UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA

TERMOFOSFATO DE ALUMÍNIO NAS CULTURAS DO FEIJÃO, SOJA E SORGO, EM SOLOS DE CERRADO

Marciana Cristina da Silva

Orientador:
Prof. Wilson Mozena Leandro

Goiânia, Goiás - Brasil
2014

MARCIANA CRISTINA DA SILVA

TERMOFOSFATO DE ALUMÍNIO NAS CULTURAS DO FEIJÃO, SOJA E SORGO, EM SOLOS DE CERRADO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Agronomia, área de concentração: Solo e Água.

Orientador:

Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro

Goiânia, GO - Brasil
2014

MARCIANA CRISTINA DA SILVA

EFICIÊNCIA DE USO DE FOSFATO DE ALUMÍNIO COMO FONTE DE FÓSFORO NA PRODUÇÃO DE CULTURAS EM SOLOS DE CERRADO

Tese DEFENDIDA e APROVADA em 22 de maio de 2014, pela Banca Examinadora constituída pelos membros:

Prof. Dr. Juarez Patrício de Oliveira Júnior Membro – EA/UFG	Prof. Dr. Anibal Sebastião Alves Filho Membro – IG Goiano
Prof. Dr. Jacomo Divino Borges Membro – EA/UFG	Profa. Dra. Luciana Domingues Bittencourt Ferreira Membro – UniAnhanguera

Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro
Orientador – EA/UFG

Goiânia, Goiás
Brasil

A Deus
Aos meus pais João Cristino e Maria Aparecida

Ao meu namorado

A todos os meus amigos e professores

Dedico

A Deus e aos meus amados e queridos pais João Cristino e Maria Aparecida, pela força, amor e apoio incondicional, pelo sofrimento durante a minha ausência.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A Deus, que em todos os momentos esteve e estará ao meu lado, me amparando e guiando-me;

A meus pais, que com seu amor incondicional me apoiaram;

A toda a minha família pelo carinho e compreensão;

Ao meu orientador professor Dr. Wilson Mozena Leandro, que em momentos mais difíceis de minha vida acadêmica me apoiou e evitou que eu desistisse diante das dificuldades, por sua compreensão, incentivo, paciência e coração enorme para com os que convivem com ele;

Ao Professor Dr. Juarez Patrício de Oliveira Júnior, pela confiança e incentivo;

Ao Professor Dr. Anibal Sebastião Alves Filho, pelo apoio durante a graduação no IF Goiano, até os dias de hoje;

A todos os professores, colegas e amigos da Pós-graduação da Escola de Agronomia da UFG que de forma direta ou indireta contribuíram para a finalização do meu curso de doutorado;

Ao Professor Dr. Jácomo Divino Borges, por seu apoio, incentivo e orientação;

Aos Professores do IF Goiano – Campus Urutaí, por seu apoio desde meus primeiros anos de graduação até os dias de hoje;

Ao secretário da Pós-graduação Welinton Barbosa Mota, pela sua presteza, amizade e companheirismo;

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram neste meu trabalho.

A todos, o meu reconhecimento.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS 8

LISTA DE FIGURAS 10

RESUMO GERAL 8

GENERAL ABSTRACT 9

1 INTRODUÇÃO GERAL 10

2 REVISÃO DE LITERATURA 19

2.1 FERTILIZANTES FOSFATADOS 19

2.2 DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO 21

2.3 FOSFATOS NATURAIS 23

2.4 ORIGEM DOS FOSFATOS 24

2.5 FATORES QUE AFETAM A EFICIÊNCIA DOS FOSFATOS NATURAIS 25

2.6 ESPÉCIE VEGETAL 26

2.7 EFEITO RESIDUAL DOS FOSFATOS 28

3 EFICIÊNCIA DE USO DE TERMOFOSFATO DE ALUMÍNIO COMO FONTE DE FÓSFORO NA PRODUÇÃO DE FEIJÃO EM CASA DE VEGETAÇÃO 29

RESUMO 29

ABSTRACT 29

3.1 INTRODUÇÃO 30

3.2 MATERIAL E MÉTODOS 33

3.2.1 Tratamentos 33

3.2.2 Instalação 33

3.2.3 Variáveis avaliadas 35

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 35

3.3.1 Incubação do solo 35

3.3.2 Análise de crescimento do feijoeiro plantado nos vasos incubados 37

3.3.3 Componentes de produtividade 39

3.4 CONCLUSÕES 41

4 EFICIENCIA DE USO DE TERMOFOSFATO DE ALUMINIO COMO FONTE DE FOSFORO NA PRODUCAO DE SOJA E SORGO 42

RESUMO 42

ABSTRACT 42

4.1 INTRODUÇÃO 43

4.2 MATERIAL E MÉTODOS 45

4.2.1 Tratamentos 45

4.2.2 Instalação 46

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 48

4.3.1 Produtividade 48

4.4 CONCLUSÕES 54

5 EFICIÊNCIA DE USO DE TERMOFOSFATO DE ALUMÍNIO COMO FONTE DE FÓSFORO NA PRODUÇÃO DE FEIJÃO EM CASA DE VEGETAÇÃO, EM SOLO DO CERRADO 55

RESUMO 55

ABSTRACT 55

5.1 INTRODUÇÃO 56

5.2 MATERIAL E MÉTODOS 58

5.2.1 Tratamentos 58

5.2.2 Instalação do Ensaio 58

5.2.3 Características avaliadas 59

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 60

5.3.1 Desenvolvimento de plantas 60

5.3.2 Componentes de produtividade 63

5.4 CONCLUSÕES 64

6 CONCLUSÕES GERAIS 65

7 REFERÊNCIAS 66

RESUMO GERAL

SILVA, M. C. **Termofosfato de alumínio nas culturas do feijão, soja e sorgo, em solos de Cerrado.** 2014. 72 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Solo e Água) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.[1]

Com o objetivo de avaliar a eficiência de fosfato de alumínio, em quatro ensaios, conduziu-se um experimento na Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, em um Latossolo Vermelho Distroférrico com teores baixos de fósforo. Dois ensaios foram realizados em vasos, dispostos em casa de vegetação e dois ensaios em campo. Empregou-se um delineamento em blocos ao acaso. Os tratamentos consistiram em cinco fontes de fósforo, uma testemunha, sem P e dez repetições, totalizando 60 unidades experimentais. Para os ensaios realizados em casa de vegetação. Sendo: T1- T_Yoorin - Termofosfato Yoorin; T2- FN_Arad - Fosfato Natural Reativo Arad; T3- ST - Superfosfato Triplo; T4- T_Al - Termofosfato de Alumínio em pó; T5- FN_Al - Fosfato Natural de Alumínio; T6- Test - Testemunha – sem adubo fosfatado. Para os ensaios realizados em campo foram utilizadas as mesmas fontes de P, com quatro repetições. Estimou-se a produtividade das culturas, os teores de P nas foliar e os teores de P no solo extraído pelo extrator Mehlich 1, teores de clorofila, desenvolvimentos das plantas, além do efeito residual das fontes utilizadas. As principais conclusões obtidas foram que a eficiência do fosfato de alumínio obtidos dependeu da variável empregada. A aplicação do termofosfato de alumínio ofereceu melhores resultados na maioria dos experimento, sendo o fosfato de alumínio os piores resultados podendo ser comparado com a testemunha. As outras fontes também apresentaram resultados relevantes, tendo o superfosfato tripo, por ser solúvel em água e o termofosfato Yoorin.

Palavras-chave: fosfato reativo, superfosfato triplo, *Glycine max*, fontes de fósforo.

[1] Orientador: Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro. EA-UFG.

GENERAL ABSTRACT

SILVA, M. C. **Thermophosphate aluminum in common bean, soybean and sorghum in Cerrado soils**. 2014. 72 p. Thesis (Ph.D. in Agronomy: Soil and Water) - Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

In order to evaluate the efficiency of aluminum phosphate in four trials , we conducted an experiment in the Goiânia region, Goiás State, Brazil (16^{o}36´S 49^{o}17'W, 730m), in an Oxisol with low phosphorus . Two trials were conducted in pots , arranged in a greenhouse and two field trials . We used a block design to chance. The treatments consisted of five sources of phosphorus , a witness without P and ten repetitions , totaling 60 experimental units . For tests performed in the greenhouse . Where: T1 - T_Yoorin - termophosphate ; T2 - FN_Arad - Natural Reactive Phosphate Arad ; T3- ST - Triple superphosphate ; T4- T_Al - thermophosphate aluminum powder; T5 - FN_Al - Natural Aluminum Phosphate ; T6 -Test - Witness - no phosphate fertilizer . For tests performed in the same field of P sources were used with four replications . We estimated the productivity of crops , the soil P levels in leaf and soil P extracted by Mehlich 1 , chlorophyll content , plant development , and the residual effect of the sources used . The main conclusions were that the efficiency of aluminum phosphate obtained depended on the variable used . The application of aluminum thermo offered better results in most experiments , with aluminum phosphate reseultados the worst may be compared with the control . The other sources also show relevant results , and the tripo superphosphate , being soluble in water and termophosphate .

Key words : Reactive phosphate, Triple superphosphate, *Glycine max*, Phosphorus sources.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A baixa disponibilidade de Fósforo (P) é, geralmente, uma das maiores limitações ao crescimento das plantas. Para a cultura da soja, o fósforo encontra-se entre os nutrientes que apresentam as maiores limitações nutricionais ao crescimento. O P é de grande importância para a maioria das culturas, sendo responsável pelas respostas significativas no rendimento (Francisco, 2007).

A escolha da fonte de P está relacionada tanto à eficiência em suprir as necessidades das plantas, quanto ao custo do fertilizante. Os fosfatos solúveis têm apresentado bons resultados, embora possuam custo mais elevado, ao passo que os fosfatos naturais apresentam baixa solubilidade e menor eficiência agronômica, especialmente para culturas anuais, porem a preços mais atrativos (Nolla et al., 2013).

Sousa et al. (2002) relataram que vários autores verificaram que em levantamento de caracterização dos solos de cerrado e que em 92% das amostras coletadas o teor disponível de P (Mehlich-1) foi inferior a 2 $mg.dm^{-3}$. Os mesmos autores relataram ainda a existência de resposta à aplicação de P até a dose de 300 $kg.ha^{-1}$ de P_2O_5, o que evidencia, também, a baixa disponibilidade desse nutriente. Portanto é imprescindível a pratica da adubação fosfatada para se obter produções satisfatórias nos diferentes sistemas de produção agrícola.

Os fosfatos solúveis (superfosfatos) têm custo muito elevado e os fosfatos naturais brasileiros são de eficiência muito baixa. Uma das alternativas para reduzir os custos pode ser a utilização de fosfatos naturais reativos (FNR), farelados. Os fosfatos naturais reativos são de origem sedimentar, sendo encontrados em áreas desérticas de clima seco, onde predominam apatitas com alto grau de substituições isomórficas de fosfato por carbonato, resultando em cristais imperfeitos, com grande porosidade o que lhes confere um menor peso específico e, consequentemente, maior área superficial, podendo ser facilmente hidrolizados, sendo por isso conhecido como fosfatos moles e de grande reatividade (Peruzzo & Wietholter, 1999).

A reatividade química dos fosfatos é estimada, utilizando sua solubilidade em ácidos orgânicos, a eficiência dos fosfatos naturais para as culturas depende de outros

fatores relacionados às propriedades do solo, às características da planta e ao método de aplicação (Araújo et al., 2004). O fosfato natural reativo, por causa de sua reatividade, apresenta uma eficiência similar ao superfosfato triplo, quando aplicado a lanço em área total e incorporado (Coutinho et al., 1991; Lopes, 1999).

Novais (1999) relata que a maior solubilização de fosfatos naturais em condições de solos argilosos e com pH ácido não favorece a planta, uma vez que o dreno preferencial do P nesse sistema é o próprio solo, sendo essa situação agravada com o maior contato do fosfato com as partículas de solo propiciado pelo revolvimento. Assim a aplicação localizada de fosfatos naturais no sulco de plantio levaria a uma condição em que as raízes da planta seriam o principal dreno envolvido na solubilização e aquisição do P, contribuindo para aumentar a eficiência da adubação com esses fertilizantes.

Nas jazidas fosfáticas, o material apatítico primário, mediante o processo de alteração intempérica, solubiliza-se liberando íons ortofosfato que reagem com demais íons levando à formação de minerais secundários como, por exemplo, crandallita, milisita, wavelita, dentre outros, conhecidos como fosfatos aluminosos. Esses minerais, considerados impróprios para o processo de acidulação devido a quantidade de alumínio e outras impurezas minerais presentes (Hoare, 1980), foram comercializados no mundo como fertilizantes para aplicação direta no solo após o processamento térmico (calcinação). Vários estudos realizados ao longo das três últimas décadas têm avaliado o desempenho dos fosfatos aluminosos calcinados em comparação com fontes de fósforo de elevada e de baixa solubilidade, como os superfosfatos e os fosfatos naturais reativos, respectivamente. Esses estudos, conduzidos em diversas condições de solo e com diferentes espécies de plantas, apresentaram resultados divergentes.

Embora haja reservas fosfáticas de elevada pureza apatítica disponíveis para a produção de fontes solúveis de fósforo, é necessário, dentro de um contexto de aproveitamento de recursos naturais, avançar no conhecimento de condições agronômicas que favoreçam a utilização dos fosfatos aluminosos, já que estão presentes em grandes quantidades e extensões nos territórios sujeitos ao intemperismo laterítico.

Os fosfatos de alumino da série da crandallita ocorrem comumente em perfis de intemperismo sobre materiais originais contendo fósforo, principalmente rochas sedimentares tipo fosforitos marinhos e também outros depósitos sob influência de guano, sobre rochas ígneas, sobretudo as alcalinas, carbonatíticas e pegmatíticas, e rochas metamórficas. Esses minerais têm fórmula geral simplificada A Al_3 (PO_4) (PO_3OH) $(OH)_6$,

e recebem denominações particulares em função do cátion predominante na posição A (Ca: crandallita, Sr: goyazita, Pb: plumbogummita, Ba: gorceixita, ETR1: florencita), podendo formar solução sólida entre vários de seus membros (Francisco et al., 2007).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a efeito do Termofosfato de alumínio nas culturas da soja, feijão e sorgo em solos de Cerrado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 FERTILIZANTES FOSFATADOS

O fósforo (P) é o nutriente mais limitante da produtividade em solos tropicais. Os solos brasileiros são carentes de P, em consequência do material de origem e da forte interação do P com o solo (Raij, 2004; Nolla et al, 2013), em que menos de 0,1% encontra em solução. A aplicação de P em doses elevadas em solos intemperizados é justificada pela intensa fixação desse elemento nos colóides do solo, ocasionando baixo conteúdo de P disponível, principalmente em solos onde há predomínio de minerais sesquióxidos (Büll et al., 1998; Novais & Smyth, 1999). A eficiência agronômica dos adubos fosfatados pode ser afetada pelas fontes de fosfato, propriedades do solo, modos de aplicação e espécies vegetais.

Os fertilizantes fosfatados podem apresentar alta ou baixa solubilidade em água. Os que apresentam alta solubilidade em água, como os superfosfatos e os fosfatos de amônio, são obtidos por processos industriais pelo ataque da rocha fosfática com ácidos. Os fosfatos naturais apresentam baixa solubilidade em água e são obtidos de jazidas de minérios fosfáticos após a passagem do material por processos de notação de lavagem para a eliminação parcial de impurezas (Araújo, 2004).

