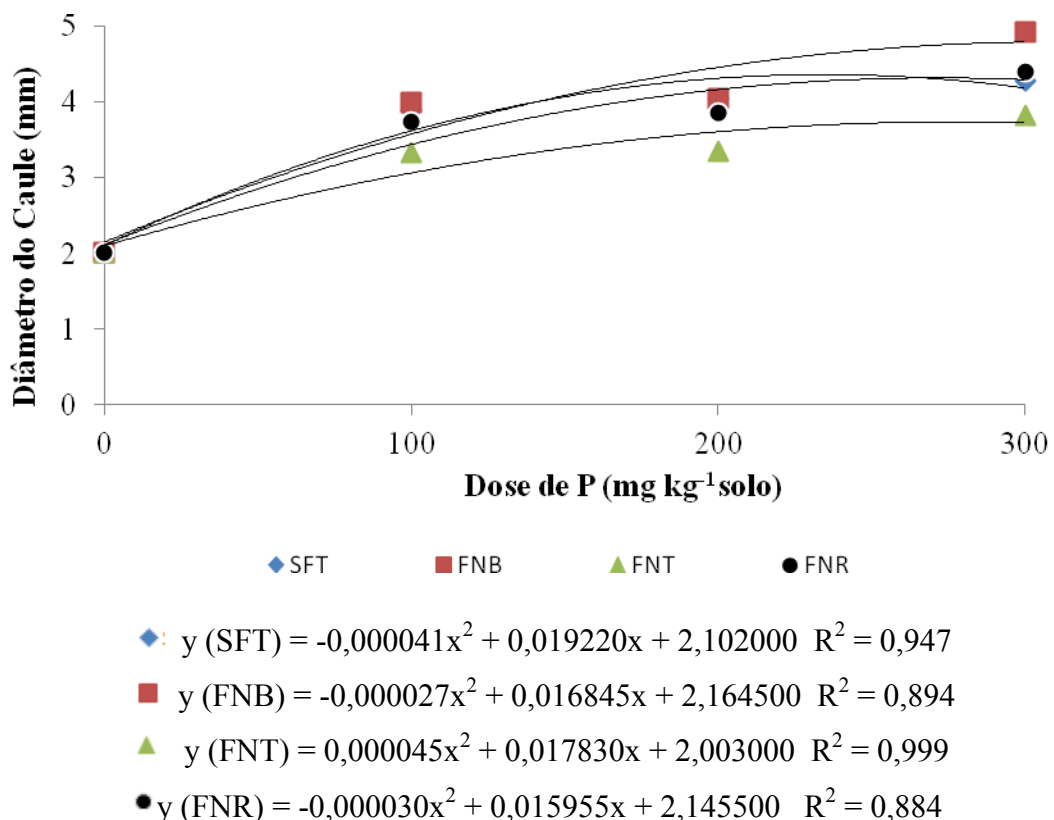
O suprimento adequado de P e água são essenciais e devem ser assegurados em todos os estágios de crescimento da planta; o estresse hídrico interfere diretamente na absorção do P.



Oliveira *et al.*, (1984) ao utilizarem o superfosfato triplo como fonte de fósforo em latossolo amarelo, observaram resposta positiva do diâmetro do caule em das doses aplicadas, sendo que a dose de 150 kg de P ha<sup>-1</sup> proporcionou um diâmetro do caule em torno de 21,6 mm. Lucena *et al.* (2000) também relataram resposta positiva do diâmetro de caule das plantas de milho cultivadas em latossolo amarelo em função do fósforo aplicado.

A curva de regressão relacionando a diâmetro do caule e a aplicação de P apresentou um comportamento quadrático estatisticamente significativo (Figura 12).

**Figura 12** - Efeitos das doses de fósforo de diferentes fontes sobre o diâmetro do caule das plantas de sorgo (mm).



Pode ser observado, figura acima, que os valores máximos de diâmetro do caule foram obtidos com as doses 300mg de ST, 300mg de FNB, 200mg de FNT e 300mg de FNR. Os elevados coeficientes de determinação na figura indica que existe uma significativa relação entre o diâmetro do caule e as doses de fósforo, comprovando, assim, a importância do fósforo para o crescimento das plantas.

As maiores alturas e diâmetros de caule foram verificadas na dose 300 mg kg<sup>-1</sup> P que foi a maior dose utilizada nesse experimento, fato que já havia sido observado por

Santos Junior (2001) trabalhando com *Brachiaria* e que obteve maiores alturas e maiores diâmetros de caule nas doses mais elevadas de P.

#### 4.2 Produção da matéria seca da parte aérea

Em uma planta colhida fresca, independente da espécie, pode-se observar que a maior proporção de sua massa, de 70 até 95%, é constituída por água (H<sub>2</sub>O). Após a secagem desta planta em estufa (circulação forçada de ar, a 65 °C por 24-48 horas), evapora-se a água e obtém-se a matéria seca ou a massa seca.

Na tabela 7 são apresentados os valores do teste F para a variável produção de matéria seca da parte aérea- PMSPA em função das fontes, doses e interação entre fontes e doses de fósforo. Foram observados efeitos significativos com relação ao fator fonte, ao fator dose e com a interação entre fonte e dose, ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ).

**Tabela 7** - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável produção de matéria seca da parte aérea (g vaso<sup>-1</sup>) do sorgo em função de diferentes fontes e doses de fósforo.

Teste F	
Fonte de Variação	Produção de matéria seca da parte aérea
Fontes	7923,72 **
Doses	35393,97 **
Fontes x Doses	1312,04 **

F = Estatística do teste F; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Analisando-se a Tabela 8, pode ser notado que, com o aumento da adubação fosfatada houve incremento na matéria seca em todos os tratamentos. Todas as doses diferiram estatisticamente da testemunha. O fator solubilidade das fontes foi fator determinante para os aumentos dos valores de MSPA; Pesquisas demonstram influência nos teores e acúmulo de P no solo uma vez que, de maneira geral, as fontes mais disponíveis (como as fontes usadas no presente estudo) proporcionaram maiores MSPA e, conseqüentemente, maiores acúmulos de P na planta.



**Tabela 8** - Produção de Matéria Seca da Parte Aérea-PMSPA ( $\text{g vaso}^{-1}$ ) das plantas de sorgo em função de diferentes doses e fontes de fósforo.

Fontes	Doses ( $\text{mg P kg}^{-1}$ )			
	0	100	200	300
ST	0,78 aD	3,39 bC	4,01 bB	5,04 aA
FNB	0,78 aD	3,72 aC	3,91 cB	4,74 bA
FNT	0,78 aD	2,07 dC	2,20 dB	2,40 dA
FNR	0,78 aD	3,25 cC	4,25 aB	4,35 cA
CV%	1,07			

Médias seguidas por letras distintas dentro de cada dose diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Colunas= letras minúsculas; Linhas=letras maiúsculas; C.V= Coeficiente de Variação; ST= Superfosfato triplo; FNB= Fosfato Natural da Bahia; FNT= Fosfato Natural do Tocantins; FNR= Fosfato Natural Reativo.

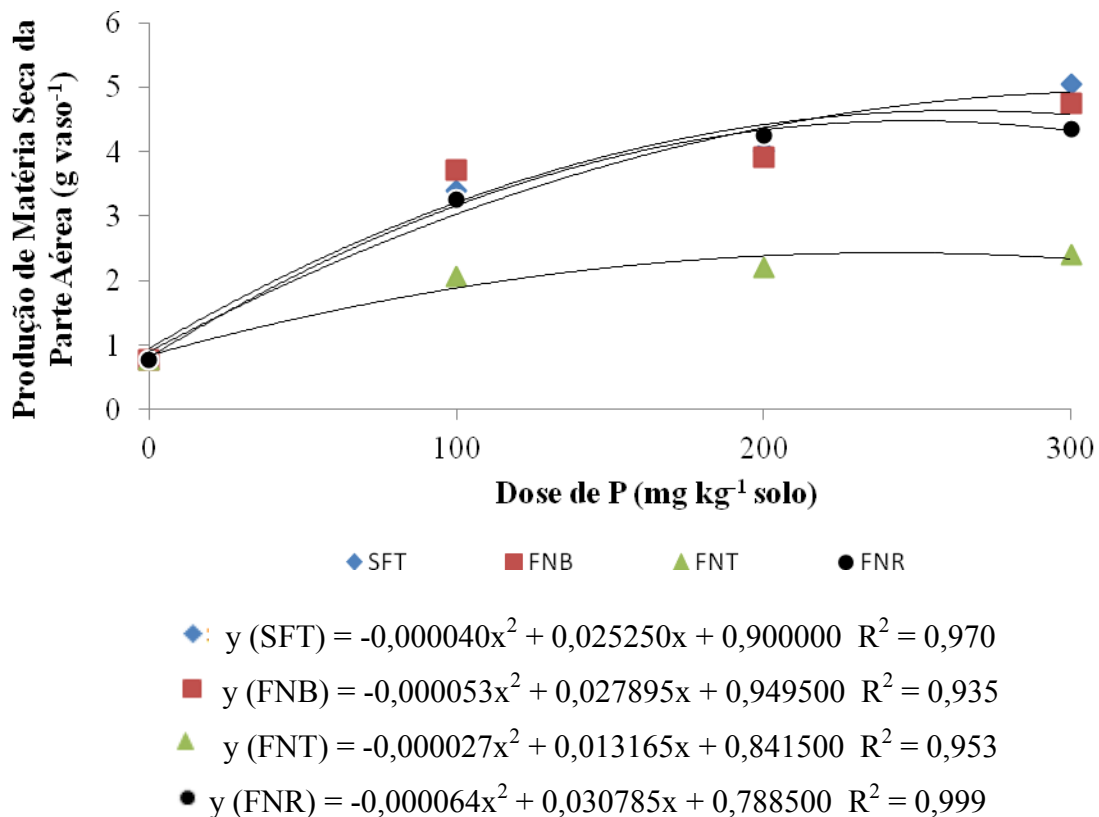
Na dose  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  solo, houve diferença estatística entre todas as fontes, sendo o FNB, a fonte que proporcionou o maior valor (3,72 g), seguida do Superfosfato triplo (3,39 g), FNR (3,25 g) e o FNT com o menor valor (2,07 g). Na dose  $200 \text{ mg kg}^{-1}$  solo, houve diferença estatística entre todas as fontes, sendo o FNR que teve maior valor (4,25g), seguido do Superfosfato triplo (4,01), FNB (3,91g) e o FNT com o menor valor (2,20g); na dose  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  solo, houve diferença estatística entre todas as fontes, sendo a fonte Superfosfato triplo a que proporcionou o maior valor (5,04g), seguida FNB (4,74g), FNR (4,35g) e o FNT com o menor valor (2,40g).

Dentre os fosfatos naturais, notou-se que os maiores valores de PMSPA foram obtidos com a fonte FNB, na dose  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  solo, cujo aumento percentual em relação a testemunha foi de 507%. A fonte FNT, em todas as doses avaliadas, foi a que causou a menor produção de matéria seca. Portanto, nessas condições de estudo o ideal seria utilizar  $300 \text{ mg}$  de P, tendo como fonte o ST para obtenção de máxima produção, sendo o ST superior ao 1º tratamento (dose 0) em 4,26 g, um aumento equivalente a 546%.

Estes resultados corroboram com aqueles obtidos por Leite (2006), o qual também verificou incremento na produção de matéria seca de sorgo em função da adubação fosfatada.

A curva de produção de PMSPA apresentou comportamento quadrático em relação aos níveis crescentes de fósforo para todas as fontes avaliadas (Figura 13). Notou-se que o maior acúmulo ocorreu na dose de  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  solo da fonte do Superfosfato triplo (5,04 g).

**Figura 13** - Efeitos das doses de fósforo de diferentes fontes sobre a produção de matéria seca da parte aérea – PMSPA das plantas de sorgo.



Segatelli (2004) também obteve os mesmos resultados indicando que, com a adubação fosfatada recomendada para a cultura do sorgo, a produção de matéria seca foi incrementada. E Hoffmann *et al.*, (1995), trabalhando com o capim braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf), verificou aumento da produção de MS com adubação de P.

Comportamento similar foi verificado em outros estudos, como o de Sarmiento *et al.*, (2001) ao avaliarem a produção de massa seca de alfafa, onde verificaram que as maiores produções de massa seca foram alcançadas, quando se utilizou a fonte de P de maior solubilidade (ST), quando comparada com o fosfato de Gafsa; no trabalho de Corrêa *et al.*, (2005) foi constatada a superioridade do ST em relação ao fosfato de Gafsa na produção de massa seca da parte aérea do milho.

Oliveira *et al.*, (1984) e Vasconcelos *et al.*, (1986) demonstraram serem as fontes solúveis superiores para a resposta inicial quando da implantação de pastagens; mas, com o decorrer do tempo, as fontes menos solúveis tenderam a aumentar a produção pelo aumento de sua solubilidade e por apresentarem maiores efeitos residuais. Outro fator diz respeito ao modo de aplicação dessas fontes (localizada no sulco de plantio) fato observado

por Hammond *et al.*, (1986) e Sanzonowicz; Goedert (1986). Esses autores afirmam que os fosfatos naturais têm sua eficiência melhorada quando aplicados a lanço e incorporados, melhorando sua eficiência de utilização.

Pode ser destacado, portanto, que o presente estudo, relacionando adubação variada de fósforo na cultura do sorgo, representa uma produção de importantes informações para a implantação do sorgo nas condições edafoclimáticas regionais.

### 4.3 Acumulações de macronutrientes e micronutrientes na parte aérea da planta

#### 4.3.1 Macronutrientes na Parte aérea

Na tabela 9, são apresentados os dados referentes à análise de variância para os macronutrientes absorvidos do solo e concentrados na parte aérea do sorgo. Ficou demonstrado que houve efeito significativo das fontes, doses e interação entre fontes e doses sobre todos os macronutrientes acumulados na parte aérea a 1% de probabilidade.

**Tabela 9** - Resumo da análise de variância (ANOVA) para os teores de macronutrientes absorvidos (N, P, K, Ca, Mg e S) pelo sorgo em função de diferentes fontes e doses de fósforo.

Teste F						
Fonte de Variação	N	P	K	Ca	Mg	S
Fontes	1700,6**	22889,4**	981,4**	597,1**	175,7**	3583,2**
Doses	8102,7**	24654,1**	4042,4**	1741,2**	540,8**	2938,5**
Fontes x Doses	243,8**	3391,4**	260,2**	106,6**	21,6**	559,7**

F = Estatística do teste F; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

#### ➤ Nitrogênio (N)

O nitrogênio é considerado o elemento-chave na manutenção da produtividade e persistência de uma pastagem de gramínea, enquanto o fósforo tem sua relevância no estabelecimento dessa pastagem (WERNER, 1994). O efeito benéfico do nitrogênio sobre as plantas foi evidenciado por Minson (1984), que ao trabalhar com gramíneas sob diferentes doses de P, observou que certa quantidade do elemento está prontamente disponível no solo, sendo absorvido pela planta e incorporado às cadeias carbonadas que,

em condições normais, promovem um aumento do teor de proteína bruta da forragem (Noller; Rhykerd, 1974) e, conseqüentemente, das folhas e colmos.

Na tabela 10 são apresentados os resultados quantitativos do nitrogênio absorvidos pelo sorgo.

**Tabela 10** - Teores de nitrogênio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) encontrados na parte aérea do sorgo em função de diferentes doses e fontes de fósforo.

Fontes	Doses ( $\text{mg P kg}^{-1}$ )			
	0	100	200	300
ST	32,45 aD	182,86 bC	220,59 aB	267,40 aA
FNB	32,45 aC	188,68 aB	189,14 bB	230,22 bA
FNT	32,45 aD	100,34 dC	114,74 cB	129,59 dA
FNR	32,45 aC	174,35 cB	220,97 aA	221,02 cA
CV%	2,39			

Médias seguidas por letras distintas dentro de cada dose diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Colunas= letras minúsculas; Linhas=letras maiúsculas; C.V= Coeficiente de Variação; ST= Superfosfato triplo; FNB= Fosfato Natural da Bahia; FNT= Fosfato Natural do Tocantins; FNR= Fosfato Natural Reativo.

De acordo com o teste de tukey, a 5% de probabilidade, foram encontradas diferenças significativas nos teores de nitrogênio absorvido quando se utilizou a fonte ST (nas doses 100, 200 e 300  $\text{mg kg}^{-1}$  solo) quando comparado com as outras fontes de P. Com relação à dose 0, os aumentos (%) de nitrogênio absorvido pelo sorgo nas doses 100 200 e 300  $\text{mg kg}^{-1}$  solo do ST, foram de 463, 579 e 724 %, respectivamente.

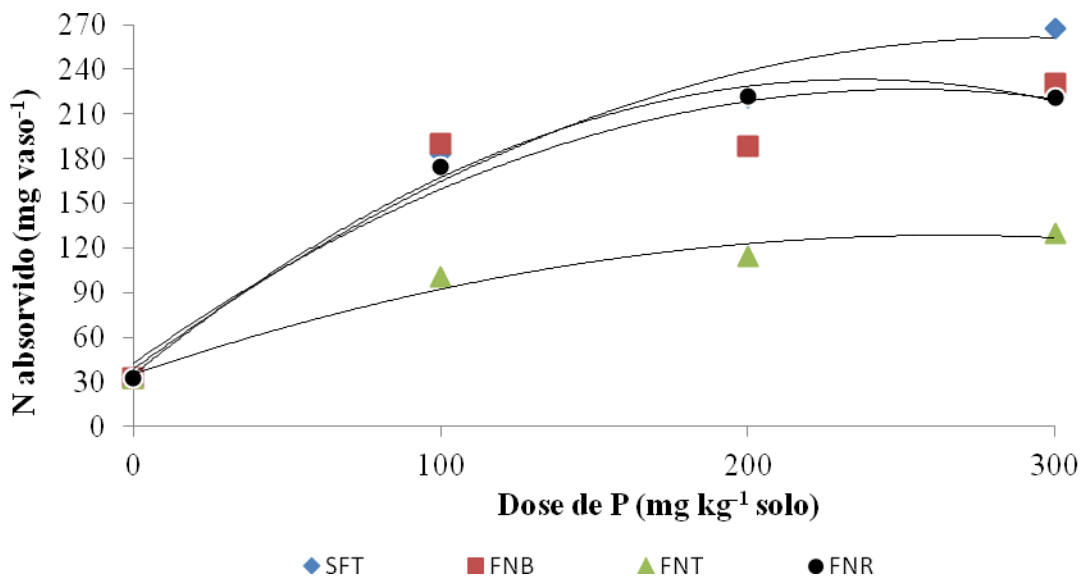
A quantidade de nitrogênio absorvida pelo sorgo na dose 100  $\text{mg kg}^{-1}$  solo foi estatisticamente diferente para todas as fontes (a um nível de 5 % de probabilidade); a maior remoção foi verificada com a fonte FNB (188,68  $\text{mg kg}^{-1}$ ); na dose 200  $\text{mg kg}^{-1}$  solo, as maiores remoções ocorreram com as fontes ST (220,59  $\text{mg kg}^{-1}$ ) e o FNR (220,97  $\text{mg kg}^{-1}$ ) e não diferiram entre si; na dose 300  $\text{mg kg}^{-1}$  solo, houve diferenças significativas entre todas as fontes, sendo que a maior remoção do nitrogênio ocorreu com a fonte Superfosfato triplo (267,40  $\text{mg kg}^{-1}$ ).

Resultados semelhantes foram constatados por AL-Karaki (1999) e Sawan *et al.*, (2001), quando verificaram efeito benéfico da adubação fosfatada sobre a absorção de N pelas plantas. Notou-se que foi encontrada diferença significativa a 5% de probabilidade no fator fontes, sendo o Superfosfato triplo responsável pela maior absorção de nitrogênio

pelo o sorgo e o FNT foi o que apresentou a menor quantidade de remoção do Nitrogênio em todas as doses avaliadas.

O acúmulo de N na parte aérea das plantas em função das doses de P apresenta um comportamento quadrático ilustrado na figura 14.

**Figura 14** - Absorção de nitrogênio pela parte aérea de plantas de sorgo ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) em função das crescente doses e diferentes fontes de P.



$$\blacklozenge y (\text{SFT}) = -0,002591x^2 + 1,519830x + 38,533000 \quad R^2 = 0,976$$

$$\blacksquare y (\text{FNB}) = -0,002879x^2 + 1,455460x + 42,571000 \quad R^2 = 0,910$$

$$\blacktriangle y (\text{FNT}) = -0,001326x^2 + 0,703490x + 35,149000 \quad R^2 = 0,973$$

$$\bullet y (\text{FNR}) = -0,003558x^2 + 1,680325x + 34,807500 \quad R^2 = 0,995$$

Como mostrado no gráfico acima, o aumento na aplicação de P no solo, resulta em aumentos significativos na absorção de nitrogênio na parte aérea do sorgo, sendo que o maior acúmulo ocorreu na dose de  $300 \text{ mg P kg}^{-1}$  solo com as fontes ST e FNB.

➤ **Fósforo (P)**

A tabela 11 são apresentados os resultados do fósforo absorvidos pelo sorgo.

**Tabela 11** - Teores de fósforo ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) encontrados na parte aérea do sorgo em função de diferentes doses e fontes de fósforo.

Fontes	Doses ( $\text{mg P kg}^{-1}$ )			
	0	100	200	300
ST	0,17 aD	10,16 aC	16,64 aB	18,74 aA
FNB	0,17 aD	7,10 bC	8,42 bB	8,77 bA
FNT	0,17 aD	2,04 dC	2,54 dB	3,33 dA
FNR	0,17 aD	5,03 cC	5,27 cB	7,29 cA
CV%		1,76		

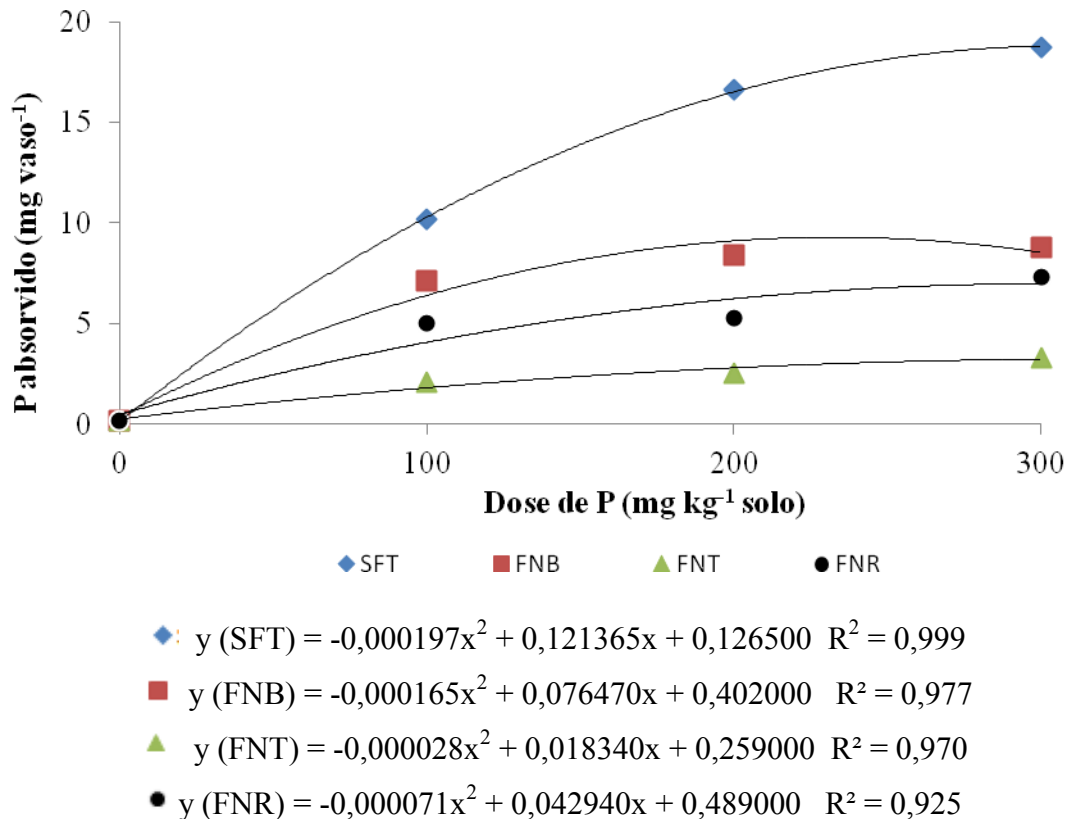
Médias seguidas por letras distintas dentro de cada dose diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Colunas= letras minúsculas; Linhas=letras maiúsculas; C.V= Coeficiente de Variação; ST= Superfosfato triplo; FNB= Fosfato Natural da Bahia; FNT= Fosfato Natural do Tocantins; FNR= Fosfato Natural Reativo.