Para os fertilizantes fosfatados solúveis em água, a legislação brasileira estabelece uma garantia mínima para o teor de P, expresso em porcentagem de P_2O_5, extraído por citrato neutro de amônio mais água e extraído somente por água. Para misturas de fertilizantes e complexados, que contenham outros nutrientes, deve ser expressa apenas a porcentagem de P_2O_5 extraída por citrato neutro de amônio mais água. Para os fosfatos que apresentam baixa solubilidade em água, como os fosfatos naturais, quando comercializados isoladamente, o teor de P_2O_5 expresso em porcentagem de P_20_5, deve ser aquele solúvel em ácido cítrico a 2% na relação 1:100 e o teor de P total (Francisco, 2007).

Somente os fosfatos naturais que apresentam alta solubilidade em ácido fórmico são os mais reativos. Na Europa o ácido fórmico 2% relação 1:100 é considerado o melhor extrator para avaliar a eficiência de um fosfato natural. Durante o século XIX, muitos químicos e engenheiros agrônomos acreditavam que somente o fósforo solúvel em

água era assimilado pelas plantas. Até a década de 70 este conceito errôneo era ainda praticado pois aprendia-se, nos bancos das Universidades, que o fosfato natural servia somente para ser atacado por ácidos (sulfúrico e fosfórico) e obtinham-se os superfosfatos simples e triplo. As legislações de fertilizantes da época contribuíram, também, para desvalorizar os fosfatos naturais. O solo como meio vivo, dinâmico, era esquecido. Apesar de insolúvel em água, o P_2O_5 contido nos fosfatos naturais pode ser utilizado pelas plantas devido aos seguintes fenômenos: a) dissolução no solo dos fosfatos naturais por soluções ácidas que reagem da mesma maneira que os ácidos sulfúrico, fosfórico utilizados pelas indústrias. O ácido cítrico presente no solo faria o mesmo papel; b) sua absorção pelo solo, acelera o ciclo do fósforo e; c) ataque e absorção direta pelas raízes que segregam substâncias ácidas que são capazes de tornar solúvel as partículas de fosfatos que entram em contato com elas.

Entretanto, para que o fósforo contido nos fosfatos naturais tenha, virtualmente, o mesmo efeito ou o mais aproximado do fósforo solúvel em água é necessário duas condições importantes:

Utilização de fosfatos brandos de origem orgânica e sedimentar (amorfos) – isto é de grande reatividade agronômica. Não ocorrendo isto, a ação do fosfato natural será tão lenta e, praticamente nula;

Micropulverização destes fosfatos de forma a aumentar a área de superfície das partículas aumentando assim, ao máximo, o contato entre os ácidos do solo e o fosfato. A solubilidade do fósforo contido nos diversos fosfatos é avaliada por diversos extratores químicos tais como: ácido cítrico, citrato, água + citrato, ácido fórmico. Estes processos apenas estimam a solubilidade do fósforo, declarado no fertilizante, enquanto no solo ocorrem processos de solubilização ainda desconhecidos pela ciência. Segundo algumas pesquisas, "não há relação entre a solubilidade avaliada por extratores químicos e a eficiência agronômica" (Macedo-W.S.L - Resposta à aplicação de calcário e diferentes fontes de fósforo em misturas forrageiras, em dois tipos de solo. Tese -Faculdade de Agronomia -UFRGS - Porto Alegre - maio/1975). O fosfato natural apesar de ser insolúvel em água, sofre no solo um processo de solubilização similar ao industrial quando é atacado por ácidos (sulfúrico, cítrico, fósforico e orgânicos) ou, então, é solubilizado por substâncias secretadas nas zonas das raízes. Graças à situação que o solo é um meio dinâmico, que não serve apenas para fixar a planta, mas é um meio vivo com propriedades bioquímicas aliadas às da planta, à falta de fósforo, na maioria dos solos cultivados, tem-se

observado a eficiência agronômica dos fosfatos naturais de alta reatividade, nas mais diferentes partes do mundo e em diversas pesquisas.

Em solos ácidos, como é o caso do Brasil, onde o fósforo é fortemente fixado quando aplicado na forma solúvel em água, explica-se porque os fosfatos naturais reativos apresentam respostas favoráveis quando aplicados no solo.

Por volta dos anos 70, a legislação estabelecia que a solubilidade dos fosfatos naturais seria determinada no extrator ácido citríco 2% relação 1:300. Um fosfato de alta reatividade, originário da África do Norte, região de Gafsa, era comercializado com os teores de 30% de P_2O_5 total e 24% de P_2O_5 solúvel no ácido cítrico a 2% relação 1:300. A relação 1:300 significa uma grama de fosfato e 300 ml de ácido. Por interesses comerciais, a Legislação alterou a relação para 1:100. Nesta relação a solubilidade do Fosfato de Gafsa caiu para 12%. O produto, por um artifício da legislação, foi desvalorizado. Os extratores não são universais (Silva, 2011).

Na Europa se usa o ácido fórmico 2% 1:100 como extrator e é exigido que 55% do fósforo total seja solúvel neste ácido, para considerar um fosfato natural reativo (FNR). Para os europeus, o ácido fórmico é o melhor extrator para diferenciar fosfatos naturais reativos, de alta eficiência agronômica, dos fosfatos não reativos, de baixa eficiência. Nos Estados Unidos, utilizam o citrato neutro de amônio.

Portantos temos rochas fosfatados de baixa eficiência que não podem ser utilizadas diretamente na agricultura e precisam sofrer o processo de acidulação (tratamento por ácidos) e encontramos rochas fosfatadas reativas que podem ser usadas diretamente na agricultura pela sua grande eficiência agronômica desde que sejam amorfas e micropulverizadas. Os fosfatos naturais reativos são os de Gafsa, Carolina do Norte, Arad.

A última atualização da Legislação Brasileira, em vigor, veio valorizar os fosfatos naturais reativos permitindo que seja expresso pelo seu teor em P_2O_5 solúvel no ácido fórmico 2% 1:100 desde que represente, no mínimo, 55% do teor de fósforo total (Braga, 2009).

2.2 DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO

O rendimento de um cultivar é função do seu potencial genético e das condições ambientais durante o cultivo, onde se inclui o suprimento de nutrientes minerais como o fósforo. De um modo geral, mesmo que os teores totais de fósforo no solo sejam

altos em relação aos necessários para as plantas, apenas uma pequena fração deste têm baixa energia de ligação que possibilite sua dessorção e disponibilidade às plantas. A fração de fósforo ligada aos colóides com baixa energia é conhecida como fator quantidade (Q) e está em equilíbrio com o fósforo na solução do solo, fator intensidade (I), de onde as plantas absorvem-no. A taxa de reposição do I pelo Q é conhecido como fator capacidade (C) ou poder tampão (Novais & Smith, 1999). Quando o solo não tem capacidade de suprir as quantidades de nutrientes exigidas pelas plantas para o seu máximo rendimento, a prática da adubação deve ser empregada.

A forma mais rápida e econômica para avaliar a disponibilidade de nutrientes no solo e a quantidade de fertilizantes a ser empregada se dá por meio da análise de solo e a consulta de tabelas de recomendação de adubação. Entretanto, a eficácia do uso da análise de solo depende de quanto o valor obtido pelo método está correlacionado com a absorção do nutriente pela planta, em solos que representam uma determinada região de utilização do sistema de recomendação de adubação. Além disto, um método adequado para avaliação da disponibilidade de um nutriente no solo deve apresentar uma grande amplitude no valor da análise entre o solo com teor baixo e o solo com teor alto, a fim de evitar que o erro de leitura e/ou a contaminação da amostra prejudique demasiadamente a interpretação dos resultados (Fageria et al., 2014).

A avaliação do fósforo disponível no solo às plantas tem sido feita com o uso de soluções extratoras com características e princípios de extração diversos (acidez, diluição, tamponamento, presença de compostos complexantes) (Novais & Smith, 1999). As extrações do fósforo disponível fornecem valores que variam entre intensidade e quantidade e, às vezes, até mesmo, parte do fósforo não disponível (NQ), dependendo das propriedades do extrator e das condições de extração, sem informar sobre o fator capacidade. Os métodos de avaliação da fertilidade do solo procuram estimar a porção de Q passível de repor I, para predizer a necessidade de suplementação do nutriente. A eficiência desses métodos depende da forma em que o nutriente está inserido em Q (Al-P, Ca-P, Fe-P) e do acesso do extrator a essa forma (Gatiboni, 2003).

Com a relação entre os teores no solo do nutriente e os rendimentos relativos do conjunto de experimentos obtém-se uma curva de resposta da cultura ao teor do nutriente no solo. A partir da curva de resposta é possível estimar a probabilidade de resposta da cultura a um estado de fertilidade em outros locais da mesma região em que foi realizado o estudo (Fageria et al., 2014).

Conforme Francisco (2007), a etapa de calibração do método de análise do solo, durante a elaboração de um programa de recomendação de adubação, visa não somente estabelecer teores de um elemento no solo para uma probabilidade de resposta de uma cultura, mas visa também definir doses do elemento para aumentar a resposta, considerando-se, a dose de máxima eficiência técnica (MET) e/ou econômica (MEE). Assim, quanto maior o teor do nutriente no solo, menor a probabilidade de resposta, até atingir certo teor, conhecido como nível ou teor crítico (NC ou TC), onde a probabilidade de resposta à adubação com este nutriente é mínima.

2.3 FOSFATOS NATURAIS

Os fosfatos naturais são concentrados apatíticos obtidos a partir de minérios fosfáticos ocorrentes em jazidas localizadas, que podem ou não passar por processos físicos de concentração, como lavagem e/ou flotação, para separá-los dos outros minerais com os quais estão misturados na jazida. Os principais depósitos de rochas fosfáticas podem ser classificados em três grupos, conforme o arranjo mineralógico: a) fosfatos de ferro-alumínio; b) fosfatos de cálcio-ferro-alumínio; e c) fosfatos de cálcio. Estes três grupos podem ocorrer numa sequencia natural de intemperismo e os fosfatos de ferro-alumínio representam o extremo de intemperização (Francisco, 2007).

Entre os fosfatos de ferro-alumínio, os minerais mais comuns são wavelita, variscita e estrengita. No grupo dos fosfatos de cálcio-ferro-alumínio, os principais representantes são crandalita e milisita. O grupo de maior importância econômica e mais conhecido como rocha fosfática ou fosfato natural é o fosfato de cálcio, que pertence à categoria das apatitas. Nesta categoria encontram-se, entre outros minerais, fluorapatita e francolita. A variada composição química dos minerais desta categoria é a principal responsável pelas diferentes propriedades dos concentrados de P produzidos. A fluorapatita, por exemplo, raramente ocorre pura; em sua estrutura ocorrem várias substituições isomórficas, das quais as mais comuns são Mg, Sr e Na por Ca, OH e Cl por F, As e V por P, e CO_3 + F por PO_4 (Silva, 2012).

Os minerais apatíticos formaram-se sob diferentes regimes geológicos – ígneos metamórficos ou sedimentares, além de terem sofrido transformações por intemperismo, lixiviação, reprecipitação e contaminações várias, quando as condições de formação do jazimento permitiram e os fatores climáticos contribuíram para tal. Assim, os depósitos de

fosfatos de origem ígnea, ou magmática, são geralmente pobres em sílica, possuem textura simples e contém rochas associadas do tipo carbonatitos e ultrabásicas, em que a fluorapatita é o principal mineral fosfático, como jazidas de Catalão no Brasil e Tennessee nos EUA. Estes fosfatos representam, aproximadamente, 17% das reservas mundiais e cerca de 50% das reservas brasileiras (Raij, 2004).

Embora os fosfatos naturais sejam reconhecidos como matéria prima para a fabricação direta de fertilizantes (ataque sulfúrico para produção de superfosfato simples), ou indireta (ataque sulfúrico para obtenção de ácido fosfórico e posterior produção de superfosfato triplo ou fosfatos de amônio), muitas vezes a origem e a natureza da rocha fostática, ou mesmo o tipo e o grau das contaminações presentes nos concentrados, inviabiliza o seu uso industrial para obtenção de fertilizantes convencionais e, por isso, há necessidade de proporcionar outros usos para as rochas de menor qualidade. A recomendação de sua utilização para aplicação direta na agricultura é a que tem recebido maior número de adeptos. Porém, a reatividade desses fosfatos naturais é bastante distinta entre eles. Muitos são praticamente inertes quando usados como fonte de P para as plantas, como a maioria dos fosfatos de origem geológica ígnea e metamórfica, mas outros têm mostrado resultados animadores, como o caso da maioria dos fosfatos de origem sedimentar (Nolla et al., 2013).

2.4 ORIGEM DOS FOSFATOS

Os fosfatos naturais classificados como sedimentares originam-se da deposição acumulada, em camadas, de ossadas esqueletos de animais. Como consequência da formação geológica resultam propriedades físico-químicas diferenciadas nos minerais apatíticos que afetam a sua reatividade e eficiência agronômica (Silva, 2012).

As rochas fosfáticas de origem sedimentar têm estrutura cristalográfica próxima à da francolita, apresentando cristais pequenos, alto grau de substituição isomórfica, menor rigidez e alta porosidade. Depósitos fosfáticos com estas características ocorrem, principalmente, no norte da África, no Oriente Médio e nos Estados Unidos Carolina do Norte, de onde temos os fosfatos comercias Arad do Oriente Médio, Youssoufia e Gafsa da Africa (Araújo, 2004; Braga, 2009).

A solubilidade dos fosfatos naturais é avaliada indiretamente pela solubilidade em extratores químicos, como o ácido cítrico, o ácido fórmico e o citrato neutro de amônio. Devido às características diferentes destes solventes, a quantidade de P solúvel dos fosfatos

naturais é variável (Sousa et al., 2002; Assawarachan, 2013). As avaliações laboratoriais são usadas para estimar o potencial de utilização dos fosfatos naturais, porém não podem prever sua eficiência e, devido a isto, experimentos de campo e em casa de vegetação ainda são os métodos mais, confiáveis, porém mais demorados e caros. Para fins de recomendação de uso e de estudos dos fosfatos naturais reativos é utilizado, normalmente, o teor de P_2O_5 total.

A solubilidade do fosfato dentro de uma jazida pode variar conforme a profundidade e a localização do jazimento. Isto pode explicar a variabilidade de respostas, com inconsistência dos dados, para um mesmo fosfato natural em condições agroclimáticas similares. Esta variabilidade pode ser responsável pela discrepância de resultados, entre diferentes pesquisas, quando se comparam rochas de diferentes origens (Kaminsk & Peruzzo, 1997; Braga, 2009).

2.5 FATORES QUE AFETAM A EFICIÊNCIA DOS FOSFATOS NATURAIS

Para fertilizantes fosfatados, a sua solubilidade pode ser estimada, é relacionada com a sua solubilidade em laboratório, que é determinada em função da quantidade de P extraída por uma solução durante um determinado tempo. A legislação brasileira preconiza a utilização de ácido cítrico a 2% como extrator para os fosfatos naturais e outros fertilizantes não acidulados, e a água e o citrato neutro de amônio somados como extratores para os fosfatos solúveis. Deve-se destacar que, esses índices obtidos em laboratório, são válidos quando apoiados, na sua interpretação, por pesquisas a nível de campo (Goedert & Lobato, 1980). Os resultados experimentais tem mostrado que este procedimento é válido para avaliar a eficiência de fertilizantes para a cultura imediata à aplicação (Goedert & Sousa, 1984; Sousa & Lobato, 2003).