Quando comparadas com as absorções de P pelo tratamento na dose 0, as maiores remoções de P pelo sorgo, e estatisticamente significativas (pelo teste de tukey, a 5% de probabilidade), foram obtidas com as doses da fonte ST. Ficou demonstrado que a medida que a dose de P da fonte era aumentada havia um incremento proporcional na absorção do fósforo pelo sorgo. O teste de Tukey também revelou diferenças significativas, a 5% de probabilidade, entre o tratamento testemunha e as doses 100, 200 e 300  $\text{mg kg}^{-1}$  solo das fontes FNB, FNT e FNR. Dentre as fontes, o FNT foi a fonte que proporcionou as menores taxas de remoções de P pelo sorgo.

Em resumo, os maiores teores de fósforo absorvidos pelas plantas de sorgo em função das aplicações de fosfatos naturais, foram observados quando se utilizou a fonte FNB, seguida pela fonte FNR (na dose 300  $\text{mg kg}^{-1}$  solo). Enquanto que as menores quantidades de fósforo absorvidas foram observadas em todas as doses quando se utilizou o FNT como fonte de fósforo.

A absorção de P na parte aérea das plantas apresentou comportamento quadrático para todas as fontes usadas (figura 15), mostrando um acréscimo no teor de P com o aumento da dose, sendo que as diferenças entre as fontes se tornam evidentes pelas tendências das curvas.

**Figura 15** - Absorção de fósforo na parte aérea de plantas de sorgo ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) em função das crescente doses e diferentes fontes de P.



De acordo com a figura 15, fica demonstrado que no ST, na dose  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  solo, foi a fonte responsável pela maior absorção de fósforo ( $18,74 \text{ mg P vaso}^{-1}$ ). E entre os as fontes naturais, o FNB, foi o que proporcionou a maior absorção de fósforo também na dose  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  solo ( $8,77 \text{ mg P vaso}^{-1}$ ).

Gill *et al.*, (1992) trabalhando com milho em diferentes doses de P, observaram que as diferentes quantidades de fósforo removido pelo o sorgo é explicada pela capacidade que cada fonte tem de liberar fósforo para o solo, ou seja, à medida que a concentração de P no meio aumentou, aumentou a proporção de P acumulada na parte aérea da planta estudada.

Costa *et al.*, (2008) estudando aplicações de fontes de P no solo nas formas de superfosfato triplo, fosfato de Arad, fosfato natural de Araxá e, uma mistura superfosfato triplo + fosfato de Arad na relação (1:1), cultivado com *Brachiaria brizantha*, relataram que o teor de P na parte aérea aumentava significativamente ao se utilizar as fontes de P de maior solubilidade.

➤ **Potássio (K)**

A tabela 12 apresentam-se os resultados do potássio absorvidos pelo sorgo.

**Tabela 12** - Teores de potássio ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) encontrados na parte aérea do sorgo em função de diferentes doses e fontes de fósforo.

Fontes	Doses ( $\text{mg P kg}^{-1}$ )			
	0	100	200	300
ST	4,84 aD	21,20 cC	29,58 bB	47,37 aA
FNB	4,84 aC	24,83 bB	26,87 cA	27,03 cA
FNT	4,84 aD	13,65 dC	16,25 dB	18,21 dA
FNR	4,84 aD	27,87 aC	31,59 aB	37,31 bA
CV%		3,49		

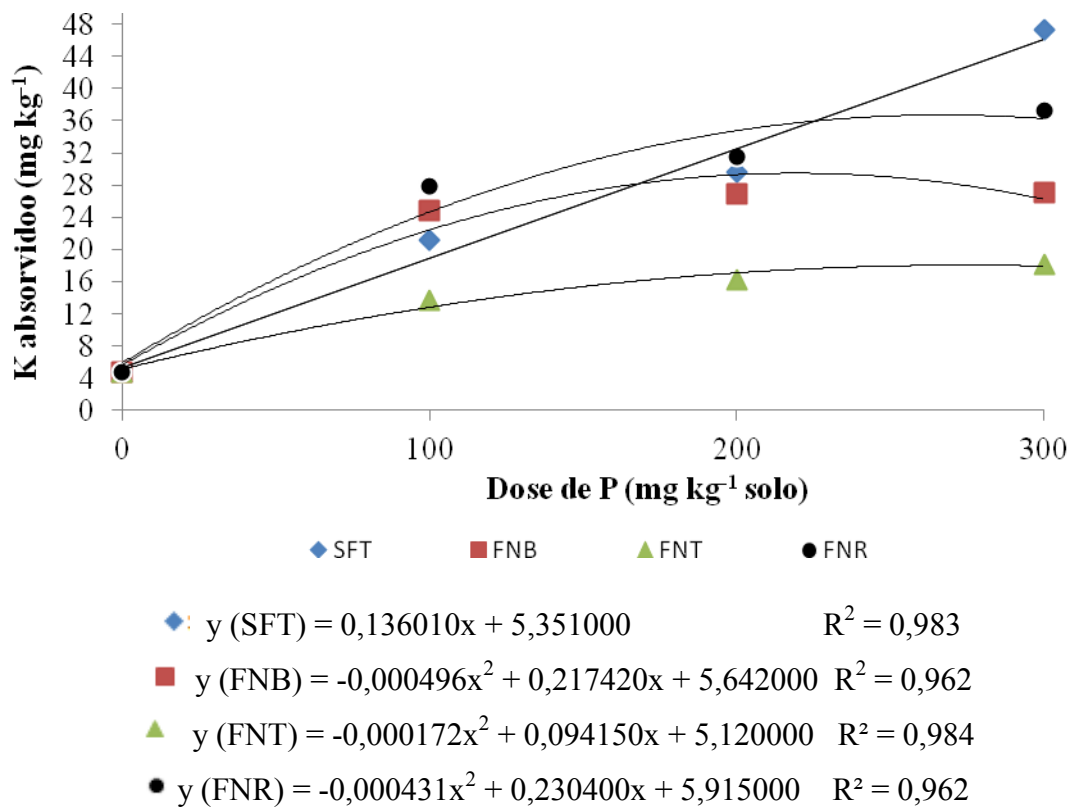
Médias seguidas por letras distintas dentro de cada dose, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Colunas= letras minúsculas; Linhas=letras maiúsculas; C.V= Coeficiente de Variação; ST= Superfosfato triplo; FNB= Fosfato Natural da Bahia; FNT= Fosfato Natural do Tocantins; FNR= Fosfato Natural Reativo.

As fontes de fósforo interferiram significativamente nas concentrações de potássio na parte aérea das plantas do sorgo (Tabela 12). Sendo que em todas as fontes, as doses 100, 200 e 300  $\text{mg de P kg}^{-1}$  solo diferiram estatisticamente entre si e diferiram também da dose 0  $\text{mg de P kg}^{-1}$  solo, a 5% de probabilidade pelo teste de tukey. As maiores concentrações foram observadas quando as plantas foram adubadas com as maiores doses de fósforo em todas as fontes, sendo que na dose 300  $\text{mg kg}^{-1}$  solo da fonte ST ocorreu a maior quantidade absorvida de potássio.

Quanto aos efeitos das doses de fósforo em todas as fontes na absorção de potássio no sorgo, verificou-se um efeito de modelo quadrático para todas as fontes naturais. Pode ser observado que a dose 300  $\text{mg kg}^{-1}$  solo das fontes FNB, FNT e FNR, foram as que proporcionaram maiores teores de potássio no sorgo (Figura 16). O potássio removido pelas plantas adubadas com o ST tiveram seu valor melhor adequado ao modelo linear de regressão. Sendo que para cada 1  $\text{mg de P}$  aplicado proporcionou aumentos de 0,13  $\text{mg de K}$  na planta.



**Figura 16** - Absorção de potássio na parte aérea de plantas de sorgo (mg vaso<sup>-1</sup>) em função das crescente doses e diferentes fontes de fósforo.



➤ **Cálcio (Ca)**

Estão apresentados na tabela 13 os resultados referentes à absorção de cálcio pelo sorgo.

**Tabela 13** - Teores de cálcio (mg vaso<sup>-1</sup>) encontrados na parte aérea do sorgo em função de diferentes doses e fontes de fósforo.

Fontes	Doses (mg P kg <sup>-1</sup> )			
	0	100	200	300
ST	3,22 aD	11,53 aC	14,48 aB	15,48 bA
FNB	3,22 aC	11,21 aB	11,78 cB	18,65 aA
FNT	3,22 aC	5,66 cB	5,91 dB	7,76 dA
FNR	3,22 aC	9,07 bB	12,68 bA	12,98 cA
CV%	4,57			

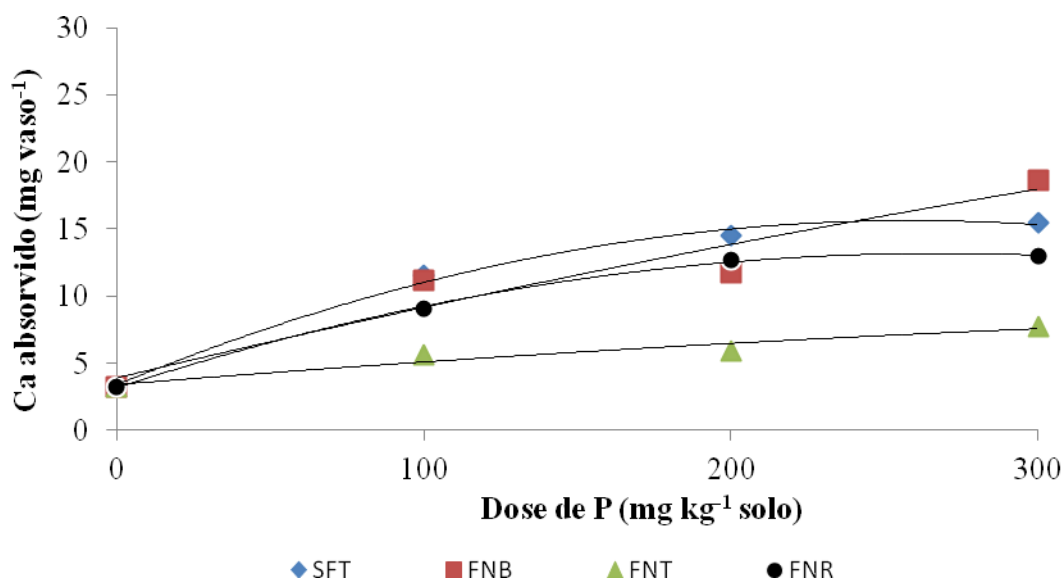
Médias seguidas por letras distintas dentro de cada dose diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Colunas= letras minúsculas; Linhas=letras maiúsculas; C.V= Coeficiente de Variação; ST= Superfósforo triplo; FNB= Fósforo Natural da Bahia; FNT= Fósforo Natural do Tocantins; FNR= Fósforo Natural Reativo.

As fontes de fósforo interferiram significativamente nas concentrações de cálcio na parte aérea das plantas do sorgo (Tabela 13). Observou-se um aumento proporcional da concentração de cálcio, quando as plantas foram adubadas com as doses crescentes de P, sendo que as maiores remoções ocorreram na dose mais alta das fontes. A maior remoção de Ca ocorreu quando se adubou com a dose mais alta da fonte FNB.

As diferenças mais significativas foram observadas entre a dose 0 e as demais doses 100, 200, e 300 mg kg<sup>-1</sup> solo da fonte FNB cujo os percentuais de aumento foram de: 248%, 265% e 479%, respectivamente. Observou-se que FNT proporcionou as menores remoções de cálcio, considerando-se todas as doses das outras fontes.

A absorção de cálcio na parte aérea apresentou comportamento de modelo quadrático para todas as fontes, onde os maiores valores ocorreram na dose 300 mg kg<sup>-1</sup> de P para o FNB e para o ST (Figura 17).

**Figura 17** - Absorção de cálcio na parte aérea de plantas de sorgo (mg vaso<sup>-1</sup>) em função das crescente doses diferentes fontes de fósforo.



◆:  $y(\text{SFT}) = -0,000183x^2 + 0,094510x + 3,391000 \quad R^2 = 0,993$

■:  $y(\text{FNB}) = -0,000028x^2 + 0,055300x + 3,905000 \quad R^2 = 0,921$

▲:  $y(\text{FNT}) = -0,000015x^2 + 0,018295x + 3,409500 \quad R^2 = 0,931$

●:  $y(\text{FNR}) = -0,000139x^2 + 0,074620x + 3,167000 \quad R^2 = 0,999$

O maior acúmulo de cálcio no sorgo foi observado na fonte FNB, que pode ser explicado pela elevada solubilidade da fonte associada a relativamente elevada CTC do

solo. Novais; Smyth (1999) afirmam que a dissolução do fosfato natural pode ser mais intensa em solos com maior CTC e, particularmente, com maiores teores de matéria orgânica. Os fosfatos naturais, além de P, contêm teores elevados de Ca, sendo seu teor em solução comumente utilizado para avaliar a capacidade de solubilização do FN (NOVAIS; SMITHY, 1999).

Leão (2006) encontrou no sorgo aumento significativo de Ca em dose pouco elevada de 125 mg P dm<sup>-3</sup> de solo. Souza *et al.*, (1999) trabalhando com *Brachiaria brizantha* e *Stylozanthos guianensis* encontraram valores que corroboram com os obtidos no presente trabalho.

Nessa pesquisa, o maior acúmulo de Ca se deu na dose 220 mg dm<sup>-3</sup> para *Stylozanthos*.

#### ➤ Magnésio (Mg)

Em relação ao Magnésio, a tabela 14 apresenta os resultados em relação à absorção do sorgo.

**Tabela 14** - Teores de magnésio (mg vaso<sup>-1</sup>) encontrados na parte aérea do sorgo em função de diferentes doses e fontes de fósforo.

Fontes	Doses (mg P kg <sup>-1</sup> )			
	0	100	200	300
ST	3,03 aD	11,78 aC	13,25 aB	15,62 aA
FNB	3,03 aC	10,42 bB	13,26 aA	14,33 aA
FNT	3,03 aC	4,82 cB	5,83 cB	8,51 cA
FNR	3,03 aC	9,07 bB	11,85 bA	11,97 bA
CV%	8,09			

Médias seguidas por letras distintas dentro de cada dose diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Colunas= letras minúsculas; Linhas=letras maiúsculas; C.V= Coeficiente de Variação; ST= Superfosfato triplo; FNB= Fosfato Natural da Bahia; FNT= Fosfato Natural do Tocantins; FNR= Fosfato Natural Reativo.

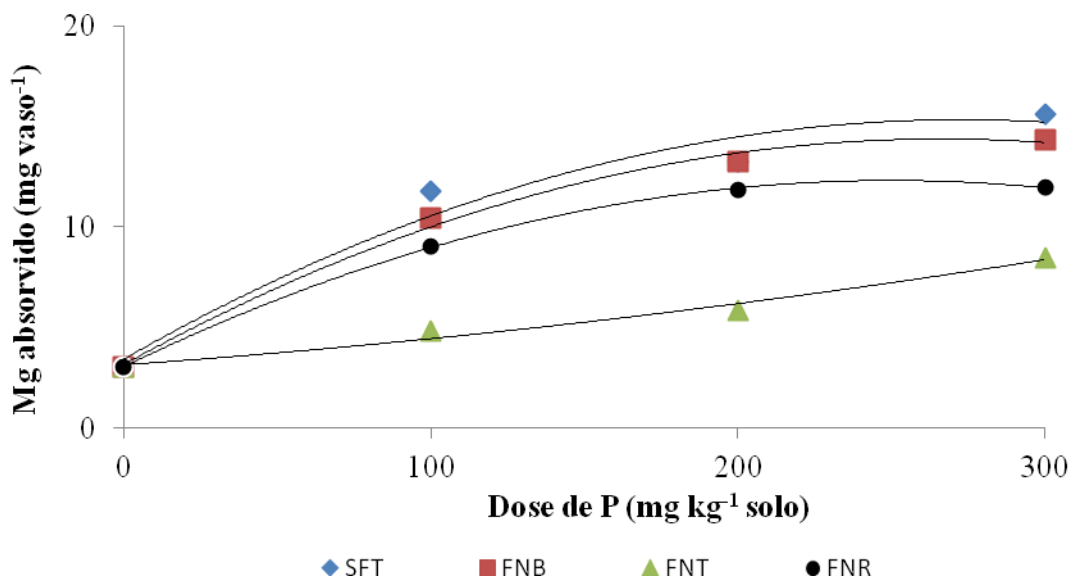
As fontes ST e FNB propiciou as maiores absorções de magnésio na parte aérea das plantas do sorgo, não diferindo entre si e diferindo estatisticamente das demais fontes, pelo teste de tukey, a 5% de probabilidade (Tabela 14).

Observou-se que entre as fontes a fonte FNT apresentou a menor quantidade de absorção do magnésio em todas as doses. Na dose 100 mg kg<sup>-1</sup> solo pode-se verificar que a

maior absorção do nutriente ocorreu na fonte ST; na dose 200 e 300 mg kg<sup>-1</sup> solo, foi observada uma maior absorção do nutriente com as fontes ST e FNB.

A absorção de magnésio na parte aérea apresentou comportamento quadrático para todas as fontes, onde os maiores valores ocorreram na dose 300 mg kg<sup>-1</sup> de P para o ST e para o FNB (Figura 18).

**Figura 18** - Absorção de magnésio na parte aérea de plantas de sorgo (mg vaso<sup>-1</sup>) em função das crescente doses e diferentes fontes de fósforo.



$$\blacklozenge y (\text{SFT}) = -0,000160x^2 + 0,087090x + 3,439000 \quad R^2 = 0,963$$

$$\blacksquare y (\text{FNB}) = -0,000158x^2 + 0,084140x + 3,169000 \quad R^2 = 0,995$$

$$\blacktriangle y (\text{FNT}) = 0,000022x^2 + 0,010820x + 3,152000 \quad R^2 = 0,980$$

$$\bullet y (\text{FNR}) = -0,000148x^2 + 0,074000x + 3,060000 \quad R^2 = 0,999$$

### ➤ Enxofre (S)

Na tabela 15, estão apresentados os resultados do Enxofre absorvidos pelo sorgo.

**Tabela 15** - Teores de enxofre ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) encontrados na parte aérea do sorgo em função de diferentes doses e fontes de fósforo.

Fontes	Doses ( $\text{mg P kg}^{-1}$ )			
	0	100	200	300
ST	0,62 aD	4,17 aC	5,66 aB	8,52 aA
FNB	0,62 aD	3,94 bC	4,47 bB	5,00 bA
FNT	0,62 aB	0,62 dB	1,04 dA	1,13 dA
FNR	0,62 aC	1,77 cB	1,83 cB	2,85 cA
CV%	4,28			

Médias seguidas por letras distintas dentro de cada dose diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Colunas= letras minúsculas; Linhas=letras maiúsculas; C.V= Coeficiente de Variação; ST= Superfosfato triplo; FNB= Fosfato Natural da Bahia; FNT= Fosfato Natural do Tocantins; FNR= Fosfato Natural Reativo.

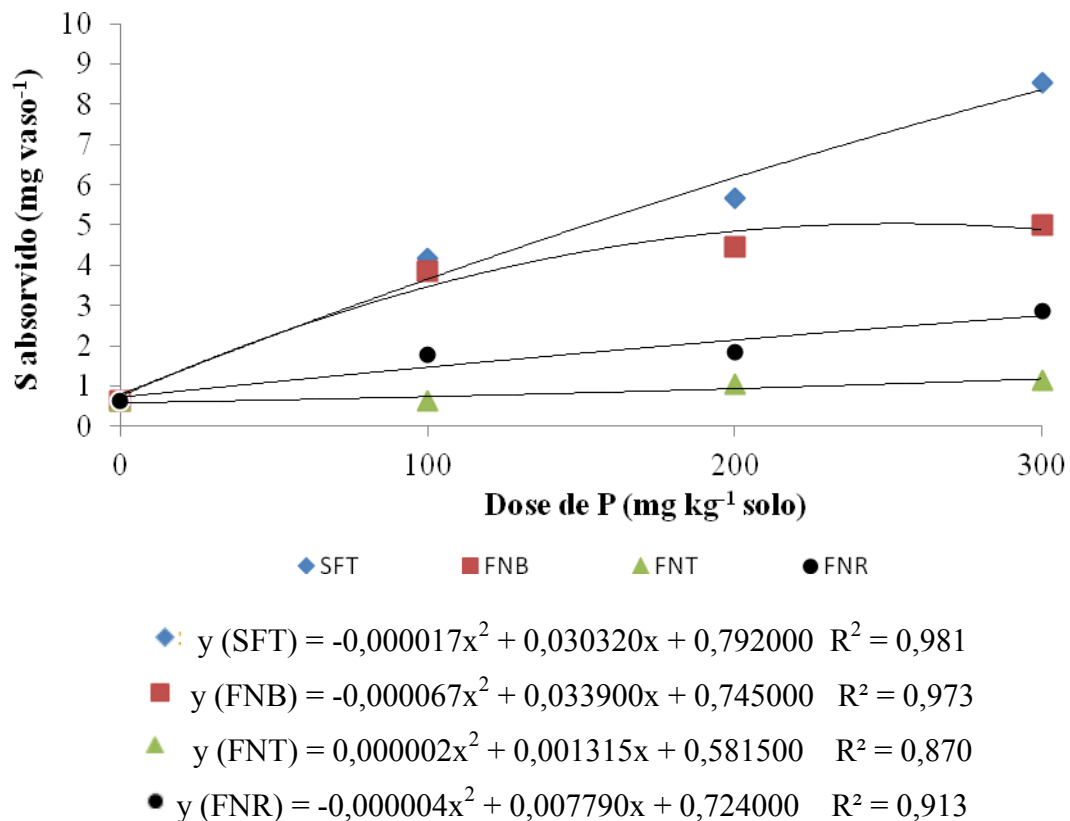
Observou-se diferença significativa na absorção de enxofre, a 5% de probabilidade, nas doses 100, 200 e 300  $\text{mg kg}^{-1}$  solo para todas as fontes avaliadas, sendo que a fonte ST proporcionou as maiores quantidades absorvidas de enxofre pelo sorgo.

Dentre os fosfatos naturais, a fonte FNB apresentou maior teor de S na parte aérea do sorgo e a fonte FNT foi a que menos absorveu S em comparação com todas as fontes.

As diferenças mais significativas foram observadas entre a dose 0 e as demais doses 100, 200, e 300  $\text{mg kg}^{-1}$  solo da fonte ST cujo os percentuais de aumento foram de: 572%, 812% e 1274%, respectivamente

A absorção de enxofre na parte aérea apresentou comportamento quadrático onde os maiores valores ocorreram na dose 300  $\text{mg kg}^{-1}$  solo de P para o ST (Figura 19).

**Figura 19** - Absorção de enxofre na parte aérea de plantas de sorgo ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) em função das crescente doses diferentes fontes de fósforo.



#### 4.3.2 Micronutrientes na Parte aérea

Na tabela 16, encontram-se os dados referentes à análise de variância para os micronutrientes concentrados na parte aérea das plantas de sorgo. Notou-se que houve efeitos significativos, a 1% de probabilidade, para os micronutrientes Zn, Cu, Fe e Mn absorvidos em função das fontes, das doses, bem como na interação entre fontes e doses.

**Tabela 16** - Resumo da análise de variância (ANOVA) para os teores de micronutrientes absorvidos (Zn, Cu, Fe, Mn) pelo sorgo em função de diferentes fontes e doses de fósforo.

Teste F				
Fonte de Variação	Zn	Cu	Fe	Mn
Fontes	366,1**	147,8**	1974,7**	5653,1**
Doses	1636,0**	192,1**	4142,1**	13837,7**
Fontes x Doses	81,0**	31,5**	569,3**	1120,2**

F = Estatística do teste F; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

### ➤ Ferro (Fe)

Na tabela 17, estão apresentados os resultados do Ferro absorvido pelo sorgo adubado com diferentes fontes e doses de fósforo.

**Tabela 17** - Teores de ferro ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) encontrados na parte aérea do sorgo em função de diferentes doses e fontes de fósforo.

Fontes	Doses ( $\text{mg P kg}^{-1}$ )			
	0	100	200	300
ST	0,04 aD	0,21 aC	0,30 aB	0,52 aA
FNB	0,04 aD	0,20 aB	0,17 bC	0,53 aA
FNT	0,04 aB	0,09 cA	0,08 dA	0,08 cA
FNR	0,04 aC	0,15 bB	0,15 cB	0,28 bA
CV%	4,27			

Médias seguidas por letras distintas dentro de cada dose diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Colunas= letras minúsculas; Linhas=letras maiúsculas; C.V= Coeficiente de Variação; ST= Superfosfato triplo; FNB= Fosfato Natural da Bahia; FNT= Fosfato Natural do Tocantins; FNR= Fosfato Natural Reativo.

Nota-se que a aplicação de todas as fontes de fósforo contribuíram para que houvesse aumento nos teores de ferro pelo sorgo. A fonte ST nas doses 100, 200 e 300  $\text{mg kg}^{-1}$  solo diferiram estatisticamente entre si e em relação a dose 0, pelo teste de tukey, a 5% de probabilidade. Em relação à dose 0, os aumentos percentuais de ferro absorvido obtido com aplicação das doses 100, 200 e 300  $\text{mg kg}^{-1}$  solo da fonte ST foram de 425, 650 e 1200%, respectivamente, conforme dados da tabela 17.