Quando um fertilizante fosfatado de qualquer origem é adicionado ao solo, ocorre uma sequência de eventos físico-químicos que transformam o fosfato em substância fosfatadas complexas, as quais passam a governar a disponibilidade desse nutriente no solo. Assim, se forem adicionados fosfatos solúveis em água, a reação no solo é rápida e os novos produtos formados conseguem manter uma solução saturada em P em torno da região de dissolução do grânulo. Isso cria um gradiente osmótico que promove o deslocamento da água em sua direção, e ao mesmo tempo há a difusão da solução da região mais concentrada para regiões de menor concentração. Isto permite que soluções

com P suficiente para atender a demanda de plantas quando o sistema radicular atinge essas regiões. O evento prossegue até que haja diluição da solução com P, ou se completem as reações com os constituintes do solo e extinga o potencial osmótico. Com resultado, o pH do sítio onde ocorreu a reação será menor que o original (Kaminsk & Peruzzo, 1997).

Se o fertilizante for de baixa solubilidade haverá um tipo de reação similar, mas nesse caso, a solução será mais diluída e o potencial osmótico será menor, ambos ditados pela solubilidade do produto utilizado. Por isso, o movimento de água na direção do fertilizante será menor e esta solução influenciará volumes muito menores de solo ao redor do grânulo de fertilizantes, de modo que as rotas do movimento de P, serão a difusão na solução e o fluxo de massa, que é muito pequeno no P e, por isso, sua disponibilidade dependerá da quantidade de água no solo, o que facilitará o acesso da raiz ao nutriente (Kaminsk & Peruzzo, 1997). O pH do sítio da reação praticamente não se alterará.

Como os fosfatos solúveis reagem com maior intensidade no solo e, normalmente, fornecem P ao sistema em taxas maiores, são fontes mais eficientes do que os fosfatos naturais a curto prazo. Por isso, a eficiência agronômica dos fosfatos em geral está diretamente correlacionada com a sua solubilidade (Goedert et al., 1986; Sousa et al., 2002). Porém os fosfatos naturais reativos, que reagem no solo mais lentamente, podem apresentar um efeito residual compensatório, e o somatório da sua eficiência, quando estimada por períodos longos, pode se igualar aos fosfatos solúveis, devido à perda do poder fertilizante destes. Nesta situação, deixa de existir a correlação entre a sua eficiência e a solubilidade. Já com os fosfatos naturais “duros” isso não ocorre porque a fração não solúvel também é importante na composição do fosfato como um todo, e ela está vinculado efeito residual.

2.6 ESPÉCIE VEGETAL E DEMANDA POR FÓSFORO

As espécies vegetais são fundamentais na solubilização do P, principalmente o P não lábil, pois existem espécies que possuem capacidade de solubilizá-lo mediante a exsudação de suas raízes, a qual contém ácidos orgânicos, e estes, por sua vez, agem na dissolução do colóide, alimentando o P na solução do solo (Chien & Menon, 1995). No sistema de plantio direto, ocorre o aumento de matéria orgânica nos horizontes superficiais, em decorrência da deposição de palhada, decrescendo com a profundidade.

Uma das principais características que influem na adsorção de P é a matéria orgânica, a qual interage com os óxidos de Al e Fe resultando em redução dos sítios de fixação, por causa do recobrimento da superfície desses óxidos por moléculas de ácidos húmicos, ou pela formação de compostos na solução do solo. Ocorre, assim, uma tendência de menor fixação e, portanto, maior aproveitamento pela planta do P oriundo da adubação fosfatada. Esse efeito, no entanto, é temporário (Andrade et al., 2003).

A resposta da cultura da soja à utilização do fósforo (P) via solo é bem definida, sendo esse nutriente de grande importância no desenvolvimento da mesma, responsável pela maioria das respostas significativas no rendimento da cultura, implicando comumente seu uso em aumento do rendimento (Souza et al., 1999).

Diversos autores descreveram a deficiência de P em soja Rosolem (1984) relatou que, em deficiência de P, as folhas mais velhas e intermediárias da soja mostram-se, de início, com cor verde mais escura: com o tempo, tais folhas mostram clorose generalizada, que caminha da ponta para a base, e os sintomas são acentuados nos estádios de floração e enchimento dos grãos. De acordo com Sinclair (1993), a soja requer quantidades relativamente altas de P, especialmente na época de fixação das vagens. Os sintomas de deficiência não são bem definidos, sendo o retardamento no crescimento o principal deles. As plantas estiolam e têm folhas menores, que se tornam verdes escuras ou verdes azuladas.

O P desempenha importante papel nas plantas, pois participa da constituição do ATP e de enzimas; quando em baixos teores no solo, a planta tem seu crescimento prejudicado (Kimani & Derera, 2009). Em relação ao feijoeiro comum, esse nutriente tem proporcionado as maiores e mais frequentes respostas significativas no desenvolvimento dessa espécie, de modo que sua baixa disponibilidade no solo promove menor rendimento da cultura (Santos et al., 2011). Resposta do feijoeiro a doses maiores que 1.000 kg ha^{-1} de P_2O_5 foi observada por Miranda et al. (2009) num Latossolo Vermelho-Escuro argiloso em condição de campo.

Segundo Malavolta et al. (1997), em princípio, as folhas mais velhas apresentam cor amarelada, com pouco brilho, cor verdes azulada ou manchas pardas, número reduzido de frutos e sementes, atraso no florescimento e tamanho reduzido da planta, mas ressaltam que estes sintomas são muito difíceis de ser caracterizados em condição de campo. São ainda relatados como efeitos da deficiência de P a diminuição do índice de área foliar, da absorção e concentração de P, além do aumento da densidade radicular nas camadas superficiais do solo.

É provável que o ciclo da espécie vegetal influencie na eficiência dos fosfatos naturais reativos. Culturas com ciclos mais longos podem se beneficiar da aplicação destes fosfatos. Cantarella et al. (2002), em experimento em condições de campo, em solo arenoso, constataram que o fosfato natural reativo de Daoui foi uma fonte eficiente para o fornecimento de P para a cultura de cana-de-açúcar e para a cultura da soja, milho e outras culturas com a necessidade de P para seu crescimento inicial.

2.7 EFEITO RESIDUAL

A adubação fosfatada apresenta efeitos imediatos no primeiro cultivo e efeitos residuais nos cultivos subsequentes. O efeito residual de adubos fosfatados com alta solubilidade em água tende a diminuir com o passar do tempo. Para os fosfatos naturais, o efeito imediato, após a aplicação, tende a ser menor em relação aos fosfatos de alta solubilidade em água. Porém, com o passar do tempo de aplicação, principalmente em solos ácidos, os rendimentos acumulados das culturas para os fosfatos naturais reativos são similares aos obtidos com fontes de P de alta solubilidade em água (Silva et al., 2011). Rein et al. (1994) também observaram que os fosfatos naturais farelados têm maior efeito residual do que as fontes de P com alta solubilidade em água.

3 EFICIÊNCIA DE USO DE TERMOFOSFATO DE ALUMÍNIO COMO FONTE DE FÓSFORO NA PRODUÇÃO DE FEIJÃO, EM SOLO INCUBADO

RESUMO

Uma das razões para a baixa produtividade do feijão no Brasil é a carência generalizada de fósforo nos solos, cujos teores são baixos, insuficientes para o pleno desenvolvimento das culturas. Assim, o fósforo é o nutriente mineral ao qual a produção de sementes de feijão apresenta a maior resposta na adubação. Neste contexto para avaliação a eficiência de fontes de fosforo na produção de feijão, foi conduzido ensaio em condições de casa de vegetação, envolvendo diferentes fontes fertilizantes fosfatado. O experimento foi instalado na Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, em Goiânia-Goiás. Os tratamentos consistiram em cinco fontes de fósforo, uma testemunha, sem P e dez repetições, totalizando 60 unidades experimentais. Sendo: T1- T_Yoorin - Termofosfato Yoorin; T2- FN_Arad - Fosfato Natural Reativo Arad; T3- ST - Superfosfato Triplo; T4- T_Al - Termofosfato de Alumínio em pó; T5- FN_Al - Fosfato Natural de Alumínio; T6- Test - Testemunha – sem adubo fosfatado. O ensaio foi iniciado com a incubação do solo com as fontes de fosforo durante 120 dias para avaliar a disponibilização do fosforo e aluminio no solo, depois foi semeada feijão. Os maiores efeitos residuais dos fertilizantes fosfatados aplicados no crescimento do feijoeiro foram obtidos pelo fosfato reativo de Arad, termofosfato de alumínio e superfosfato triplo. Refletindo na produtividade de grãos e no numero de vargens das plantas. Os fosfatos aplicados anteriormente nos vasos e encubados por 120 dias na cultura proporcionou efeito residual, pois interfere positivamente no teor de P foliar e na altura de plantas.

Palavras-chave: fertilizantes fosfatados, *Phaseolus vulgaris* L., solo encubado

ABSTRACT

EFFICIENCY OF USE OF ALUMINUM PHOSPHATE AS A SOURCE OF PHOSPHORUS IN THE PRODUCTION OF BEANS OF IN SOIL INCUBATED

One reason for the low productivity of the beans in Brazil is the widespread lack of phosphorus in soils , whose levels are low , insufficient for the full development of the cultures . Thus , phosphorus is the nutrient mineral to which the production of bean seeds has the highest response at fertilization . In this context for evaluating the efficiency of sources of phosphorus in bean production , testing was conducted in greenhouse conditions, involving different phosphatic fertilizers sources . The experiment was

conducted in Goiânia, Goiás State, Brazil (16°36´S 49°17'W, 730m). The treatments consisted of five sources of phosphorus , a witness without P and ten repetitions , totaling 60 experimental units . Where: T1 - T_Yoorin - termophosphate ; T2 - FN_Arad - Natural Reactive Phosphate Arad ; T3- ST - Triple superphosphate ; T4- T_Al - thermophosphate aluminum powder; T5 - FN_Al - Natural Aluminum Phosphate ; T6 -Test - Witness - no phosphate fertilizer . The assay was initiated with the incubation of the soil with the sources of phosphorus for 120 days to evaluate the availability of phosphorus and aluminum in the soil , then seeded beans. The largest residual effects of phosphate fertilizer applied on the growth of bean plants were obtained by Arad phosphate thermophosphate aluminum and triple superphosphate . Reflecting on grain yield and number of string beans plants . Phosphates previously applied on vessels and incubated for 120 days in culture yielded residual effect , it interferes positively in leaf P content and plant height .

Key words : phosphate fertilizers , *Phaseolus vulgaris* L. , incubates soil.

3.1 INTRODUÇÃO

Uma das razões para a baixa produtividade do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) no Brasil é a carência generalizada de fósforo nos solos, cujos teores são extremamente baixos, insuficientes para o pleno desenvolvimento das culturas (Raij, 1991). Assim, o fósforo é o nutriente mineral ao qual a produção de sementes de feijão apresenta a maior resposta na adubação (Araujo, 1996).

O P desempenha importante papel nas plantas, pois participa da constituição do ATP e de enzimas; quando em baixos teores no solo, a planta tem seu crescimento prejudicado (Kimani & Derera, 2009). Em relação ao feijoeiro comum, esse nutriente tem proporcionado as maiores e mais frequentes respostas significativas no desenvolvimento dessa espécie, de modo que sua baixa disponibilidade no solo promove menor rendimento da cultura (Pastorini et al., 2000).

Entre os nutrientes, o P é aquele que frequentemente mais limita a produção das culturas nos solos da região de Cerrado (Carvalho et al., 1995). Isso ocorre pelo fato desse nutriente apresentar-se em formas pouco disponíveis aos vegetais e pelas características de elevada adsorção dos solos dessa região, fazendo com que a eficiência de fertilizantes fosfatados em sistemas de agricultura seja baixa, com somente 10% a 20% do nutriente sendo usado pelas culturas no ano de aplicação, e o valor residual raramente excede 50% (Bolland & Gilkes, 1998).

A oferta de fosfatos naturais como fonte de P culturais anuais, a preços inferiores por toneladas aos dos superfosfatos, tornou-se atrativos no mercado de fertilizantes no Sul do Brasil e aumentou consideravelmente o seu consumo. Sob o nome de fosfatos naturais são reunidos uma ampla gama de minerais fosfatados de diferentes origens e composição, o que lhes confere distintas propriedades e grande variação na sua eficiência como fonte de P às culturas (Peruzzo, 1997). Os fosfatos solúveis (superfosfatos) têm custo muito elevado e os fosfatos naturais brasileiros são de eficiência muito baixa. Uma das alternativas para reduzir os custos pode ser a utilização de fosfatos naturais reativos (FNR), não moídos, cuja importação teve início na década de 90 (Sousa et al., 1999).

Os fosfatos naturais reativos (FNR) são processados de rochas sedimentares, formada pela deposição de restos de animais marinhos e que têm alta porosidade e reatividade. Esses fosfatos eram importados na forma finamente moída. Recentemente são encontrados no comércio na forma não moída, farelada, cujo custo de processamento é menor, apresentando ainda maior facilidade no manuseio e aplicação. A reatividade química dos fosfatos é estimada, utilizando sua solubilidade em ácidos orgânicos, a eficiência dos fosfatos naturais para as culturas depende de outros fatores relacionados às propriedades do solo, às características da planta e ao método de aplicação (Sousa et al., 2002; Raij, 2004).

Os alumínio fosfatos são materiais constituídos por fosfato de alumínio hidratado, com presença de fosfato de ferro, e que são originados pela ação de dejetos de aves sobre bauxitas, lateritas ou rochas contendo feldspatos. Os fosfatos desse tipo não são prontamente assimiláveis pelas plantas, necessitando ser previamente tratados para sua posterior aplicação como fertilizante. O principal tratamento é o térmico. No Brasil esse tipo de material tem sido pouco empregado apesar da sua potencialidade de utilização. É importante pesquisar novos procedimentos e ações que visam dar maior competitividade ao agronegócio. Na agricultura o termofosfato de alumínio pode agregar valor e melhorar a produtividade das culturas plantadas comercialmente.

A utilização dos fosfatos aluminosos como fertilizantes tem sido pesquisada desde a década de 60 (Doak et al., 1965; Mason; Cox, 1969) e demonstrado bons resultados para as pastagens australianas, o que desencadeou uma série de trabalhos científicos ao longo das décadas de 70 e 80 (Muller, 1970; Buchan et al., 1970; Lipsett; Williams, 1970; Karlovsky, 1976; Gilkes; Palmer, 1979; Raij; Diest, 1979; Ledgard et al., 1981; Bolland; Bowden, 1982; Bolland et al., 1984). No entanto, o aproveitamento desse

produto “in natura” para aplicação ao solo foi desencorajado devido a sua insolubilidade em água.

Um estudo foi conduzido por Lipsett & Williams (1970) com os fosfatos aluminosos de Christmas Island sem tratamento térmico em vários solos australianos deficientes em fósforo, a fim de testar a disponibilidade inicial de P para as plantas. Porém, os resultados não se mostraram satisfatórios em comparação com superfosfatos. Doak et al. (1965) desenvolveram, então, um estudo submetendo esse material a tratamento térmico (calcinação) a diferentes temperaturas, tendo constatado um incremento significativo na sua solubilidade em solução de citrato neutro de amônio (70% do P solúvel), e sua avaliação a campo mostrou resultados semelhantes ao tratamento com fonte de fósforo solúvel em água.