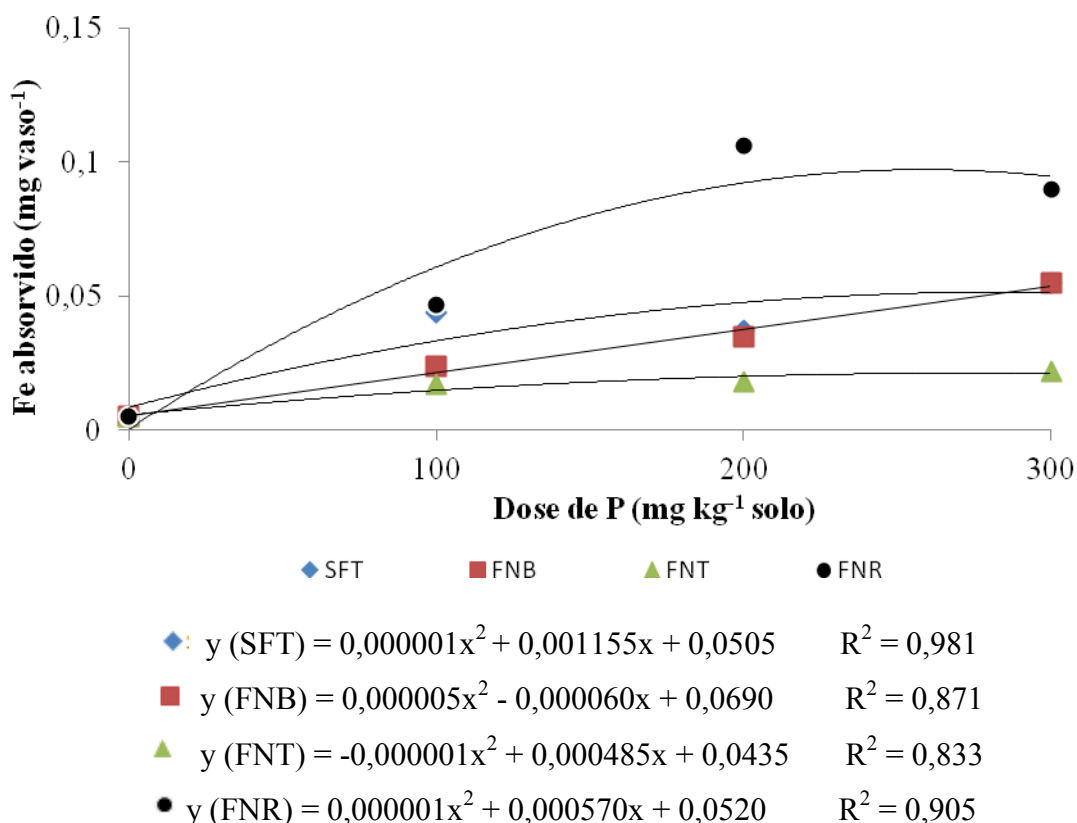
O aumento na absorção de ferro pelo sorgo adubado com a fonte ST pode ser explicado pelo maior desenvolvimento das plantas nesse tratamento, o que favorece uma mais elevada remoção de nutrientes. Corroborando com essa ideia, Leão *et al.*, (2011) ao avaliarem o efeito do estresse hídrico e de doses de fósforo no acúmulo de nutrientes na parte aérea de plantas de sorgo, notaram que o aumento no fornecimento de P proporcionou aumento na absorção de ferro.

Dentre os fosfatos naturais avaliados, a absorção de Fe com a fonte FNB na dose 300  $\text{mg kg}^{-1}$  solo foi estatisticamente similar na mesma dose quando usada a fonte ST. O aumento provocado por essas fontes está relacionado com a facilidade com que as mesmas têm em liberar fósforo para o solo, o que diferentemente ocorreu com a fonte FNT, cuja liberação de fósforo é considerada lenta devido a sua baixa solubilidade.

Em relação à dose 0, os aumentos percentuais de ferro absorvido obtido com aplicação das doses 100, 200 e 300 mg kg<sup>-1</sup> solo do FNB foram de 367, 300 e 1109% respectivamente, conforme dados da tabela 17. Também foi observado respostas positivas para as absorções de ferro em função das doses crescentes de fósforo das fontes FNR e ST, sendo que os aumentos percentuais da fonte FNR nas doses 100, 200 e 300 mg kg<sup>-1</sup> solo em relação à testemunha foram de 241, 247 e 542% respectivamente. Dessa forma, pode-se notar que o resultado encontrado demonstra que as fontes com maior capacidade em fornecer fósforo para o solo contribuem para aumentos na atividade metabólica das plantas, fazendo com que ocorra maior remoção de nutrientes e adequada nutrição às espécies vegetais.

As análises de regressão para o teor de ferro absorvido pelas plantas de sorgo em função de doses crescentes e das fontes de fósforo estão representadas na figura 20.

**Figura 20** – Análise de regressão dos teores de ferro (mg vaso<sup>-1</sup>) no sorgo em função de doses crescente e diferentes fontes de fósforo.



Todos os dados das quantidades de ferro absorvido obtidos com as fontes ST, FNB, FNT e FNR melhor se adequaram ao modelo quadrático de regressão, o qual revelou



que as melhores repostas para o ferro absorvido foram observadas quando se utilizou as fontes FNB e ST na dose 300 mg kg<sup>-1</sup> solo e as menores respostas foram observadas com a fonte FNT.

### ➤ Manganês (Mn)

Estão apresentados na tabela 18 os resultados referentes à absorção do manganês pelo sorgo.

**Tabela 18** - Teores de manganês (mg vaso<sup>-1</sup>) encontrados na parte aérea do sorgo em função de diferentes doses e fontes de fósforo.

Fontes	Doses (mg P kg <sup>-1</sup> )			
	0	100	200	300
ST	0,12 aD	0,69 bC	0,74 aB	1,03 aA
FNB	0,12 aD	0,75 aB	0,57 cC	1,02 aA
FNT	0,12 aD	0,27 dC	0,29 dB	0,34 cA
FNR	0,12 aD	0,43 cC	0,72 bA	0,68 bB
CV%		1,86		

Médias seguidas por letras distintas dentro de cada dose diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Colunas= letras minúsculas; Linhas=letras maiúsculas; C.V= Coeficiente de Variação; ST= Superfosfato triplo; FNB= Fosfato Natural da Bahia; FNT= Fosfato Natural do Tocantins; FNR= Fosfato Natural Reativo.

Para a fonte ST, diferenças significativas foram reveladas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para o teor de manganês absorvido entre todas as doses aplicadas, sendo que a maior dose (300 mg kg<sup>-1</sup> solo) contribuiu para que o sorgo removesse as maiores e significativas quantidades de manganês. Os percentuais de aumento de manganês absorvido pelo sorgo adubado com as doses 100, 200 e 300 mg kg<sup>-1</sup> solo do ST em relação à testemunha foram de 476, 519 e 761%, respectivamente.

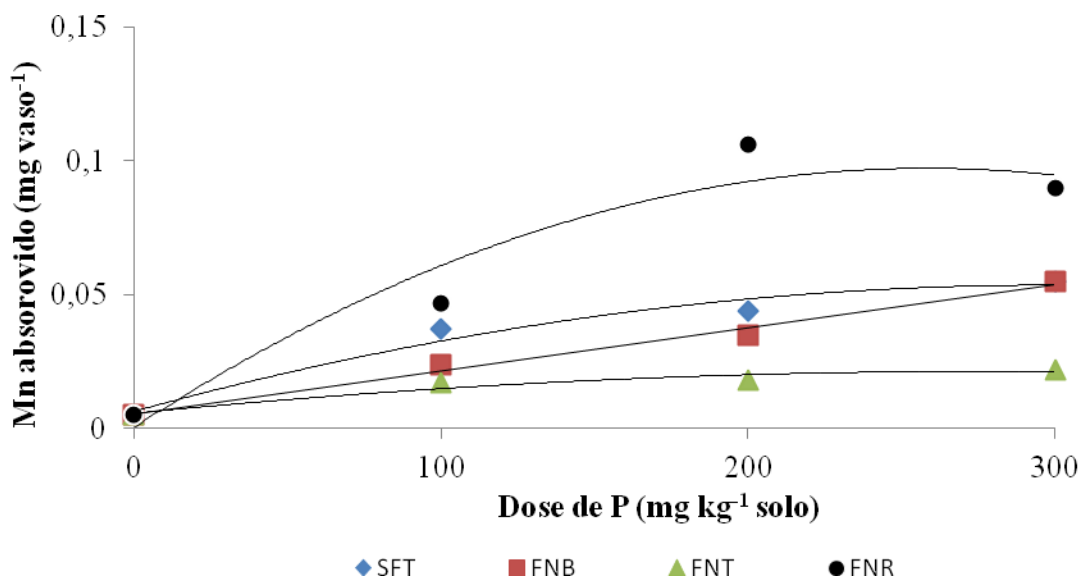
Dessa forma, acredita-se que o correto fornecimento de fósforo ao solo fez com que o sorgo aumentasse a absorção de outros nutrientes disponíveis no solo, incluindo o manganês. Dentre os fosfatos naturais avaliados, pode-se notar diferenças significativas, onde as maiores remoções de manganês foram observadas quando adubou o sorgo com as fontes FNB (dose 300 mg kg<sup>-1</sup> solo) e FNR (dose 200 mg kg<sup>-1</sup> solo). De acordo com a tabela 18, pode-se notar que não foram observadas diferenças significativas, a 5% pelo teste de Tukey, entre as fontes ST e FNB, na dose 300 mg kg<sup>-1</sup> solo, o que indica que ambas as

fontes na dose  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  solo possuem o mesmo potencial em fornecer fósforo ao solo, tendo como consequência um maior desenvolvimento das plantas e maior remoção de nutrientes.

As plantas cultivadas com a fonte FNT apresentaram os menores teores de manganês absorvido em função das doses 100, 200 e  $300 \text{ mg de P kg}^{-1}$  solo. Os percentuais de aumento da absorção de manganês pelo sorgo adubadas com o FNB nas doses 100, 200 e  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  solo em relação à dose 0 de fósforo foram de 525, 379 e 751% respectivamente. Para a fonte FNT, os percentuais de aumento obtidos com as doses 100, 200 e 300 em relação à dose 0 de fósforo foram de 129, 148 e 190%, respectivamente e para a fonte FNR, os aumentos percentuais obtido com as doses 100, 200 e 300 em relação à dose 0 de fósforo foram de 264, 501 e 469%.

A análise de regressão para o teor de manganês no sorgo em função de doses crescentes de fósforo e das diferentes fontes está apresentada na figura 21.

**Figura 21** – Análise de regressão dos teores de manganês ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) no sorgo em função de doses crescente e diferentes fontes de fósforo.



◆  $y(\text{SFT}) = -0,000001x^2 + 0,000315x + 0,006450 \quad R^2 = 0,969$

■  $y(\text{FNB}) = 0,000005x^2 + 0,003930x + 0,191095 \quad R^2 = 0,765$

▲  $y(\text{FNT}) = -0,000003x^2 + 0,00149x + 0,127970 \quad R^2 = 0,956$

●  $y(\text{FNR}) = -0,000009x^2 + 0,004643x + 0,105530 \quad R^2 = 0,981$

As quantidades de manganês absorvido pelo sorgo em todas as fontes avaliadas melhor adequaram-se ao modelo quadrático de regressão, onde a máxima remoção foi alcançada com as doses 300, 300, 300 e 200 mg de P kg<sup>-1</sup> com as fontes ST, FNB, FNT e FNR, respectivamente (figura 19). Leão *et al.*, (2011) também encontraram uma função quadrática para relacionando a quantidade de Manganês removido pelo sorgo em Neossolo litólico com as doses crescentes de fósforo.

### ➤ Zinco (Zn)

A tabela 19 apresenta os resultados do zinco em relação à absorção pelo sorgo em função das diferentes fontes e doses de fósforo.

**Tabela 19** - Teores de zinco (mg vaso<sup>-1</sup>) encontrados na parte aérea do sorgo em função de diferentes doses e fontes de fósforo.

Fontes	Doses (mg P kg <sup>-1</sup> )			
	0	100	200	300
ST	0,03 aC	0,17 aB	0,20 aA	0,21 bA
FNB	0,03 aC	0,16 bB	0,16 cB	0,27 aA
FNT	0,03 aC	0,08 dB	0,11 dA	0,11 cA
FNR	0,03 aD	0,14 cC	0,18 bB	0,26 aA
CV%	5,26			

Médias seguidas por letras distintas dentro de cada dose diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Colunas= letras minúsculas; Linhas=letras maiúsculas; C.V= Coeficiente de Variação; ST= Superfosfato triplo; FNB= Fosfato Natural da Bahia; FNT= Fosfato Natural do Tocantins; FNR= Fosfato Natural Reativo.

As maiores quantidades de zinco absorvidas foram observadas quando o sorgo foi adubado com a fonte ST (nas doses 200 e 300 mg kg<sup>-1</sup> solo), FNB e FNR (na dose 300 mg kg<sup>-1</sup> solo). Observando-se os dados da tabela 19, pode-se visualizar que a absorção de zinco pelas plantas de sorgo adubadas com as fontes FNB (dose 300 mg kg<sup>-1</sup> solo) e FNR (dose 300 mg kg<sup>-1</sup> solo), foram significativamente maiores que as removidas no tratamento com o ST, o que indica que para o sorgo, essas fontes apresentam-se mais eficientes para suprir fósforo e, conseqüentemente, induzir maior absorção de outros nutrientes.

O teste de Tukey a 5% de probabilidade (tabela 19) revelou diferenças significativas para o zinco absorvido entre todas as doses e todas as fontes avaliadas, sendo que a maior dose da fonte FNB foi a que proporcionou a maior absorção de zinco pelo sorgo. O aumento percentual do zinco absorvido pelo sorgo adubado com a fonte ST, nas doses 100, 200 e 300 mg kg<sup>-1</sup> solo, em relação à dose 0 mg P kg<sup>-1</sup> foram de 426, 354 e 454%, respectivamente.

Fernandes et al., (2007) observaram aumento no acúmulo de Zn na planta em função da adubação fosfatada, e atribuíram este resultado ao maior crescimento das plantas e produção de matéria seca. Embora a fonte FNT tenha contribuído para aumentar a remoção de zinco pelo sorgo, verificou-se que, ao comparar todas as fontes avaliadas neste trabalho, foi a fonte que proporcionou os menores valores de absorção de zinco, o que pode ser justificado pela sua mais baixa solubilidade.

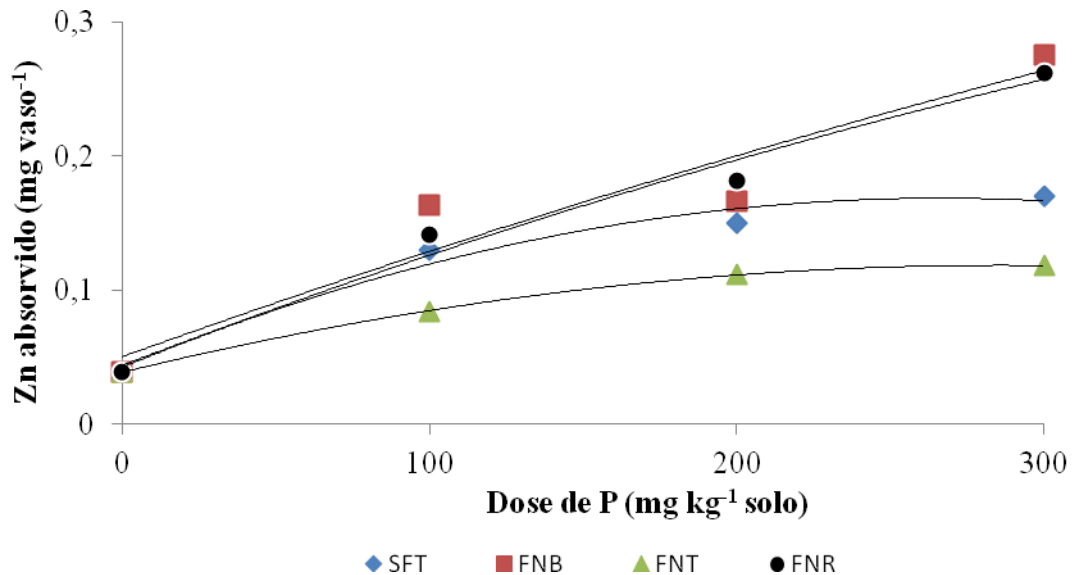
Diante disso, pode-se observar que os percentuais de aumento do zinco absorvido pelo sorgo adubado com a fonte FNT, nas doses 100, 200 e 300 mg kg<sup>-1</sup> solo, em relação à dose 0 de fósforo foram de 111, 184 e 200%, respectivamente. Para a fonte FNR, os percentuais de aumento obtido com as doses 100, 200 e 300 mg kg<sup>-1</sup> solo em relação à dose 0 de fósforo foram de 258, 363 e 567%.

Pacheco *et al.*, (2012) estudando plantas adubadas com fosfato natural de baixa reatividade constataram que esse tipo de fonte não supre a demanda de P da planta, podendo comprometer o potencial das plantas de ciclo curto na absorção de outros nutrientes.

De modo geral, o aumento no fornecimento de fósforo proporciona aumentos na remoção de zinco devido a aumentos na atividade metabólica e na produção de matéria seca das plantas de sorgo.

A análise de regressão para o teor de zinco absorvido pelo sorgo em função de doses crescentes e de fontes diferentes de fósforo está apresentada na figura 22.

**Figura 22** – Análise de regressão dos teores de zinco ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) no sorgo em função de doses crescente e diferentes fontes de fósforo.



$$\blacklozenge y (\text{SFT}) = -0,000002x^2 + 0,000946x + 0,042550 \quad R^2 = 0,974$$

$$\blacksquare y (\text{FNB}) = -0,000000x^2 + 0,000824x + 0,050350 \quad R^2 = 0,907$$

$$\blacktriangle y (\text{FNT}) = -0,000001x^2 + 0,000558x + 0,038750 \quad R^2 = 0,999$$

$$\bullet y (\text{FNR}) = -0,000001x^2 + 0,000875x + 0,044000 \quad R^2 = 0,980$$

Os teores de zinco absorvido pelas plantas, obtidos com as fontes ST, FNB, FNT e FNB, melhor se adequaram ao modelo quadrático conforme a figura 20. Pode ser observado que as melhores respostas foram obtidas com as fontes FNB e FNR na dose 300  $\text{mg kg}^{-1}$  solo. As menores respostas foram observadas na fonte FNT (em todas as doses avaliadas).

### ➤ Cobre (Cu)

Na tabela 20, estão apresentados os resultados da absorção do Cobre pelo sorgo em função das doses e das fontes de fósforo.

**Tabela 20** - Teores de cobre ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) pela parte aérea do sorgo em função de diferentes doses e fontes de fósforo.

Fontes	Doses ( $\text{mg P kg}^{-1}$ )			
	0	100	200	300
ST	0,005 aC	0,04 aAB	0,03 bB	0,05 bA
FNB	0,005 aC	0,02 bB	0,03 bB	0,05 bA
FNT	0,005 aB	0,01 bAB	0,01 cA	0,02 cA
FNR	0,005 aD	0,04 aC	0,10 aA	0,09 aB
CV%	17,95			

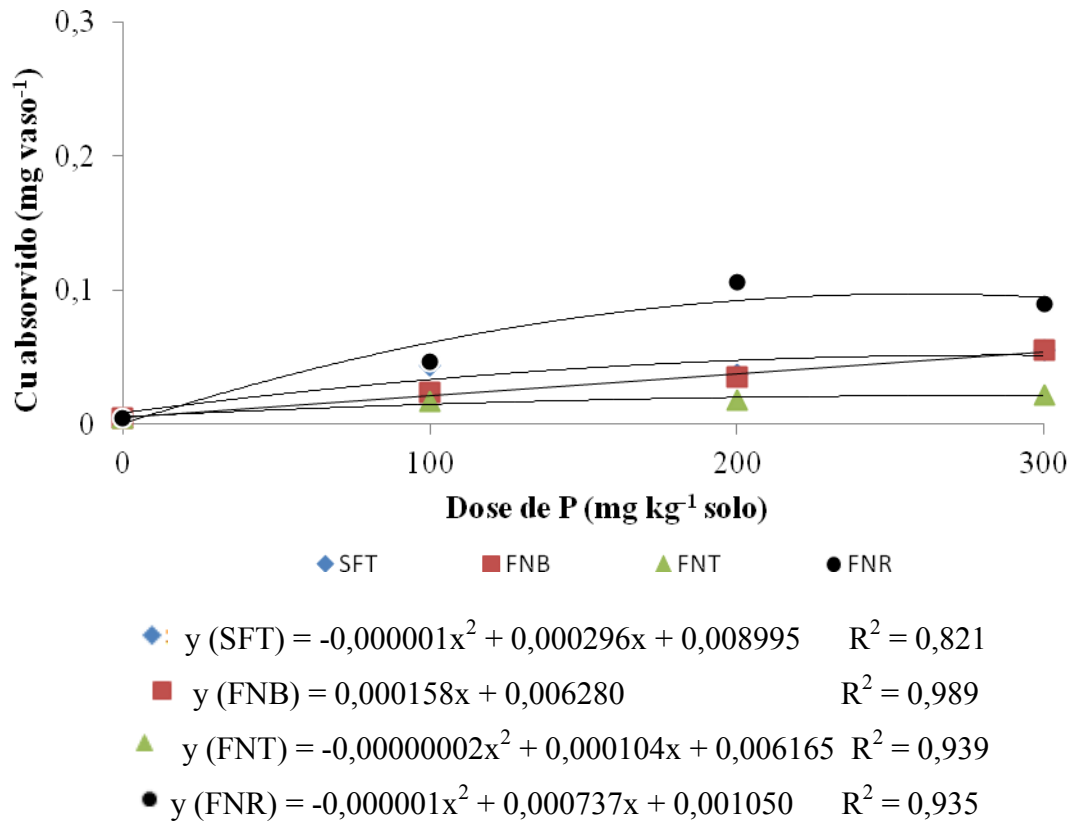
Médias seguidas por letras distintas dentro de cada dose diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Colunas= letras minúsculas; Linhas=letras maiúsculas; C.V= Coeficiente de Variação; ST= Superfosfato triplo; FNB= Fosfato Natural da Bahia; FNT= Fosfato Natural do Tocantins; FNR= Fosfato Natural Reativo.

A maior absorção de cobre por vaso foi observada quando adubou o sorgo com a fonte FNR e em todas as doses aplicadas. Ainda com relação a fonte FNR, observou-se diferenças significativas entre todas as doses, sendo na dose  $200 \text{ mg kg}^{-1}$  solo a ocorrência da maior quantidade removida do cobre. Em relação à dose 0, os aumentos percentuais obtidos com o uso do FNR nas doses 100, 200 e  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  solo foram de 760, 1814 e 1545%, respectivamente.

Diferenças significativas, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade também foram encontradas entre todas as doses do ST, sendo que a dose  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  solo foi a que apresentou a maior quantidade absorvida de cobre. Para o ST, os aumentos percentuais do cobre absorvidos pelo sorgo, nas doses 100, 200 e  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  solo, em relação a dose 0 foram de 700, 578 e 905%, respectivamente. Para a fonte FNB, notou-se que os percentuais de aumentos de absorção de cobre, nas doses 100, 200 e  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  solo, em relação à dose 0 de fósforo foram de 345, 541 e 890%, respectivamente. Para o FNT, esses aumentos percentuais, nas doses 100, 200 e  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  solo, em relação à testemunha, foram de 205, 223 e 296%, respectivamente.

A análise de regressão para os teores de cobre absorvido pelo sorgo em função de doses crescentes e de fontes de fósforo está representada na figura 23.

**Figura 23** – Análise de regressão dos teores de cobre ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) pelo sorgo em função de doses crescente e diferentes fontes de fósforo.



Pode-se notar que os valores para o cobre absorvido pelo sorgo adubado com ST, FNR e FNT melhor se adequaram ao modelo quadrático de regressão, onde a máxima absorção foi obtida com as doses 100, 300 e 200  $\text{mg kg}^{-1}$  solo.

A quantidade de cobre removido pelas plantas de sorgo adubadas com o FNB melhor se adequou ao modelo linear de regressão.

#### 4.4 Índice Equivalente Supertriplo

Na tabela 21 encontram-se os dados referentes à análise de variância do índice equivalente supertriplo das fontes de fósforo utilizadas na adubação do sorgo. Pode-se perceber que houve um efeito significativo, a 1% de probabilidade, para o índice equivalente supertriplo em função das fontes, doses e interação entre fontes e doses.

**Tabela 21** - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável Índice Equivalente Superfosfato em função de diferentes fontes e doses de fósforo.