Gilkes & Palmer (1979) desenvolveram um estudo detalhado do processo de calcinação dos fosfatos aluminosos (crandallita e milisita) encontrados em Christmas Island. Após submeterem o material a diferentes temperaturas (300ºC a 1050ºC) por seis horas constataram, utilizando técnicas instrumentais como difratometria de raios-x, análise termodiferencial e termogravimétrica, que temperaturas entre 450ºC e 600ºC promoviam a desestruturação dos minerais resultando em um material amorfo, e temperaturas acima de 650ºC conduziam à recristalização do material formando minerais diferentes como whitlockita (β-$Ca_3(PO_4)_2$) e phosphocristobalita ($AlPO_4$). Houve a constatação de que o processo de calcinação aumentava a solubilidade daquele material em citrato neutro de amônio para valores próximos de 90%, em relação ao teor total, tendo sido este extrator considerado adequado para avaliação da disponibilidade de P nas amostras.

Câmara et al. (1984) estudaram o processo de calcinação dos fosfato de alumínio aluminosos nacionais. Os autores submeteram amostras do fosfato de alumínio ao tratamento térmico c, sob altas temperaturas por uma hora e realizaram um teste agronômico do produto utilizando plantas de milho em vasos. A análise mineralógica do produto detectou que à temperatura de 600ºC havia o desaparecimento quase que total da estrutura cristalina do material original, e o aquecimento das amostras a 800ºC resultou em recristalização do mineral phosphocristobalita ($AlPO_4$). O aquecimento promoveu o aumento no teor de P_2O_5 total de 31,3% no material original para 35,7% no tratamento a 600ºC, e a produção de matéria seca de plantas de milho, cultivadas com adição do produto calcinado ao solo, apresentou incremento positivo de 42% em relação ao tratamento controle.

Neste aspecto, o trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento do feijoeiro comum sob diferentes fontes de fósforo em solos encubados com 120 dias antes do plantio.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Tratamentos

Os tratamentos consistiram em cinco fontes de fósforo, uma testemunha, sem P e dez repetições, totalizando sessenta unidades experimentais. Sendo: T1- T_Yoorin - Termofosfato Yoorin; T2- FN_Arad - Fosfato Natural Reativo Arad; T3- ST - Superfosfato Triplo; T4- T_Al - Termofosfato de Alumínio em pó; T5- FN_Al - Fosfato Natural de Alumínio; T6- Test - Testemunha – sem adubo fosfatado.

Antes da instalação do experimento os solos foram analisados física e quimicamente conforme metodologia de Embrapa (1999). Para o cálculo da quantidade de fertilizante fosfatado foi utilizado a recomendação de 90 Kg. ha^{-1}.

3.2.2 Instalação

O experimento foi conduzido, em casa de vegetação, em Latossolo Vermelho Distroférrico (Latossolo Vermelho Escuro, textura argilosa), com teores baixos de fósforo conforme resultados de análise de solo apresentados na Tabela 3.1. Nas Figuras 3.1 e 3.2 são apresentados dados da implantação e a cultura aos 65 dias após plantio.

A adubação empregada foi calculada de acordo com Souza & Lobato (2004). O solo foi peneirado, calcariado e deixado por 20 dias para reação do calcário, tendo recebido irrigação diariamente. Após este período foram aplicados os tratamentos nos vasos com 90 kg de P_2O_5 por hectare das fontes utilizadas que foram incorporados ao solo. Foram semeadas três sementes de feijoeiro comum variedade Estilo, tratadas com fungicida (CERCOBIN 500 SC – Iharabas S.A.) e inoculadas por 120 dias, para saber se o fosfatos deixavam alumínio residual. A adubação de cobertura foi realizada com 60 kg de N e 40 Kg de K_2O por hectare. As plantas foram avaliadas semanalmente quanto à altura, diâmetro e número de folhas. Os dados foram submetidos à análise de variância e comparação de médias utilizando o programa estatístico Statical Analysis System – SAS.

Tabela 3.1 Atributos químicos do solo antes da montagem do experimento.

Argila	M.O	pH(água)	P(Mel)	P(Res)	K	Ca	Mg	CTC	V	Cu	Fe	Mn	Zn
--dag.dm^{-3}-			-------mg.dm^{-3}------			-----cmolc.dm^{-3}-			%	----------mg.dm^{-3}-------			
51	4,5	5,4	1,3	6,8	50	1,8	0,4	5,7	36,7	1,6	35,0	18,9	2,4

Figura 3.1 Detalhe do experimento com feijão no plantio.

Figura 3.2 Detalhe na cultura do feijão no enchimento de vargem aos 65 dias após plantio.

3.2.3 Variáveis avaliadas

a) Produtividade de grãos por vaso: os grãos colhidos na área útil foram corrigidos a umidade de 13%;

b) Análise química do solo. Os teores de P disponível foram determinados pelo Mehlich 1 e resina. Foram coletadas dez amostras simples de solo por parcela, nas profundidades de 0-20 cm, as quais, após a homogeneização e quarteação, foram analisadas no Laboratório de Análise de Solos, substrato e nutrição e de plantas E.A.- U.F.G. para P resina e P Mehlich 1 conforme metodologia proposta por Embrapa (1999).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Incubação do solo

Na Tabela 3.2 são apresentadas a análise de variância e as médias dos atributos químicos do solo. Verifica-se que houve efeito dos tratamentos em todas as variáveis com exceção do Zn, B, Cu, Mn e S. Em geral o uso do fosfato natural de alumínio aumenta os teores de Al e diminui o teor de Ca, Mg, K, P, MO e do pH. Nas Figuras 3.3 a 3.5 são apresentados o comportamento no tempo de incubação nos atributos P, Al e teor de Mn, respectivamente. Verifica-se que o uso do fosfato natural de alumínio provocou alterações substanciais nos teores deste elemento. Porém após o tratamento térmico do fosfato de Al não houve alterações nestes atributos e seu comportamento foi similar ao Termofosfato Yoorin e ao Superfosfato Triplo. O maior teor de P, no termofosfato de Arad, está relacionado à solubilização pelo extrator Mehlich, do P ligado ao cálcio, deste fertilizante.

O fósforo retido no solo é favorável a sua utilização pelas plantas, porém o "envelhecimento" dessa retenção, formando o P não-lábil é um problema. Novais et al. (2007) relataram que a retenção do P adicionado ao solo ocorre pela precipitação deste elemento em solução com formas iônicas de Fe^{3+}, Al^{3+} e Ca^{2+}, e de maneira mais significativa pela sua adsorção pelos hidróxidos de Fe^{3+} e de Al^{3+}, presentes em maiores quantidades nos solos tropicais mais intemperizados.

Segundo Costa et al. (2006) apud Novais & Smyth (1999), em razão do fator capacidade dos solos de textura argilosa e de textura média serem elevados, só se

conseguem pequenas alterações no P na solução do solo com aplicação de doses muito elevadas de P, que já não são mais econômicas.

Tabela 3.2 Análise de variância e médias dos atributos químicos do solo incubados com diferentes fontes de P em diferentes estádios de desenvolvimento.

Trat	Ca	Mg	Al	H_Al	K	P	MO	pH	Zn	B	Cu	Fe	Mn	S
	----------cmolc.dm^{-3}--------				-----mg.dm^{-3}--------		g.dm^{-3}	$CaCl_2$	----------Mg.dm^{-3}----------					
T_Yoorin	3,38ab	1,26b	0,00b	2,93b	272,38a	18,95b	17,00a	5,36a	11,06a	0,21a	2,07a	33,23a	39,39a	5,50a
FN_Arad	3,63a	1,36b	0,00b	3,45ab	307,13a	40,29a	23,25ab	5,24ab	6,46a	0,22a	1,87a	24,47dc	37,07a	6,06a
ST	3,25ab	1,23ab	0,00b	3,30ab	275,00a	18,85b	22,75ab	5,20ab	6,09a	0,19a	1,70a	25,11dc	35,17a	5,30a
T_Al	3,39ab	1,30b	0,00b	3,30ab	293,13a	11,88cb	22,88ab	5,19ab	7,25a	0,20a	1,77a	24,29d	36,56a	3,77a
FN_Al	2,04c	0,70c	0,14a	3,80a	138,00b	12,13cb	19,63c	4,79c	8,05a	0,19a	2,89a	30,44ab	23,29a	8,47a
Test	2,35bc	0,80bc	0,06ab	3,51ab	173,38b	9,48c	22,75bc	4,99bc	6,38a	0,18a	1,81a	28,79bc	24,57a	7,91a
Teste F	6,09ns	6,83**	5,29**	4,31**	8,79**	28,20**	11,55**	6,54**	1,2ns	1,57ns	1,59ns	12,98**	3,98ns	1,59ns
CV%	14,68	17,64	19,59	11,66	17,39	12,44	16,79	4,43	23,66	17,27	29,18	10,44	19,56	23,62

T_Yoorin - Termofosfato Yoorin, FN_Arad - Fosfato Natural Reativo Arad, ST - Superfosfato Triplo, T_Al - Termofosfato de Alumínio em pó, FN_Al - Fosfato natural de Alumínio, Test - Testemunha – sem adubo fosfatado. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de tukey a 5%.

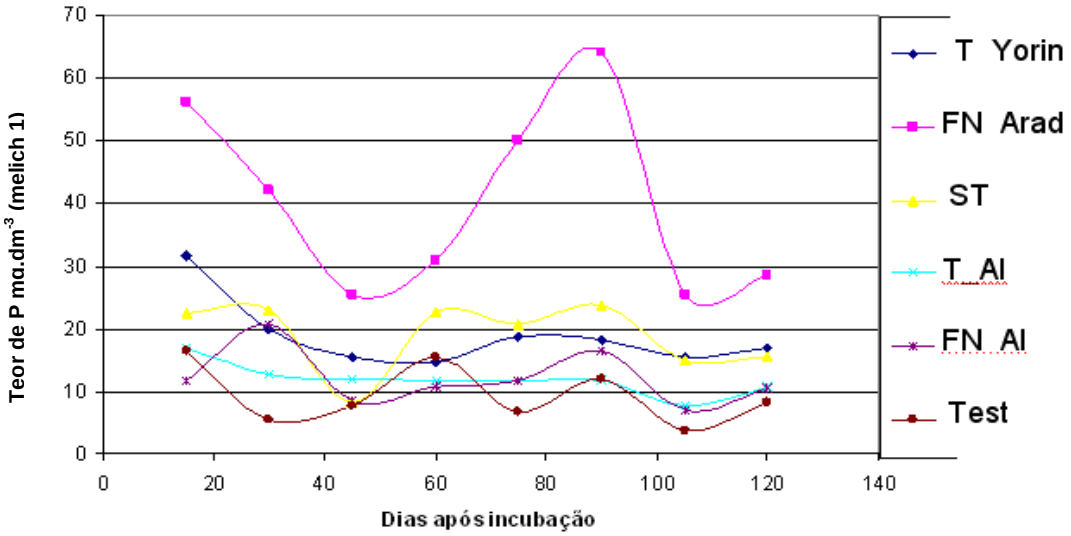

Figura 3.3 Teores de P Melhich 1 do solo incubados com diferentes fontes de P em diferentes épocas de amostragem. T_Yoorin - Termofosfato Yoorin, FN_Arad - Fosfato Natural Reativo Arad, ST - Superfosfato Triplo, T_Al - Termofosfato de Alumínio em pó, FN_Al - Fosfato natural de Alumínio, Test - Testemunha – sem adubo fosfatado.

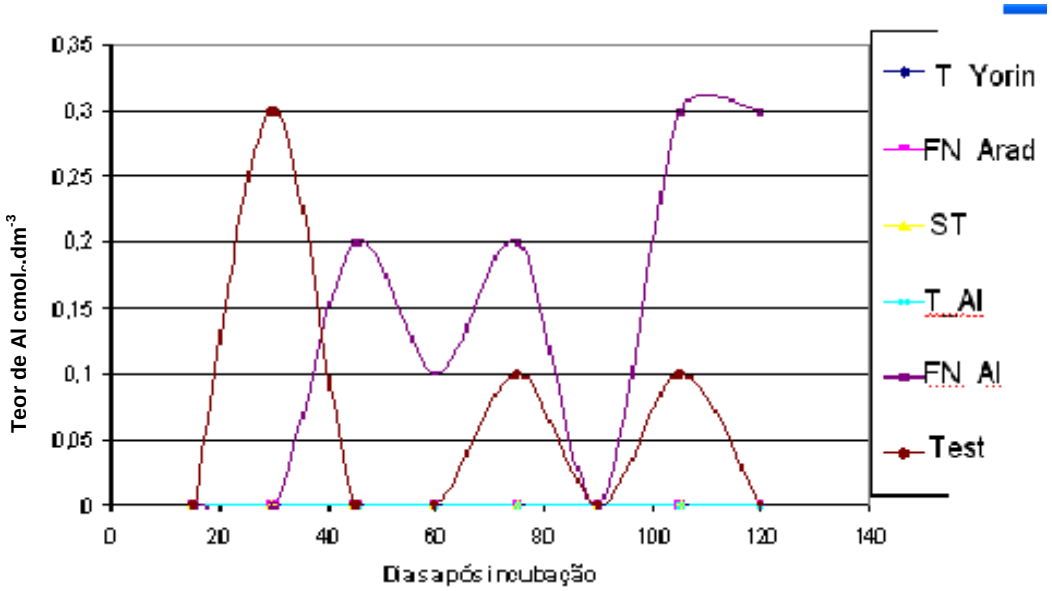

Figura 3.4 Teores de Al do solo incubados com diferentes fontes de P em diferentes épocas de amostragem. T_Yoorin - Termofosfato Yoorin, FN_Arad - Fosfato Natural Reativo Arad, ST - Superfosfato Triplo, T_Al - Termofosfato de Alumínio em pó, FN_Al - Fosfato natural de Alumínio, Test - Testemunha – sem adubo fosfatado.

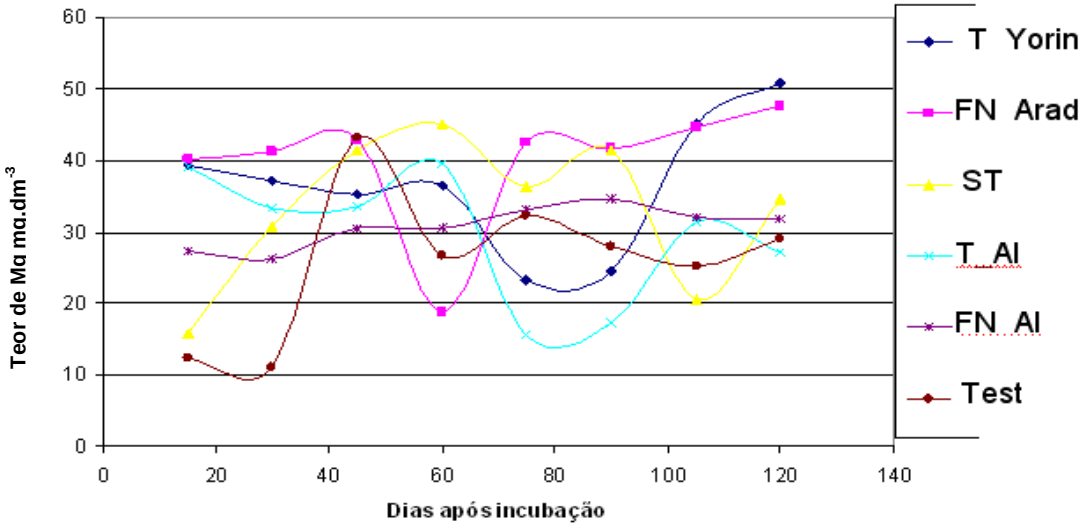

Figura 3.5 Teores de Mn do solo incubados com diferentes fontes de P em diferentes épocas de amostragem. T_Yoorin - Termofosfato Yoorin, FN_Arad - Fosfato Natural Reativo Arad, ST - Superfosfato Triplo, T_Al - Termofosfato de Alumínio em pó, FN_Al - Fosfato natural de Alumínio, Test - Testemunha – sem adubo fosfatado.

3.3.2 Análise de crescimento do feijoeiro plantado nos vasos incubados

Os resultados das análises de variância são apresentados na Tabela 3.3 Verifica-se que houve diferenças significativas quanto a fontes de fosfato e os estádios de

desenvolvimento. Houve efeito significativo também na interação entre os fatores. Os coeficientes de variação foram relativamente baixos.

Tabela 3.3 Análise de variância para o teor relativo de clorofila em feijoeiro comum submetido a diferentes fontes de fósforo em diferentes estádios de desenvolvimento.

Causas da Variação	Número de folhas	Altura de planta	Diâmetro basal da haste
Tratamentos	518,09**	339,86**	143,24**
Estádio de desenvolvimento	20,01**	21,79**	11,24**
Tratamento x Época de Amostragem	4,23**	3,80**	3,83*
Média	23,34 folhas/planta	23,28 cm	4,78 mm
CV (%)	8,34	7,36	4,88

Teste de F, ** - significativo em níveis de p ≤ 1% de probabilidade; * - significativo em níveis de p ≤ 5% de probabilidade e ns – não significativo.

Os desdobramentos dos graus de liberdade da interação significativa são apresentados nas Figuras 3.6 e 3.7.

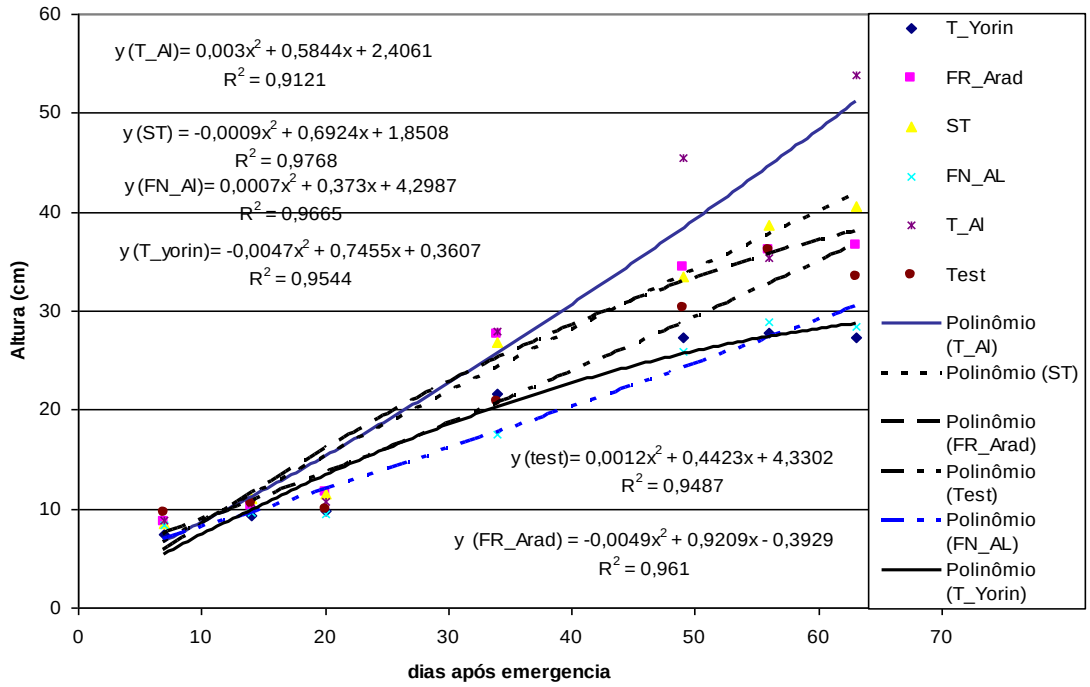

Figura 3.6 Efeito residual dos tratamentos na altura de plantas do feijoeiro submetida a diferentes fontes de P em diferentes estádios de desenvolvimento. T_Yoorin - Termofosfato Yoorin, FN_Arad - Fosfato Natural Reativo Arad, ST - Superfosfato Triplo, T_Al - Termofosfato de Alumínio em pó, FN_Al - Fosfato natural de Alumínio, Test - Testemunha – sem adubo fosfatado.

Verifica-se que as maiores alturas de plantas, 60 dias após a emergência, foram obtidas pelo Termofosfato de Alumino em pó atestando maior efeito residual destas em relação às demais fontes testadas. O fosfato reativo de Arad e o Superfosfato Triplo apresentaram também bom desempenho nesta variável.

Quanto ao diâmetro basal da haste do feijoeiro comum (Figura 3.7) verifica-se que os tratamentos que apresentaram maiores valores aos 60 dias após a emergência foram: Termofosfato Yoorin e Fosfato Natural Reativo Arad. O Termofosfato de Alumínio em pó apresentou também bom desempenho. Por outro lado, o Fosfato Natural de Alumínio sem tratamento térmico teve desempenho semelhante à Testemunha. Quanto à época de amostragem houve incremento das variáveis estudadas com o tempo, conseqüência do crescimento e do desenvolvimento do feijoeiro comum.

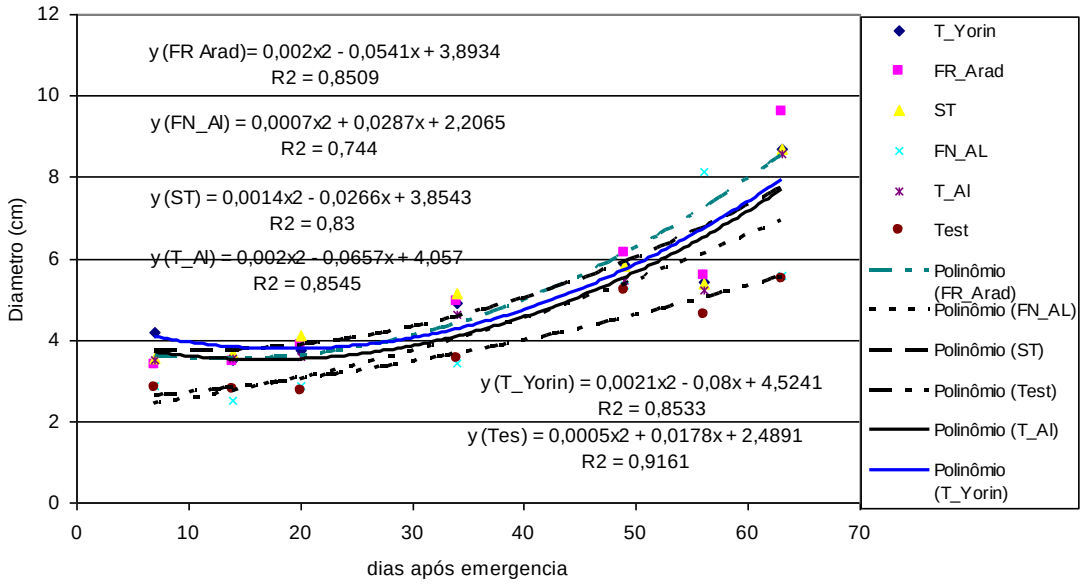

Figura 3.7 Efeitos residual dos tratamentos no diâmetro de plantas do feijoeiro submetida a diferentes fontes de P em diferentes estádios de desenvolvimento. T1. Termofosfato Yoorin, T2. Fosfato Natural Reativo Arad, T3. Superfosfato Triplo, T4. Termofosfato de Alumínio em pó, T5. Fosfato natural de Alumínio, T6. Testemunha, T7. Termofosfato de Alumínio em pó, T8. Fosfato natural de Alumínio.

3.3.3 Componentes de produtividade

Os resultados das análises de variância são apresentados na Tabela 3.4 Verifica-se que houve diferenças significativas quanto a fontes de fosfato nos componentes de produtividade. Os coeficientes de variação variaram de 17,8% a 32,0%.

Tabela 3.4 Análise de variância para os componentes de produtividade do feijoeiro comum submetido a diferentes fontes de fósforo em diferentes estádios de desenvolvimento.

Causa da Variação	Número de vagens/vaso	Número de grãos/vaso	Grãos por vagens	Peso de grãos/vaso
Teste F tratamentos	4,23**	9,92**	3,26**	9,29**
Média	3,94	15,50	4,2	4,20
CV (%)	32,0	27,4	17,8	24,7

Teste de F, ** - significativo em níveis de p ≤ 1% de probabilidade; * - significativo em níveis de p ≤ 5% de probabilidade e ns – não significativo.

Os testes de média são apresentados na Tabela 3.5. Verifica-se que os componentes de produção foram maiores no superfosfato triplo. Porém os termofosfatos de alumínio não apresentaram diferenças em relação ao superfosfato triplo. O mesmo comportamento foi observado para o fosfato reativo (exceção quanto ao peso de grão). O fosfato reativo de Arad e o superfosfato triplo apresentaram também bom desempenho nesta variável. Estes dados corroboram com os dados encontrados por Assis et al., (2011), nos qual os autores testaram diferentes fontes de fósforo e observaram que o superfosfato triplo apresentou melhor resultado.

Tabela 3.5 Componentes de produtividade de plantas do feijoeiro submetidas a diferentes fontes de P.

Tratamentos	Número de vagens/vaso	Número de grãos/vaso	Grãos por vagens	Peso de grãos/vaso
T_Yoorin	3,26 abc	10,80 c	3,48 b	3,17 c
FN_Arad	4,22 abc	16,22 abc	3,79 ab	4,01 bc
ST	5,00 a	19,00 ab	4,10 ab	5,59 a
T_Al	4,80 ab	21,50 a	4,70 a	5,51 a
FN_Al	2,80 abc	10,50 c	3,88 ab	2,93 c
Test	3,10 bc	13,40 bc	4,50 ab	3,98 bc

T_Yoorin - Termofosfato Yoorin, FN_Arad - Fosfato Natural Reativo Arad, ST - Superfosfato Triplo, T_Al - Termofosfato de Alumínio em pó, FN_Al - Fosfato natural de Alumínio, Test - Testemunha – sem adubo fosfatado Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de tukey a 5%.

Por outro lado, o fosfato natural de alumínio, sem tratamento térmico, teve

desempenho semelhante à Testemunha. Quanto à época de amostragem, houve incremento das variáveis estudadas com o tempo, consequência do crescimento e desenvolvimentos do feijoeiro comum.

3.4 CONCLUSÕES

Os maiores efeitos residuais dos fertilizantes fosfatados aplicados no crescimento do feijoeiro são obtidos pelo fosfato reativo de Arad, termofosfato de alumínio e superfosfato triplo. Refletindo na produtividade de grãos e no numero de vargens das plantas.

Os fosfatos aplicados anteriormente nos vasos e encubados por 120 dias na cultura proporciona efeito residual, pois interfere positivamente no teor de P foliar e na altura de plantas.

O termofosfato de alumínio se mostra viável para aplicação na cultura do feijão dentro das condições estudadas.

4 EFICIENCIA DE USO DE TERMOFOSFATO DE ALUMINIO COMO FONTE DE FOSFORO NA PRODUCAO DE SOJA E SORGO EM SOLOS DE CERRADO

RESUMO

Para avaliar o efeito residual de Termofosfato de aluminio na produção de soja e efeito residual na cultura do sorgo, foi conduzido ensaio em condições de campo, comparando-se a aplicação de diferentes fontes de fosforo. Os tratamentos consistiram em cinco fontes de fósforo, uma testemunha, sem P e seis repetições, totalizando 30 unidades experimentais. Sendo: T1- T_Yoorin - Termofosfato Yoorin; T2- FN_Arad - Fosfato Natural Reativo Arad; T3- ST - Superfosfato Triplo; T4- T_Al - Termofosfato de Alumínio em pó; T5- FN_Al - Fosfato Natural de Alumínio; T6- Test - Testemunha – sem adubo fosfatado. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso. Não houve efeito dos adubos fosfatados na produtividade da cultura da soja, porém houve efeito residual na produtividade do sorgo. No sorgo o termofosfato de Alumínio apresentou resultado semelhante ao Yoorin.Os atributos químicos do solo e analise foliar não mostraram diferenças entre os tratamentos.O termofosfato de alumínio tem grande potencial para a adubação de plantas cultivadas no cerrado.

Palavras-chave: fertilizantes fosfatados, *Glycine max* L., *Sorgun Bicolor* L., fosfatados aluminosos.

ABSTRACT

USE EFFICIENCY OF ALUMINUM PHOSPHATE AS PHOSPHORUS SOURCE IN SOYBEAN AND SORGHUM IN CERRADO SOILS

To evaluate the residual effect of aluminum phosphate in soybean and residual effect on sorghum crop , experiment was conducted under field conditions , comparing the use of different sources of phosphorus . The treatments consisted of five sources of phosphorus , a witness without P and six replicates , totaling 30 experimental units . Where: T1 - T_Yoorin - termophosphate ; T2 - FN_Arad - Natural Reactive Phosphate Arad ; T3- ST - Triple superphosphate ; T4- T_Al - thermophosphate aluminum powder; T5 - FN_Al - Natural Aluminum Phosphate ; T6 -Test - Witness - no phosphate fertilizer . The experimental design was randomized blocks . No effect of phosphate fertilizers on productivity of soybean , but there was a residual effect on the productivity of sorghum. In

Sorghum Aluminum thermo performance similar to Yoorin. Os chemical soil analysis result and leaf showed no differences among treatments thermophosphate aluminum has great potential for fertilization of plants grown in the cerrado.

Key words: phosphate fertilizers , *Glycine max* L. , *Sorgun Bicolor* L. , aluminous phosphate .

4.1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max* L. Merril) é plantada no Brasil em mais de vinte milhões de ha, sendo cultivada em vinte estados e em todas as regiões geográficas do país. O Brasil é o segundo maior produtor e o maior exportador mundial de grãos de soja, sendo esta uma das principais culturas de exportação do país no momento. Na safra 2012/2013 foram cultivados 27.242 milhões de hectare, com uma produção de 60.063 milhões de toneladas, e a área plantada na safra 2012/2013 apresentou um crescimento de 5,9%, totalizando 23,21 milhões de hectare (Conab, 2014).

A região Centro Oeste é a maior produtora de soja do Brasil, concentrando 48,54% da produção, o equivalente a 29,15 milhões de toneladas (Conab, 2014). O cultivo em solos sob vegetação de Cerrado proporcionou o crescimento em área e rendimento da cultura pelo cultivo de variedades adaptadas ás condições do Cerrado brasileiro. A região dos Cerrados assume então importância estratégica para o desenvolvimento da cultura no Brasil e sua contribuição para a produção nacional é crescente e determinante para a posição alcançada no cenário internacional (Reetz et al., 2008).

Dentre os principais problemas para a produção de grão de soja, na região de Cerrado, estão os baixos teores de fósforo. Normalmente, problemas de solos ácidos e deficiência de P são comuns na maioria dos solos. A aplicação de fertilizantes nos solos de Cerrado constitui uma prática indispensável para a obtenção de altos rendimentos em diversas culturas.

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é uma planta com altas taxas fotossintéticas que pode ser cultivada em quase todo território nacional. Esta cultura é de enorme utilidade em regiões muito quentes e muito secas, onde culturas como o milho, não atinge o máximo em produtividade de grãos ou de forragem (Giacomini et al., 2013).

O desenvolvimento de novos híbridos, o aumento do consumo de proteína animal, a valorização do sorgo pelas indústrias de rações, a expansão da produção de leite

e o confinamento de bovinos aliados a um aumento da demanda por matérias-primas energéticas resultou no conjunto de fatores que alavancaram a produção nacional deste cereal (Metidieri, 2000).