Teste F	
Fonte de Variação	Índice Equivalente Supertriplo
Fontes	7722,12 **
Doses	57439,15 **
Fontes x Doses	954,41 **

F = Estatística do teste F; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Os percentuais de equivalência de supertriplo para as fontes avaliadas estão na tabela 22.

**Tabela 22** - Índice de Equivalente Supertriplo (%) das fontes de fósforo utilizadas no cultivo do sorgo.

Fontes	Doses (mg P kg <sup>-1</sup> )			
	0	100	200	300
ST	0,78 aB	100,00 aA	100,00 aA	100,00 aA
FNB	0,78 aC	96,16 bA	92,76 cB	94,09 bB
FNT	0,78 aD	61,27 cA	55,04 dB	47,76 dC
FNR	0,78 aD	96,09 bB	98,18 bA	84,37 cC
CV%	1,10			

Médias seguidas por letras distintas maiúscula na linha e minúscula na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Colunas= letras minúsculas; Linhas=letras maiúsculas; C.V= Coeficiente de Variação; ST= Superfosfato triplo; FNB= Fosfato Natural da Bahia; FNT= Fosfato Natural do Tocantins; FNR= Fosfato natural reativo.

Dentre os fosfatos naturais avaliadas na dose 100 mg kg<sup>-1</sup> solo, as fontes FNB e FNR foram as fontes que apresentaram a equivalência mais próxima da fonte ST. Observou-se também que a fonte FNT foi a que obteve o menor índice de equivalente supertriplo, o que indica baixa eficiência dessa fonte em aumentar a matéria seca produzida pelo sorgo. Pode-se observar também que todas as fontes avaliadas diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%, nas doses 100, 200 e 300 mg kg<sup>-1</sup> solo.

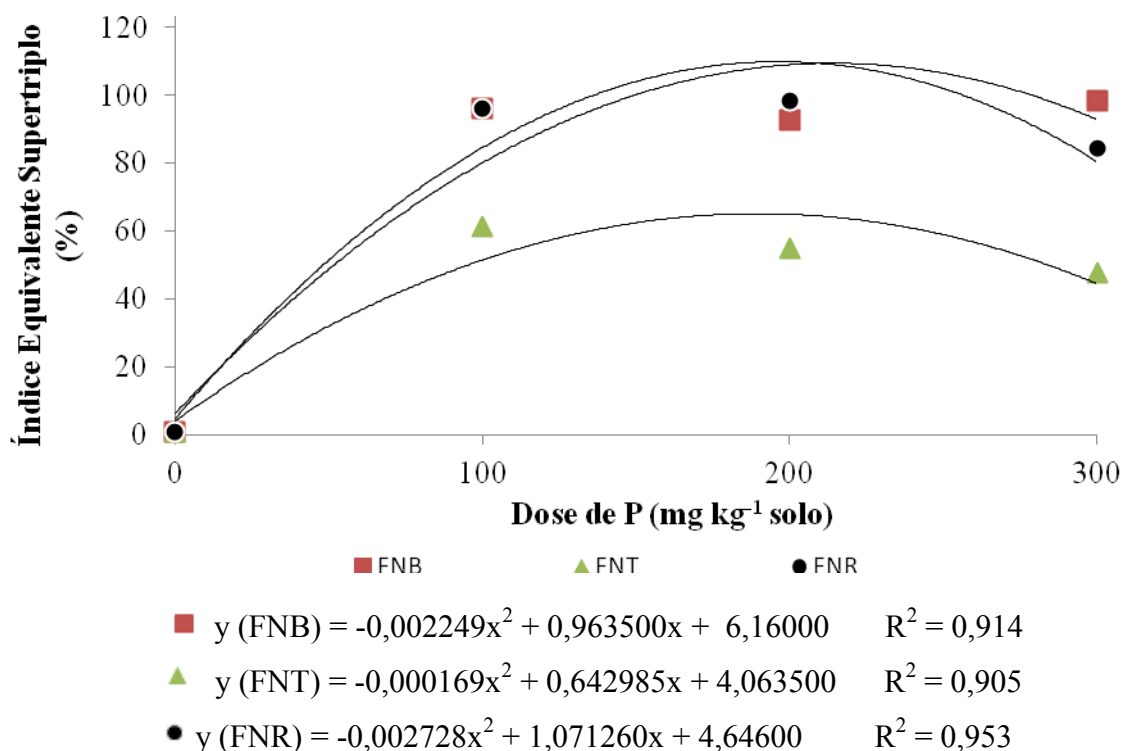
Segundo Novais e Smyth (1999), quando as apatitas brasileiras de baixa reatividade são comparadas com fosfatos naturais de maior reatividade, como o de Gafsa, Carolina do Norte e fosfatos industrializados, observa-se que as apatitas brasileiras geralmente apresentam comportamento insatisfatório em fornecer fósforo para as culturas. Essa evidência foi comprovada no presente trabalho quando as fontes FNR e FNT são comparadas. Santos e Kliemann (2005) chegaram à conclusão de que os fosfatos de Arad e



Araxá produziram 24 e 53% a menos de matéria seca em relação a matéria seca obtida com a fonte ST. Ao analisar a média dos percentuais de equivalência das 4 fontes avaliadas no presente trabalho, verificou-se que o índice equivalente supertriplo seguiu a seguinte ordem decrescente: ST > FNB > FNR > FNT. Sendo assim, no presente estudo, a fonte FNB e o FNR, em todas as doses avaliadas, são classificadas como fontes de alta solubilidade.

A análise de regressão para o índice de equivalente supertriplo dos fosfatos naturais em função de doses crescentes de fósforo está representada na figura 24. Os percentuais de equivalência das fontes FNB, FNT e FNR melhor se adequaram ao modelo quadrático de regressão.

**Figura 24** – Análise de regressão do Índice de Equivalente Supertriplo (%) dos fosfatos naturais em função de doses crescentes de fósforo.



#### 4.5 Índice de Eficiência Agronômica

Na tabela 23, encontram-se os dados referentes à análise de variância do índice de eficiência agronômica (IEA%) em relação às fontes de fósforo utilizadas na adubação do sorgo. Pode-se perceber que houve um efeito significativo, a 1% de probabilidade, para

o índice equivalente supertriplo em função das fontes, doses e interação entre fontes e doses.

**Tabela 23** - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável Índice de Eficiência Agronômica em função de diferentes fontes e doses de fósforo.

Teste F	
Fonte de Variação	Índice de Eficiência Agronômica
Fontes	6790,16 **
Doses	31008,74 **
Fontes x Doses	818,36 **

F = Estatística do teste F; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Na Tabela 24, observa-se que ocorreram efeitos das doses, das fontes e interação desses fatores nos valores do IEA. Ficou demonstrado que o ST foi a fonte de fósforo significativamente de maior eficiência. Dentre os fosfatos naturais avaliados, o FNR, na dose 200 mg kg<sup>-1</sup>solo, foi a fonte que apresentou eficiência similar ao da fonte ST.

**Tabela 24** - Índice de Eficiência Agronômica (%) das fontes de fósforo utilizadas no cultivo do sorgo.

Fontes	Doses (mg P kg <sup>-1</sup> )			
	0	100	200	300
ST	0,00 aB	100,00 aA	100,00 aA	100,00 aA
FNB	0,00 aD	95,01 bA	91,01 cC	93,01 bB
FNT	0,00 aD	49,66 cA	44,14 dB	38,16 dC
FNR	0,00 aD	94,91 bB	97,50 bA	81,38 cC
CV%	1,52			

Médias seguidas por letras distintas maiúscula na linha e minúscula na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Colunas= letras minúsculas; Linhas=letras maiúsculas; C.V= Coeficiente de Variação; ST= Superfosfato triplo; FNB= Fosfato Natural da Bahia; FNT= Fosfato Natural do Tocantins; FNR= Fosfato natural reativo.

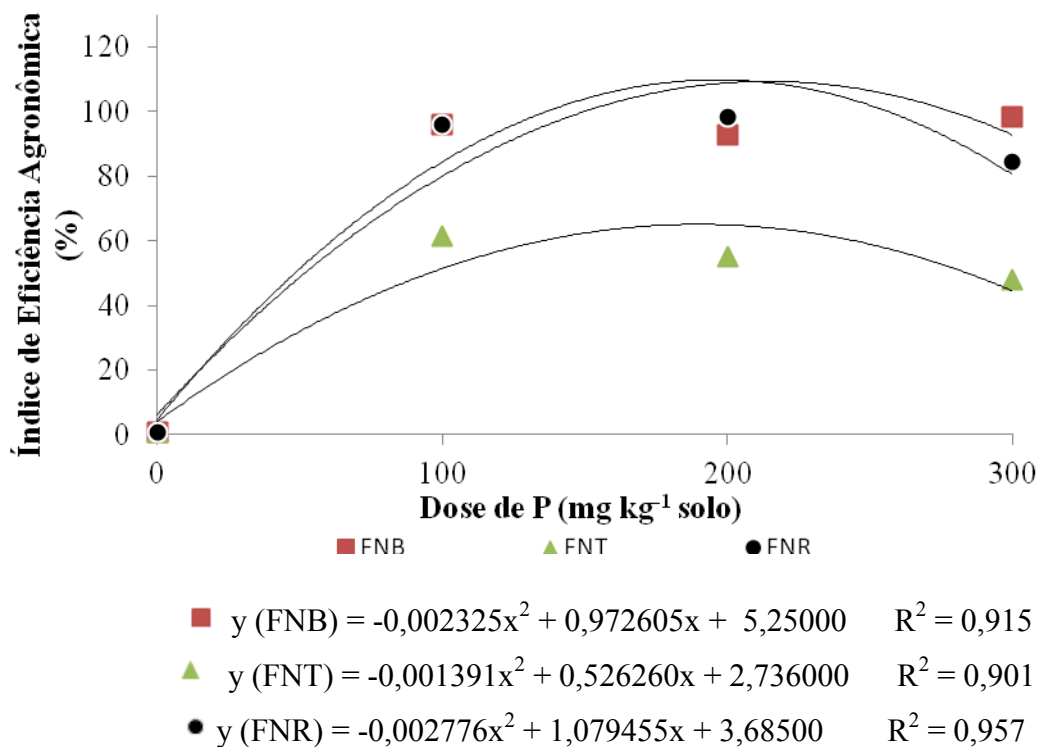
Os fosfatos naturais avaliados apresentaram eficiências agronômicas estatisticamente diferentes, entre si, na dose 100 mg kg<sup>-1</sup>solo, sendo que as fontes FNB e FNR apresentaram eficiências agronômicas estatisticamente iguais. A fonte FNT apresentou o menor valor de IEA.

Analisando-se a média dos Índices de Eficiência Agronômica das fontes, verificou-se que esse índice seguiu a seguinte ordem decrescente: ST > FNB > FNR > FNT.

Goedert; Lobato (1984) e Rosand; Santana (1986) trabalhando com sorgo, observaram que o IEA do fosfato de Gafsa foi semelhante, ou superior, ao do ST.

A análise de regressão para o índice de eficiência agrônômica dos fosfatos naturais do presente estudo, em função das doses crescentes de fósforo, esta representada na figura 25. Demonstrado que os percentuais de eficiência das fontes FNB, FNT e FNR melhor se adequaram ao modelo quadrático de regressão, onde as máximas eficiências foram obtidas com as doses 100, 100 e 200 mg de P kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Figura 25** – Análise de regressão do Índice de Eficiência Agrônômica (%) dos fosfatos naturais em função de doses crescente de fósforo.



## 5. CONCLUSÕES

Considerando as condições e resultados do presente estudo, foi possível se chegar as seguintes conclusões:

- As fontes que proporcionaram os crescimentos mais significativos das plantas de sorgo foram a do Superfosfato triplo e a do FNB.

- Em ordem decrescente, as fontes que mais contribuíram para a absorção de fósforo do solo pelo sorgo foram Superfosfato triplo > FNB > FNR > FNT.
- Considerando todas as fontes de P usadas, as plantas de sorgo forrageiro acumularam macronutrientes em suas partes aéreas na seguinte ordem decrescente de acúmulos: N > K > Ca > Mg > P > S.
- Os micronutrientes absorvidos pela parte aérea do sorgo seguiu a seguinte ordem decrescente: Mn > Fe > Zn > Cu.
- A maioria dos elevados valores de absorção de macronutriente e micronutriente ocorreu na dose 300 mg kg<sup>-1</sup> solo.
- A fonte que apresentou o melhor Índice de Eficiência Agronômica foi o Superfosfato triplo, seguido da fonte Fosfato Natural da Bahia.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-KARAKI, G. N. Rhizobium and phosphorus influence on Lentil seed protein and lipid. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 22, p. 351-358, 1999.