Estudos na área de fertilidade do solo e nutrição de plantas podem identificar problemas relativos a características do solo e da planta bem como fatores interativos que afetam a dinâmica deste nutriente no sistema. Apesar de seu pequeno requerimento pelos vegetais, o fósforo é um dos nutrientes aplicado em maiores quantidades nos solos brasileiros, o que é consequência de sua baixa disponibilidade natural e grande afinidade da fração mineral por este elemento, retirando-o da solução (adsorção/precipitação) e fazendo com que a concentração de equilíbrio seja muito baixa, tornando-se um dos fatores mais limitantes da produção em solos tropicais (Raij, 2004), sendo, portanto, imprescindível à adubação fosfatada para a obtenção de produções satisfatórias das diversas culturas.

A otimização do uso de rochas fosfáticas é de extrema importância na atualidade tendo em vista as reservas limitadas destas fontes. Há reservas de fosfato de Alumínio em várias regiões do Brasil. Fosfatos aluminosos do tipo crandallita são encontrados em Tapira-MG, Catalão-GO e Juquiá-SP e foram estudados por Franscisco et al. (2007) após tratamento térmico a 300°C, 500°C, 700°C e 900°C durante 2 horas. O tratamento elevou, consideravelmente, a solubilidade em extrator citrato neutro de amônio dos materiais e promoveu a desorganização da estrutura cristalina da crandallita a temperaturas de 500°C e superiores; e causou alterações morfológicas (fraturamento e arredondamento) nas amostras. O aumento na solubilidade das amostras após o tratamento térmico indica que a utilização agronômica destas fontes marginais de P pode ser de interesse, uma vez que o crescimento das plantas pode ser favorecido pela maior disponibilidade de P. Os autores relatam ainda que estudos de avaliação desses materiais a fim de determinar sua eficiência agronômica devem ser conduzidos para o conhecimento de condições adequadas para sua aplicação que favoreçam o aproveitamento pela planta.

A ocorrência geológica de fosfatos aluminosos foi observada em vários locais do Brasil podendo ser de várias ocorrências. A alteração intempérica da apatita, principal fosfato primário presentes nas concentrações primárias de fosfato, é geralmente o primeiro passo para a formação de fosfatos supérgenos, que, dependendo das condições geoquímica como pH, atividade do H_3PO_4 e os cátions envolvidos propiciam a formação de minerais fosfáticos como wavelita, augelita, variscita, milisita, wardita, strengita e crandalita

(Francisco et al., 2007). Depósitos de fosfato de alumínio são encontrados no Estado de Tocantins e após o tratamento térmico podem constituir-se numa opção para a adubação fosfatada na região.

As culturas da soja e do sorgo assim como a de outras espécies agrícolas, estão sujeitas a uma série de fatores ambientais que direta ou indiretamente influenciam seu crescimento, desenvolvimento e produtividade. Neste sentido, um dos fatores que se destaca para a baixa produtividade é a disponibilidade de fósforo (Lopes, 1984). Sabe-se que o fósforo (P) é um dos nutrientes mais importantes para as plantas, e também um dos fertilizantes mais aplicados na agricultura brasileira, uma vez que sua disponibilidade nos solos, em geral, é muito baixa, além do que, os solos brasileiros possuem alta capacidade de adsorção (Novais & Smyth, 1999; Santos et al., 2011). Por outro lado, dentre os fertilizantes disponíveis no mercado, os fosfatados são os que apresentam a maior variação quanto a sua solubilidade.

Segundo Nolla et al. (2013) a resposta à adubação fosfatada depende, dentre outros fatores, da disponibilidade de P no solo, da disponibilidade de outros nutrientes, da espécie cultivada e das condições climáticas. Dados de pesquisas demonstram que os maiores incrementos de produção de grãos das principais culturas são observados com adubações entre 60 $kg.ha^{-1}$ e 280 $kg.ha^{-1}$ de P_2O_5, quando se trabalhando em latossolos argilosos e utilizando-se fontes solúveis. Contudo, são poucos os dados referentes às fontes de fósforo aluminosos e termofosfatos de alumínio.

Neste sentido o objetivo do presente definir a viabilidade do fosfato de alumínio como fonte de P na cultura da soja e do sorgo em condições de campo.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Tratamentos

Os tratamentos consistiram em cinco fontes de fósforo, uma testemunha, sem P e seis repetições, totalizando 30 unidades experimentais. Sendo: T1- T_Yoorin - Termofosfato Yoorin; T2- FN_Arad - Fosfato Natural Reativo Arad; T3- ST - Superfosfato Triplo; T4- T_Al - Termofosfato de Alumínio em pó; T5- FN_Al - Fosfato Natural de Alumínio; T6- Test - Testemunha – sem adubo fosfatado. Antes da instalação do experimento os solos foram analisados física e quimicamente conforme metodologia de

Embrapa (1999). Para o cálculo da quantidade de fertilizante fosfatado foi utilizado a recomendação de 90 Kg. ha^{-1}.

4.2.2 Instalação

O trabalho foi conduzido no município de Goiânia, GO, em área experimental da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás. O clima do local enquadra-se com B2 WB 42' (Lobato, 1978). Apresenta temperatura média de 21°C, com máxima de 29°C e com mínima de 15°C. Umidade relativa anual 41,5%, precipitação pluviométrica média anual de 1.487,2 mm e insolação total 2.645,7 horas.

Foram empregadas seis repetições, totalizando trinta unidades experimentais. O experimento foi instalado em Latossolo Vermelho Distroférrico, previamente analisado em laboratório conforme metodologia proposta pela Embrapa (1999), e baixo teor de Fósforo (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 Atributos químicos do solo antes da montagem do experimento.

Prof.	M.O.	P(mel)	K	Ca	Mg	CTC	Al	V	Cu	Fe	Mn	Zn
cm	$g.dm^{-3}$	$mg.dm^{-3}$	----------cmolc dm^{-3}----------					%	----------mg dm^{-3}----------			
0-10	17	5,2	124	2,5	1,1	7,23	0,0	50,40	5,4	60,8	62,8	8,3
10-20	10	5,0	85	1,5	0,7	5,63	0,0	43,21	5,0	57,5	37,2	6,5

As parcelas foram constituídas de dez linhas da cultura de soja, espaçadas a 0,45 m e com comprimento de 4 m, totalizando área de 18 m^2, sendo que a área útil da parcela foi constituída das 8 linhas centrais, descartando-se 0,5 m de cada extremidade da parcela. A soja foi semeada na segunda quinzena de novembro de 2010. A cultivar empregada foi a BRS 8160 RR; P 5,5. SAFRA 2009/2010. A cultura do sorgo (2^o cultivo – safra 2011/2012) as parcelas foram constituídas de 8 linhas da cultura, espaçadas, 0,45 m e com comprimento de 4 m, sendo que a área útil da parcela foi constituída das duas linhas centrais, descartando-se 0,5 m de cada extremidade da parcela. A adubação empregada foi calculada de acordo com Souza & Lobato (2004).

Foram distribuídos os tratamentos aplicando-se 90 kg de P_2O_5 por hectare das fontes utilizadas que foram incorporados ao solo. A adubação de cobertura foi 60 kg de N

e 40 kg de K_2O por hectare. Tais recomendações foram baseadas Sousa e Lobato (2004). Os detalhes do experimento são demonstrados nas figuras 4.1 e 4.2.

Figura 4.1 Detalhe do experimento soja.

Figura 4.2 Detalhe na cultura do sorgo uma semana após germinação.

O experimento foi montado em delineamento em blocos ao acaso com seis tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos consistiram em diferentes fontes de Fósforo: T_Yoorin - Termofosfato Yoorin, FR_Arad - Fosfato Natural Reativo Arad, ST - Superfosfato Triplo, FN_Al - Fosfato natural de Alumínio, T_Al. Termofosfato de Alumínio em pó, Test - Testemunha. Quando as plantas de soja estavam em pleno

florescimento foram coletadas também amostras de solo e folha. Neste período foi determinado também o teor relativo de clorofila, em SPAD, por meio de clorofilometro. O aparelho foi calibrado antes da leitura de cada parcela. Foram feitas 15 leituras em cada parcela, considerando a área útil as quatro fileiras centrais. Após a maturação fisiológica foi feita a colheita da soja (13/04/2011) na área útil da parcela. Após a determinação da umidade os dados de produtividades foram corrigidos para 13% de umidade.

Posteriormente à colheita da soja foi semeado manualmente o sorgo, cultivar AGSO 101G. Dez dias após a emergência realizou-se o desbaste, estabelecendo-se uma densidade populacional de 160.000 plantas ha^{-1}. Não houve aplicação de fósforo. A adubação de plantio foi de 60 $kg.ha^{-1}$ de K_2O. A adubação de cobertura foi 60 kg de N e 40 Kg de K_2O por hectare.

No florescimento foram coletadas amostras de solo e folha. Neste período foi determinado também o teor relativo de clorofila, em SPAD, por meio de clorofilômetro com os mesmos procedimentos empregados na cultura da soja.

Quando os grãos se apresentavam no estádio farináceo duro avaliou-se a produtividade amostrando-se na área útil no centro da parcela.

Os dados da soja e sorgo foram submetidos à análise de variância, e comparação de médias utilizado o programa estatístico *Statical Analysis System* – SAS. Os dados originais também foram submetidos à análise de variância, teste de Tukey e, quando pertinente, à analise de regressão calculada para equações lineares e quadráticas. Foram aceitas as equações significativas a 1% (**) e a 5% (*) de probabilidade pelo teste F, com o maior coeficiente de determinação (r^2).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Produtividade

4.3.1.1 Soja

Não houve efeitos dos tratamentos na produtividade da soja (Figura 4.3). Apesar de não ser significativo, observa-se uma tendência das maiores produtividades serem do termofosfato natural de alumínio (4.823 $kg.ha^{-1}$). As produtividades obtidas foram elevadas.

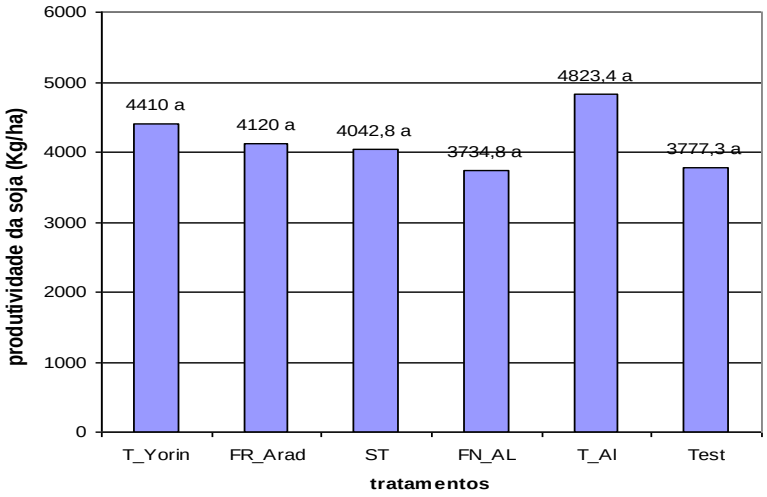

Figura 4.3 Produtividade da soja em kg/ha submetida a diferentes fontes de P em diferentes estádios de desenvolvimento. T_Yoorin - Termofosfato Yoorin, FR_Arad - Fosfato Natural Reativo Arad, ST - Superfosfato Triplo, FN_Al - Fosfato natural de Alumínio, T_Al. Termofosfato de Alumínio em pó, Test - Testemunha. Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de tukey a 5%.

Marcolan (2006), comparando o suprimento e absorção de P pela soja, em distintos sistemas de manejo, constatou resultado similar ao obtido nesse experimento. Diferente desses resultados. Lins et al., (1989); Schlindwein & Gianello (2005); Broch et al., (2008); Nolla, (2013) notaram aumentos de produtividade dessa leguminosa frente à adição de superfosfato triplo, diferentes dos resultados encontrados neste experimento, onde o termofosfato de alumínio obteve melhor resultados, isto pode ser devido ao seu tratamento térmico tornando o fósforo mais disponível para as plantas.

Também não houve efeito dos tratamentos nos teores foliares de soja (Tabela 4.2). Porém o termofosfato natural de alumínio apresentou a maior média dos teores foliares de fósforo (2,28 $g.kg^{-1}$). Os teores foliares conforme Malavolta et al. (1997), apresentam-se na classe adequada indicando que todos os tratamentos proporcionaram boas condições nutricionais a cultura da soja.

Na Figura 4.4 verifica-se que não houve diferença significativa, sendo a testemunha o tratamento que apresentou maior teor de clorofila (SPAD), talvez pela menor disponibilidade deste nutriente limitar em parte o crescimento da folha, levando a uma maior concentração de clorofila como observado por Carrow et al. (2003).

Tabela 4.2 Efeitos dos tratamentos nos teores foliares de soja submetida a diferentes fontes de P.

	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
Trat	----------g kg^{-1}----------						----------Mg kg^{-1}----------				
T_Yoorin	35,50^{a}	1,98^{a}	19,83^{a}	11,13^{a}	3,70^{a}	1,70^{a}	8,00^{a}	105,00^{a}	36,00^{a}	26,25^{a}	23,00^{a}
FR_Arad	33,00^{a}	2,20^{a}	18,28^{a}	11,68^{a}	4,30^{a}	1,78^{a}	8,00^{a}	109,00^{a}	31,50^{a}	86,25^{a}	22,25^{a}
ST	36,00^{a}	2,13^{a}	18,40^{a}	11,43^{a}	4,10^{a}	1,73^{a}	6,75^{a}	126,25^{a}	32,50^{a}	25,00^{a}	21,75^{a}
FN_Al	36,50^{a}	2,03^{a}	18,00^{a}	10,60^{a}	3,58^{a}	1,63^{a}	9,00^{a}	106,00a	31,50^{a}	25,50^{a}	24,25^{a}
T_Al	36,50^{a}	2,28^{a}	20,30^{a}	10,80^{a}	3,95^{a}	1,78^{a}	8,50^{a}	126,25^{a}	38,25^{a}	30,75^{a}	23,00^{a}
Test	34,75^{a}	2,08^{a}	19,70^{a}	10,83^{a}	3,80^{a}	1,70^{a}	7,50^{a}	168,25^{a}	32,75^{a}	26,50^{a}	21,50^{a}
média	35,38	2,11	19,08	11,08	3,90	1,72	7,96	123,46	33,75	36,71	22,63
teste F	0,37ns	2,13ns	1,48ns	0,74ns	2,63ns	0,21ns	1,33ns	0,63ns	1,38ns	0,46ns	0,71ns
CV%	12,45	7,22	8,36	8,67	8,45	14,16	17,05	48,92	13,89	134,25	10,59

T_Yoorin - Termofosfato Yoorin, FR_Arad - Fosfato Natural Reativo Arad, ST - Superfosfato Triplo, FN_Al - Fosfato natural de Alumínio, T_Al. Termofosfato de Alumínio em pó, Test. Testemunha. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

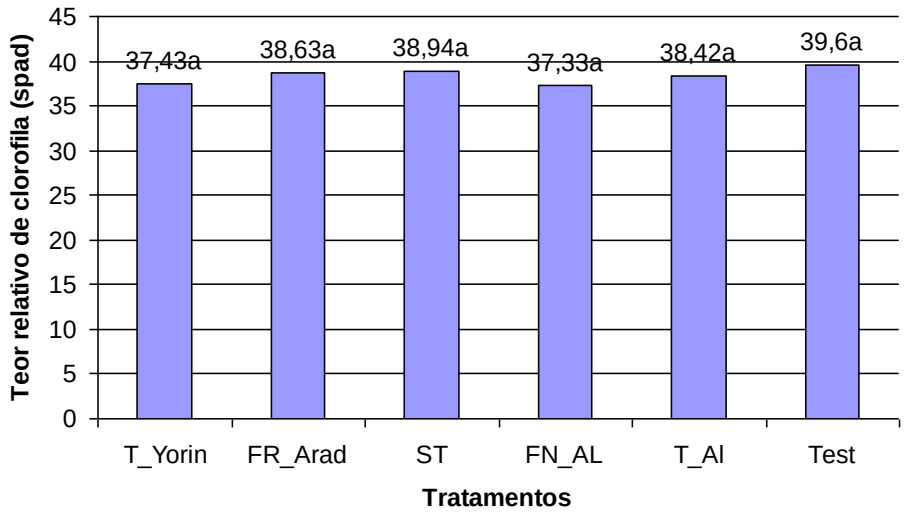

Figura 4.4 Teor Relativo de clorofila de soja submetida a diferentes fontes de P. T_Yoorin - Termofosfato Yoorin, FR_Arad - Fosfato Natural Reativo Arad, ST - Superfosfato Triplo, FN_Al - Fosfato natural de Alumínio, T_Al. Termofosfato de Alumínio em pó, Test. Testemunha. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de tukey a 5%.

Tabela 4.3 Analise dos atributos químicos do solo incubados com diferentes fontes de P em diferentes estádios de desenvolvimento. Soja campo.

Trat	Ca	Mg	Al	H_Al	K	P	MO	pH	Zn	B	Cu	Fe	Mn	S
	----------cmolc.dm^{-3}--------				-----mg.dm^{-3}-------		g/dm^{-3}	$CaCl_2$	----------mg.dm^{-3}----------					
T_Yoorin	1,8^{a}	0,6^{a}	0,1^{a}	1,8^{a}	85^{a}	6,4^{a}	16^{a}	4,9^{a}	8,5^{a}	0,28^{a}	3,0^{a}	50,6^{a}	54,8^{a}	5,6^{a}
FR_Arad	1,5^{a}	0,6^{a}	0,1^{a}	2,1^{a}	61^{a}	4,7^{a}	20^{a}	4,8^{a}	4,6^{a}	0,28^{a}	2,9^{a}	65,2^{a}	37,4^{a}	3,4^{a}
ST	2,3^{a}	0,9^{a}	0,0a	1,5^{a}	68^{a}	4,0a	21^{a}	5,1^{a}	5,0^{a}	0,24^{a}	2,5^{a}	60,3^{a}	44,7^{a}	2,8^{a}
FN_Al	1,9^{a}	0,7^{a}	0,1^{a}	1,8^{a}	93^{a}	3,4^{a}	25^{a}	4,8^{a}	6,3^{a}	0,26^{a}	2,3^{a}	47,8^{a}	51,3^{a}	2,0^{a}
T_Al	1,9^{a}	0,6^{a}	0,1^{a}	1,4^{a}	101^{a}	4,3^{a}	19^{a}	4,9^{a}	5,9^{a}	0,2^{a}	3,0^{a}	46,4^{a}	44,1^{a}	4,2^{a}
Test	2,2^{a}	0,7^{a}	0,0a	1,5^{a}	128^{a}	4,0^{a}	20^{a}	5,0a	6,7^{a}	0,2^{a}	2,7^{a}	76,1^{a}	62,0^{a}	2,8^{a}

T_Yoorin - Termofosfato Yoorin, FR_Arad - Fosfato Natural Reativo Arad, ST - Superfosfato Triplo, FN_Al - Fosfato natural de Alumínio, T_Al. Termofosfato de Alumínio em pó, Test. Testemunha. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Na tabela 4.3 são apresentados os valores referentes Analise dos atributos químicos do solo incubados com diferentes fontes de P em diferentes estádios de desenvolvimento, podendo observar que os teores de Alumínio são maiores no solo onde foram aplicados o tratamento com termofosfato de Alumínio.

4.3.1.1 Sorgo efeito residual

Os resultados das análises de variância são apresentados na Tabela 4.4. Verifica-se que houve diferenças significativas quanto a fontes de fosfato nos componentes de produtividade. O termofosfato Yoorin apresentou média superiores a testemunha, fosfato reativo de Arad, superfosfato triplo e termofosfato de alumínio. O fosfato natural de alumínio apresentou também bom desempenho (1.701 kg.ha^{-1}). O coeficiente de variação situou-se em 9,5%.

Na variável altura o melhor desempenho foi obtido no termofosfato de alumínio (72,6 cm). Quanto a diâmetro o Fosfato Reativo de Arad, apresentou o maior desempenho (41,0 mm), diferindo somente do superfosfato simples (36,4 mm). Não houve efeito significativo nos números de perfilho por planta.

Albuquerque (2009), em experimento realizado também encontrou diferença em altura de plantas de sorgo quando aplicado diferentes fontes de P. Na análise foliar

não houve efeito significativo dos tratamentos nas variáveis estudadas. O teor de P foi de 1,62 g.kg^{-1} no tratamento que recebeu fosfato natural de alumínio.

Tabela 4.4 Produtividade, altura e diâmetro basal do colmo do sorgo submetido a diferentes fontes de fósforo em diferentes estádios de desenvolvimento.

Tratamentos	**Produtividade**	**Altura**	**Diâmetro**	**Perfilhos por planta**
	kg ha^{-1}	cm	mm	unidade
T_Yoorin	2008,5 a	68,5a	35,5ab	4,9a
FR_Arad	1648,4 b	65,8ab	41,0a	4,1a
ST	1537,2 b	66,8a	36,4b	4,7a
FN_Al	1462,0 bc	72,6a	40,5ab	4,1a
T_Al	1701,3 ab	58,8b	39,4ab	4,3a
Test	1148,8 c	68,3ª	40,2ab	4,2a
Teste F	14,27**	6,25**	2,49*	0,76 ns
CV (%)	9,50	17,3	16,7	55,0

Teste de F, ** - significativo em níveis de $p \leq 1\%$ de probabilidade; * - significativo em níveis de $p \leq 5\%$ de probabilidade e ns – não significativo .T_Yoorin - Termofosfato Yoorin, FR_Arad - Fosfato Natural Reativo Arad, ST - Superfosfato Triplo, FN_Al - Fosfato natural de Alumínio, T_Al. Termofosfato de Alumínio em pó, Test. Testemunha. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Colomb et al. (2007) também não encontraram diferenças em produtividades com diferentes fontes de P, num experimento no sul da França após anos de sucessão de culturas.

Na Tabela 4.5 são apresentados os efeitos dos tratamentos nos teores foliares de sorgo submetido a diferentes fontes de P, onde pode-se observar que não houve diferença significativa neste teores quando avaliado o efeito residual.

Na Tabela 4.6 são apresentados os dados da análise de variância e as médias dos atributos químicos do solo. Verifica-se que não houve efeito dos tratamentos nas variáveis analisadas. Era de se espera, em geral, que o uso do fosfato natural de alumínio proporcionasse aumento nos teores de Al, e diminuição nos teores de Ca, Mg, K, P, MO, porém isso não ocorreu.

Tabela 4.5 Efeitos dos tratamentos nos teores foliares de sorgo submetido a diferentes fontes de P.

	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
Trat	----------g.kg^{-1}----------						----------mg.kg^{-1}----------				
T_Yoorin	20,10a	1,55^{a}	14,05^{a}	3,6^{a}	2,2^{a}	1,50^{a}	3,7^{a}	255,8^{a}	51,5^{a}	30,0^{a}	13,8^{a}
FR_Arad	17,90a	1,53^{a}	14,09^{a}	3,5^{a}	2,2^{a}	1,35^{a}	6,0^{a}	234,8^{a}	48,5^{a}	29,5^{a}	14,5^{a}
ST	19,20a	1,60^{a}	17,50^{a}	3,7^{a}	2,2^{a}	1,38^{a}	5,3^{a}	225,5^{a}	46,3^{a}	26,0^{a}	14,5^{a}
FN_Al	18,30a	1,62^{a}	17,15^{a}	3,5^{a}	2,2^{a}	1,40^{a}	3,8^{a}	217,0^{a}	45,0^{a}	25,5^{a}	14,8^{a}
T_Al	18,80a	1,46^{a}	17,14^{a}	3,3^{a}	2,1^{a}	1,43^{a}	4,8^{a}	200,1^{a}	44,5^{a}	26,0^{a}	14,5^{a}
Test	20,20a	1,63^{a}	17,90^{a}	4,1^{a}	2,5^{a}	1,68^{a}	5,0a	218,8^{a}	47,0^{a}	26,3^{a}	16,5^{a}
teste F	2,33ns	0,86ns	1,14ns	0,50ns	0,26ns	1,36ns	2,66ns	1,42ns	1,24ns	1,58ns	0,77ns
CV%	6,43	8,35	18,03	21,25	23,3	14,10	22,74	13,86	12,6	11,92	14,30

Teste de F, ** - significativo em níveis de $p \leq 1\%$ de probabilidade; * - significativo em níveis de $p \leq 5\%$ de probabilidade e ns – não significativo . T_Yoorin - Termofosfato Yoorin, FR_Arad - Fosfato Natural Reativo Arad, ST - Superfosfato Triplo, FN_Al - Fosfato natural de Alumínio, T_Al. Termofosfato de Alumínio em pó, Test. Testemunha. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 4.6 Análise de variância e médias dos atributos químicos do solo incubado com diferentes fontes de P em diferentes estádios de desenvolvimento. Sorgo a campo.

	Ca	Mg	Al	H_Al	K	P	MO	Zn	B	Cu	Fe	Mn	S
Trat	----------cmolc.dm^{-3}---------				-----mg.dm^{-3}---------		g.dm^{-3}	----------mg.dm^{-3}----------					
T_Yoorin	2,02^{a}	0,70^{a}	0,08^{a}	1,73^{a}	0,31^{a}	4,8^{a}	18^{a}	6,12^{a}	0,25^{a}	3,33^{a}	64,4^{a}	51,2^{a}	3,6^{a}
FR_Arad	2,05^{a}	0,73^{a}	0,03^{a}	1,78^{a}	0,29^{a}	6,3^{a}	20^{a}	5,83^{a}	0,21^{a}	2,68^{a}	53,8^{a}	51,8^{a}	2,9^{a}
ST	2,20^{a}	0,70^{a}	0,05^{a}	1,67^{a}	0,33^{a}	5,5^{a}	18^{a}	6,85^{a}	0,24^{a}	2,90^{a}	62,5^{a}	57,4^{a}	3,3^{a}
FN_Al	2,27^{a}	0,78^{a}	0,05^{a}	1,60^{a}	0,28^{a}	4,8^{a}	22^{a}	7,40^{a}	0,22^{a}	2,75^{a}	66,6^{a}	53,4^{a}	3,7^{a}
T_Al	2,08^{a}	0,73^{a}	0,08^{a}	1,53^{a}	0,22^{a}	4,8^{a}	18^{a}	6,50^{a}	0,23^{a}	2,93^{a}	56,9^{a}	53,3^{a}	3,7^{a}
Test	2.15^{a}	0,75^{a}	0,05^{a}	1,68^{a}	0,31^{a}	4,3^{a}	16^{a}	8,18^{a}	0,32^{a}	3,18^{a}	57,7^{a}	56,2^{a}	3,5^{a}
Teste F	0,67ns	0,32ns	0,52ns	0,78ns	0,75ns	0,47ns	2,95ns	2,02ns	1,47ns	2,36ns	1,08ns	0,04ns	0,34ns
CV%	11,10	14,21	96,8	12,12	31,70	41,26	13,20	17,90	25,9	10,94	15,88	18,40	30,03

Teste de F, ** - significativo em níveis de $p \leq 1\%$ de probabilidade; * - significativo em níveis de $p \leq 5\%$ de probabilidade e ns – não significativo .T_Yoorin - Termofosfato Yoorin, FR_Arad - Fosfato Natural Reativo Arad, ST - Superfosfato Triplo, FN_Al - Fosfato natural de Alumínio, T_Al. Termofosfato de Alumínio em pó, Test. Testemunha. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Avaliando-se o comportamento dos teores de Al e Mn em função do tempo de incubação verifica-se que o uso do termofosfato natural de alumínio provoca alterações substanciais nos teores deste elemento. Porém após o tratamento térmico do fosfato de Al não ocorreram alterações nestes atributos e seu comportamento foi similar ao termofosfato Yoorin e Arad.

4.4 CONCLUSÕES

- ✓ Não houve efeito dos adubos fosfatados na produtividade da cultura da soja, porém houve efeito residual na produtividade do sorgo. No sorgo o termofosfato de Alumínio apresentou resultado semelhante ao Yoorin.
- ✓ Os atributos químicos do solo e analise foliar não demonstra diferenças entre os tratamentos.
- ✓ O termofosfato de alumínio tem grande potencial para a adubação de plantas cultivadas no cerrado

5 EFICIÊNCIA DE USO DE TERMOFOSFATO DE ALUMÍNIO COMO FONTE DE FÓSFORO NA PRODUÇÃO DE FEIJÃO EM CASA DE VEGETAÇÃO, EM SOLO DO CERRADO.

RESUMO

Para a cultura do feijão, o fósforo encontra-se entre os nutrientes que apresentam as maiores limitações nutricionais ao crescimento. O fósforo é de grande importância na cultura da soja, sendo responsável pela maioria das respostas significativas no rendimento. Com o objetivo de avaliar a eficiência do uso de termofosfato de alumínio na cultura do feijão, conduziu-se um experimento na Escola de Agronomia e Engenharia de alimentos da Universidade Federal de Goiás, em um Latossolo Vermelho Distroférrico com teores baixos de fósforo. Empregou-se um delineamento em blocos ao acaso, os tratamentos consistiram em cinco fontes de fósforo, uma testemunha, sem P e dez repetições, totalizando 60 unidades experimentais. Sendo: T1- T_Yoorin - Termofosfato Yoorin; T2- FN_Arad - Fosfato Natural Reativo Arad; T3- ST - Superfosfato Triplo; T4- T_Al - Termofosfato de Alumínio em pó; T5- FN_Al - Fosfato Natural de Alumínio; T6- Test - Testemunha – sem adubo fosfatado. Foram utilizados vasos de 8 dcm^3. Estimou-se a produtividade da cultura, os teores de P nas folhas de feijão e os teores de P no solo extraído pelo extrator Mehlich 1 eficiência relativa para cada uma destas variáveis. As principais conclusões obtidas foram que a eficiência relativa dos fosfatos reativos obtidos dependeu da variável empregada. Os fertilizantes fosfatados aplicados que apresentaram melhor desempenho no crescimento do feijoeiro foram respectivamente o termofosfato Yoorin > superfosfato triplo > fosfato reativo de Arad > Termofosfato de alumínio. A produtividade do feijoeiro obtida com o fosfato de alumínio em pó foi igual ao superfosfato triplo e superiores ao termofosfato Yoorin e fosfato natural de Arad. O termofosfato de alumínio pode ser empregado como fertilizante fosfato para a cultura do feijão.

Palavras-chave: fosfato alternativos; superfosfato; feijoeiro.

ABSTRACT

EFFICIENCY OF USE OF ALUMINUM PHOSPHATE AS A SOURCE OF PHOSPHORUS IN THE PRODUCTION OF BEANS IN HOUSE OF VEGETATION IN SOIL OF SAVANNAH .