ALEXANDRINO, E. *et al.* Características morfogênicas e estruturais da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetida a diferentes doses de nitrogênio e frequências de cortes. **Acta Scientiarum**, v.27, n.1, p.7-14, 2005.

AQUINO, B, F. **Adubos e Adubação**. Curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas (apostila). Fortaleza: UFC, 2005.

AQUINO, B, F. **Conceitos Fundamentais em Fertilidade do Solo**. Curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas (apostila). Fortaleza: UFC, 2008.

AMARAL, J. F. T. *et al.* Deficiências de macronutrientes, Fe e B em manjerição (*Ocimum* sp.), em cultivo hidropônico. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 46, n. 265, p. 297-308, 1999.

BARBOSA FILHO, M.P. Utilização de fosfatos naturais em solos de cerrado. **Informações Agrônomicas**, n. 28, Piracicaba-SP, p.12, 1984.

BLACK, C.A. **Soil-plant relationship**. New York: John Wiley, 1968. p.507-557.

BORGES, I. D. **Marcha de absorção de nutrientes e acúmulo de matéria seca em milho**. 2006. 168 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

CANTARELLA, H. *et al.* E. **Sorgo-granífero, forrageiro e vassoura**. In: RAIJ, B.van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2a ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p.66-67 (Boletim técnico, 100).

CARDOSO, S. **Crescimento e produção de *Panicum maximum* cv. Massai em resposta à adubação nitrogenada.** Dourados. 2005. 78p. Dissertação (mestrado) Universidade Federal do Mato Grosso do Sul.

CASTRO, L. N.; MELGAR, R. J. Rochas Fosfáticas. In: NIELSO, H.; SARUDIANSKY. In: JORNADA INTERNACIONALES DEL FERTILIZANTES Y ENMIENDAS DEL ORIGEM MINERAL. n 2, P. 01-237, 2005, Buenos Aires. **Proyecto Cytel n. 13.** Buenos Aires: Fertilizantes y Enmiendas, 2005.

CHIEN, S.H.; MENON, R.G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 41, 0. 227-234, 1995.

CHIEN, S.H. *et al.* Phosphorus availability from phosphate rock as enhanced by water-soluble phosphorus. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 60, p. 1173-1177, 1996.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Levantamento: Abril, 2012.**

Disponível em:

<[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12\\_04\\_11\\_15\\_04\\_18\\_boletim\\_abril\\_2012.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_04_11_15_04_18_boletim_abril_2012.pdf)> Acesso em: 01 junho 2012.

CORRÊA, R. M. *et al.* Gafsa rock phosphate and triple superphosphate for dry matter production and P uptake by corn. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 62, n. 2, p. 159-164, 2005.

COSTA, S. E. V. G. A. *et al.* Crescimento e nutrição da Braquiária em função de fontes de fósforo, **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1419-1427, 2008.

COUTINHO, E.L.M. *et al.* Avaliação da eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados para a cultura do milho. **Cientifica**, São Paulo, v. 19, p. 93-104, 1991.

Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). **Minerais potássicos no Brasil.** Recife, 2005, 59 p. (Boletim de Informações técnicas).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Análises de Solo.** 2ª ed., Rio de Janeiro: CNPS, 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2ª ed., Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas.** 2ª Ed. Maria Edna Tenório Nunes (Tradutora). Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

FERNANDES, A. R. *et al.* Crescimento e absorção de nutrientes por mudas de freijó (*Cordia goeldiana* Huber) em função de doses de fósforo e de zinco. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 599-608, 2007.

GILL, M.A. *et al.* Maize growth and uptake of phosphate and copper at different ambient phosphate concentrations. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 8, p.631-636, 1992.

GOEDERT, W. J. *et al.* Eficiência agronômica de fosfatos naturais, fosfatos parcialmente acidulados e termofosfatos em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 4, p. 521-530, 1988.

GOEDERT, W.J.; LOBATO, E. Avaliação agronômica de fosfatos em solo de cerrado. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.8, n.1, p.97-102, 1984.

HAMMOND, L.L. **Research on direct application of phosphate rock in the Agro-Economic Division**. IFDC, Florence, Alabama. 15p. (Memorandum), 1977.

HAMMOND, L.L., *et al.* Agronomic value of unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to the tropics. **Advances in Agronomy**. 40: 89-140, 1986

HAVLIN, J.L. *et al.* **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management**. 7<sup>th</sup> ed. New Jersey: Pearson, 2005.

HOFFMANN, C. R. *et al.* O nitrogênio e o fósforo no crescimento da braquiária e do colônio em amostras de um solo da região Noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 19, p. 79-86, 1995.

KABATA PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC Press, 1984. 315 p.

KAMINSKI, J. **Avaliação agronômica em função da granulometria de termofosfato magnsiano fundido**. UFSM/CCR/Dep. Solos, Sanata Maria, 44p. (Trabalho apresentado no Concurso para Professor Titular), 1990.

KLIEMANN, H.J.; LIMA, D.V. Eficiência agronômica de fosfatos naturais e sua influencia no fósforo disponível em dois solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiania, v.31, n. 2, p. 111-119, 2001.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Economica, 1948.

LEÃO, D. A. S. *et al.* Estado Nutricional de Sorgo Cultivado sob estresse Hídrico e Adubação Fosfatada. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 74-79, jan./mar. 2011.

LEÃO, D. A. S. **Estresse hídrico e adubação fosfatada no desenvolvimento inicial e na qualidade da forragem da gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.) e do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.)**. 2006. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Campina Grande, Patos.

LEHR, J.R.; McCLELLAN, G.H. **A revised laboratory reactivity scale for evaluating phosphate rocks for direct application**. Muscle Shoals: National Fertilizer Development Center, TVA, 1972.

LEITE, M.L.V. **Crescimento vegetativo do sorgo Sudão (*Sorghum sundanense* (Piper) stapf) em função da disponibilidade de água no solo e fontes de fósforo**. 2006. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia.

LOPES, A.S. **Manual de fertilidade do solo**. Piracicaba: Fundação Cargill, 1989. 177p.

MAGALHÃES, P. C. *et al.* **Fisiologia da planta de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 46p. (Embrapa Milho e Sorgo - Circular Técnica, 3).

MAGALHÃES, J.V. **Absorção e translocação de nitrogênio por plantas de milho (*Zea mays* L.) submetidas a períodos crescentes de omissão de fósforo em solução nutritiva**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1996,76p.

MALAVOLTA, E. **O potássio e a planta**. Piracicaba: POTAFÓS,1984. 61p. (Boletim Técnico, 1).

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.251p.

MALAVOLTA, E. *et al.* **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p

MALAVOLTA, E. *et al.* Exigências nutricionais das plantas forrageiras. In: MATTOS, H.B.; WERNER, J.C.; YAMADA, T.; MALAVOLTA, E. Ed. **Calagem e adubação de pastagens**. Piracicaba: POTAFOS, 1986.p.31-76.

MARSCHENER, H. Mineral nutrition of higher plants. San Diego: **Academic Press**, 889 p.2002.

MARTINEZ, H.E.P. *et al.* Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais—5ª Aproximação**. Viçosa: CFSMG. 1999. p.141-168.

MEURER, E. J. Fundamentos de química do solo. **Evangraf** 3 ed. p. 285. Porto Alegre, 2006.

MINSON, D.J. Effects of chemical and physical composition of herbage eater upon intake. In:HACKER, J.B (Ed.). **Nutritional limits to animal production from pasture**. Farnham Royal, UK. Commonwealth Agriculture Bureaux. p.167-162. 1984.

NOLLER, C.H., RHYKERD,C.L. **Relation of nitrogen fertilization and chemical composition of rage to animal health and performance**. In: MAYS,D.A. Forage fertilization. Madison: Crop Science Society of América, cap.17, p.363-393, 1974.

NOVAIS, R.F.; SMITH, T.J. **Fósforo em solos e planta em condições tropicais**. Universidade Federal de Viçosa, 1999.

OLIVEIRA, E.L., O. Muzilli, K. Igue & M.T.T. Tornero. Avaliação da eficiência agrônômica dos fosfatos naturais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 8: 63-67, 1984.

OLIVEIRA, J.S. *et al.* Aptabilidade e Estabilidade em Cultivares de Sorgo. **R. Bras. Zootec.**, v.31, n.2, p.883-889, 2002.

OLSEN, S. R. Micronutrients Interactions. In: J.J.MONTVERDT, P.M. GIORDANO e W.L. LINDSAY (eds). **Micronutrients in agriculture**. Soil Science of America Monographs . Madison (Wisconsin), p.243-288,1972.

- PAUL, C.L. **Agronomia del sorgo**. Patancheru: ICRISAT/LASIP/CLAIS,1990.
- PRADO, R.M. **Manual de nutrição de plantas forrageiras**. Jaboticabal: FUNEP, 2008.
- RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ed. Ceres. 1991.
- RESENDE, A.V. *et al.* Rochas moídas como fontes de potássio para o milho em solo de Cerrado. Embrapa Cerrados. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 162. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2006b, 20 p.
- RIBAS, P.M. **Cultivo do sorgo**. 2008. Disponível em:  
[http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo\\_4\\_ed/plantio-plantio.html](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_4_ed/plantio-plantio.html) Acesso em: 10 de agosto de 2012.
- ROSAND, P.C.; SANTANA, M.B. Influência do tempo de contato e valor fertilizante de fontes fosfatadas em solos do sul da Bahia. **Rev. Theobroma**, v.16, n.1, p.1-15, 1986.
- ROSOLEM, C. A.; MARUBAYASHI, O. M. **Seja o Doutor do seu feijoeiro**. Piracicaba, POTAFOS, 1994.
- SANTOS, E. de. A.; KLIEMANN, H. J. Disponibilidade de Fósforo de Fosfatos naturais em Solos de Cerrado e sua Avaliação por Extratores Químicos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, n.3, p.139-146, 2005.
- SANTOS JUNIOR, J.D.G. Dinâmica do crescimento do capim-Marandu submetidos a doses de nitrogênio. Piracicaba, 79 p. Dissertação (Mestrado) - **Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” USP**, 2001.
- SANTOS QUISPE, J. F. **Eficiência agrônômica de fosfatos com solubilidade variável em água em solos distintos quanto a capacidade de fixação de fósforo**. 2004, 57 f. Dissertação (Mestrado) –Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. São Paulo.
- SANZONOWICZ, C.; M.J. Goedert. **Uso de fosfatos naturais em pastagens**. Embrapa-CPAC, Planaltina, 1986. 33 p. (Circular técnica 21).
- SARMENTO, P. *et al.* Resposta da alfafa a fontes de fósforo associadas ao gesso e à calagem. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, 2001. p. 381-390.
- SAWAN, Z. M. *et al.* Effect of phosphorus fertilization and foliar application of chelate zinc and calcium on seed, protein and oil yields and oil properties of cotton. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 136, p. 191-198, 2001.
- SEGATELLI, C.R. **Produtividade da soja em semeadura direta com antecipação da adubação fosfatada e potássica na cultura de *Eleusine coracana* (L.) Gaertn.** 2004 Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo.
- SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4,n.1, p71-78,2002.



SOUZA, D.M.G. *et al.* **Cerrado**: uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2007. p.145-177.

SOUZA, R.F. *et al.* Micorriza e fósforo no crescimento de *Brachiaria brizantha* e *Stylosanthes guianensis* em solos de baixa fertilidade. **Pastura Tropicais**, v.21, p.26, Colômbia, 1999.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia vegetal**. – 3.ed. – Porto Alegre: Artmed, 719p, 2004.

VANCE, C. P. *et al.* Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, Lancaster, v. 157, p. 423-447, 2003.

VILELA, L. *et al.* **Calagem e adubação para pastagem na região do Cerrado**. Planaltina. Embrapa, 1998.16p. (Circular técnica, 37).

VASCONCELOS, C.A. *et al.* Eficiência agronômica de fosfatos naturais para a cultura do sorgo-granífero. I. Fósforo total e solúvel em ácido cítrico e granulometria, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 10:117-121, 1986.

VITTI, G.C. *et al.* Eficiência agronômica dos termofosfatos e fosfatos alternativos. In: SIMPÓSIO FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Potafos; ANDA, 2003.

WERNER, J.C. Adubação de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE CALAGEM E ADUBAÇÃO DE PASTAGENS, 11. Nova Odessa. **Anais...** Piracicaba: FEAQ, 1994. p. 209-222.

WERNER, J.C. *et al.* **Forrageiras**. In: RAIJ, B.van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. p.263-273.(Boletim Técnico, 100).

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

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.

ZAPATA, F.; ROY, R. N. **Use of phosphate rocks for sustainable agriculture**. Rome: FAO (Food and Agriculture Organization of the United States). Bulletin 13, 2004.