For the bean crop, phosphorus is among the nutrients that have the highest nutritional limitations to growth. Phosphorus is of great importance in soybean, being responsible for most of the yield meaningful answers. In order to evaluate the efficiency of the use of

aluminum phosphate in the bean crop , an experiment was conducted in the Goiânia region, Goiás State, Brazil (16°36´S 49°17'W, 730m). Oxisol with low phosphorus. We used a block design randomized treatments consisted of five sources of phosphorus, a witness without P and ten repetitions , totaling 60 experimental units . Where: T1 - T_Yoorin - termophosphate ; T2 - FN_Arad - Natural Reactive Phosphate Arad ; T3- ST - Triple superphosphate ; T4- T_Al - thermophosphate aluminum powder; T5 - FN_Al - Natural Aluminum Phosphate ; T6 -Test - Witness - no phosphate fertilizer . 8 dcm3 vessels were used. We estimated the yield , the P levels in bean leaves and the levels of soil P extracted by Mehlich 1 relative efficiency for each of these variables . The main conclusions were that the relative efficiency of reactive phosphates obtained depended on the variable used. The applied phosphate fertilizers that performed better in bean growth were respectively the termophosphate > triple superphosphate > Arad phosphate > thermophosphate aluminum. The bean yield obtained with the aluminum phosphate powder was equal to and greater than the triple superphosphate and rock phosphate termophosphate Arad. The thermo aluminum phosphate can be used as fertilizer for growing beans.

Key words: alternative phosphate; superphosphate; bean.

5.1 INTRODUÇÃO

A baixa disponibilidade de fósforo (P) é, geralmente, uma das maiores limitações ao crescimento das plantas. Para a cultura do feijão, o fósforo encontra-se entre os nutrientes que apresentam as maiores limitações nutricionais ao crescimento. O fósforo é de grande importância na cultura do feijão, sendo responsável pela maioria das respostas significativas no rendimento.

A escolha da fonte de P está relacionada tanto à eficiência em suprir as necessidades das plantas, quanto ao custo do fertilizante. Os fosfatos solúveis têm apresentado bons resultados, embora possuam custo mais elevado, ao passo que os fosfatos naturais apresentam baixa solubilidade e menor eficiência agronômica, especialmente para culturas anuais, porem a preços mais atrativos.

Vários autores verificaram em levantamento de caracterização dos solos de cerrado, que em 92% das amostras coletadas o teor disponível de P (Mehlich-1) foi inferior a 2 $mg.dm^{-3}$. Sousa et al. (2002) relataram a existência de resposta à aplicação de P até a dose de 300 $kg.ha^{-1}$ de P_2O_5, o que evidencia, também, a baixa disponibilidade desse nutriente. Portanto é imprescindível a pratica da adubação fosfatada para se obter produções satisfatórias nos diferentes sistemas de produção agrícola. Os fosfatos solúveis (superfosfatos) têm custo muito elevado e os fosfatos naturais brasileiros são de eficiência

muito baixa. Uma das alternativas para reduzir os custos pode ser a utilização de fosfatos naturais reativos (FNR), farelados. Os fosfatos naturais reativos são de origem sedimentar, sendo encontrados em áreas desérticas de clima seco, onde predominam apatitas com alto grau de substituições isomórficas de fosfato por carbonato, resultando em cristais imperfeitos, com grande porosidade, que lhes confere um menor peso específico e, consequentemente, maior área superficial, podendo ser facilmente hidrolisados, sendo, por isso, conhecidos como fosfatos moles e de grande reatividade (Peruzzo et al., 1999).

A reatividade química dos fosfatos é estimada, utilizando sua solubilidade em ácidos orgânicos, a eficiência dos fosfatos naturais para as culturas depende de outros fatores relacionados às propriedades do solo, às características da planta e ao método de aplicação (Araújo et al., 2004). O fosfato natural reativo, por causa de sua reatividade, apresenta uma eficiência similar ao superfosfato triplo, quando aplicado a lanço em área total e incorporado (Goedert & Lobato, 1984; Coutinho et al., 1991; Lopes, 1999).

O método de aplicação interfere na eficiência dos fertilizantes fosfatados, principalmente em solos com baixo teor de P e que possuem alta capacidade de fixação do nutriente (Novais & Smyth, 1999). Apesar dos numerosos estudos existentes sobre o manejo da adubação fosfatada, ainda permanecem dúvidas, principalmente quanto à aplicação direta dos fosfatos naturais, importados e nacionais, sendo esse aspecto motivo de controvérsias entre pesquisadores (Costa et al., 2008). Fosfatos naturais aplicados a lanço e incorporados em solos com pH em água até 5,5 têm sua eficiência aumentada com o passar do tempo e com o revolvimento do solo nas operações de aração e gradagem. A aplicação desses fosfatos no sulco de plantio promove redução da eficiência da adubação (Lopes, 1999).

Novais (1999) relata que a maior solubilização de fosfatos naturais em condições de solos argilosos e com pH ácido não favorece a planta, uma vez que o dreno preferencial do P nesse sistema é o próprio solo, sendo essa situação agravada com o maior contato do fosfato com as partículas de solo propiciado pelo revolvimento. Assim a aplicação localizada de fosfatos naturais no sulco de plantio levaria a uma condição em que as raízes da planta seriam o principal dreno envolvido na solubilização e aquisição do P, contribuindo para aumentar a eficiência da adubação com esses fertilizantes.

Segundo Motomiya et al. (2004), o fosfato natural reativo quando aplicado a lanço na cultura da soja obtém maior produtividade e um custo x beneficio maior, isto é maior produtividade a um custo abaixo quando comparados ao superfosfato triplo.

Portanto, esforços devem ser desenvolvidos para delinear a recomendação de adubação para a cultura da soja com o uso dos FNR, a possibilitar um aumento ou mesmo uma produção equivalente aos atuais índices de produtividade da cultura para o centro oeste.

Neste sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência do uso de fosfato de alumínio na produção de feijão, em solos de cerrado, conduzido em casa de vegetação.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Tratamentos

Os tratamentos consistiram em cinco fontes de fósforo, uma testemunha, sem P e dez repetições, totalizando sessenta unidades experimentais. Sendo: T1- T_Yoorin - Termofosfato Yoorin; T2- FN_Arad - Fosfato Natural Reativo Arad; T3- ST - Superfosfato Triplo; T4- T_Al - Termofosfato de Alumínio em pó; T5- FN_Al - Fosfato Natural de Alumínio; T6- Test - Testemunha – sem adubo fosfatado.

5.2.2 Instalação do ensaio

O trabalho foi conduzido no município de Goiânia, GO, em casa de vegetação na Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás. O clima enquadra-se como B2 WB 42’ (Lobato, 1978). Apresenta temperatura média de 21°C, com máxima de 29°C e mínima de 15°C. Umidade relativa anual de 41,5%, precipitação pluviométrica média anual de 1.487,2 mm e insolação total de 2.645,7 horas.

Foram empregadas dez repetições, totalizando sessenta unidades experimentais. O experimento foi instalado em vasos de dois litros, dispostos na casa de vegetação. O solo utilizado foi o Latossolo Vermelho Distroférrico, previamente analisado em laboratório conforme metodologia proposta pela Embrapa (1999), com baixo teor de fósforo. A adubação empregada foi calculada de acordo com Souza & Lobato (2004). O solo foi peneirado, calcariado e deixado por 20 dias para reação do calcário, tendo recebido irrigação diariamente. Após este período foram aplicados os tratamentos nos vasos com

90 kg de P_2O_5 por hectare das fontes utilizadas que foram incorporados ao solo. Foram semeadas três sementes de feijoeiro comum variedade Estilo, tratada com fungicida (CERCOBIN 500 SC – Iharabas S.A.) e inoculadas.

A adubação de cobertura foi realizada com 60 kg de N e 40 Kg de K_2O por hectare. As plantas foram avaliadas semanalmente quanto à altura, diâmetro e número de folhas. Os dados foram submetidos à análise de variância e comparação de médias utilizando o programa estatístico *Statical Analysis System* – SAS. Detalhe do experimento com feijão no florescimento é visualizado na Figura 5.1.

Figura 5.1 Detalhe do experimento com feijão no florescimento.

5.2.3 Características avaliadas

a) Produtividade de grãos por área: os grãos colhidos na área útil foram corrigidos a umidade de 13% e calculada a produtividade de grãos por hectare;
b) Análise química do solo. Os teores de P disponível foram determinados pelo Mehlich 1 e resina. Foram coletadas dez amostras simples de solo por parcela, nas profundidades de 0-20 cm, as quais, após a homogeneização, foram analisadas no Laboratório de Análise de Solos, substrato e nutrição e de plantas E.A.- U.F.G. para P resina e P Mehlich 1 conforme metodologia proposta por Embrapa (1999).

c) Fósforo foliar no feijão: foram coletadas amostras de folhas de soja, na fase R2 (pleno florescimento), as quais, após a secagem e trituração, foram analisadas teor de P total conforme metodologia de Malavolta et al. (1997).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Desenvolvimento de plantas

Os resultados das análises de variância são apresentados na Tabela 5.1. Verifica-se que houve diferenças significativas quanto a fontes de fosfato e os estádios de desenvolvimento. Houve efeito significativo também na interação entre os fatores. Os coeficientes de variação foram relativamente baixos.

Tabela 5.1 Análise de variância para o teor relativo de clorofila em feijoeiro comum submetida a diferentes fontes de fósforo em diferentes estádios de desenvolvimento.

Causa da Variação	Número de folha	Altura de planta	Diâmetro basal da haste
Tratamentos	218,26**	116,20**	160,77**
Estádio de desenvolvimento	117,00**	117,16**	72,77**
Tratamento x Época de Amostragem	12,10**	32,69**	4,90*
Média	21,07 folhas/planta	32,87 cm	3,81 mm
CV (%)	28,63	10,25	16,78

Teste de F, ** - significativo em níveis de $p \leq 1\%$ de probabilidade; * - significativo em níveis de $p \leq 5\%$ de probabilidade e ns – não significativo .

Os desdobramentos dos graus de liberdade da interação significativa são apresentadas nas Figuras 5.2 e 5.3.

Verifica-se que o melhor desempenho no crescimento do feijoeiro comum foi obtido com o Superfosfato Triplo - ST. Porém, o Termofosfato Yoorin, o Fosfato Natural Reativo Arad e o Termofosfato de Alumínio em pó, apresentaram também bom desempenho. O Fosfato natural de Alumínio sem tratamento térmico teve desempenho semelhante à Testemunha, que não recebeu adubação fosfatada. Quanto à época de amostragem, houve incremento das variáveis estudadas com o tempo; consequência do crescimento e desenvolvimentos do feijoeiro comum.

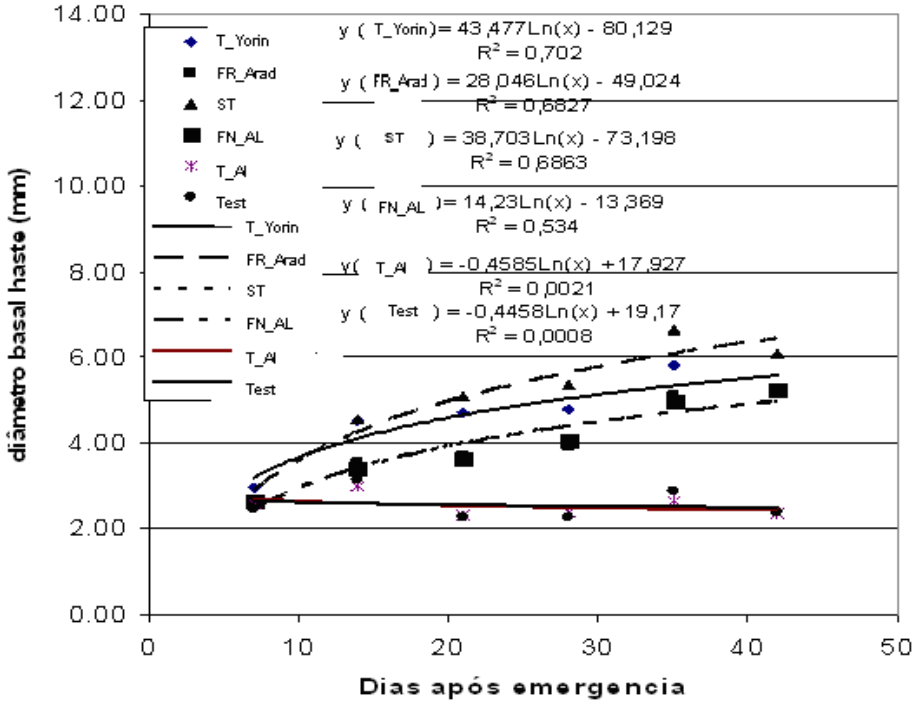

Figura 5.2 Efeitos dos tratamentos no diâmetro basal de haste do feijoeiro submetida a diferentes fontes de P em diferentes estádios de desenvolvimento. T_Yoorin - Termofosfato Yoorin, FN_Arad - Fosfato Natural Reativo Arad, ST - Superfosfato Triplo, T_Al - Termofosfato de Alumínio em pó, FN_Al - Fosfato natural de Alumínio, Test - Testemunha – sem adubo fosfatado.

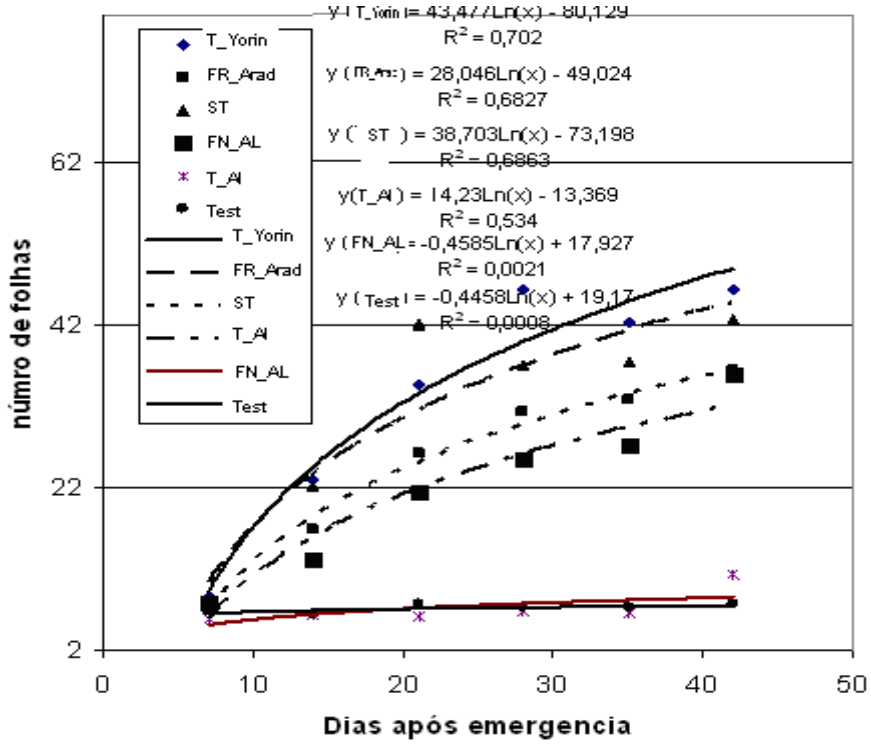

Figura 5.3 Efeitos dos tratamentos no numero de folhas do feijoeiro submetida a diferentes fontes de P em diferentes estádios de desenvolvimento. T_Yoorin - Termofosfato Yoorin, FN_Arad - Fosfato Natural Reativo Arad, ST - Superfosfato Triplo, T_Al - Termofosfato de Alumínio em pó, FN_Al - Fosfato natural de Alumínio, Test - Testemunha – sem adubo fosfatado.

Verifica-se na Tabela 5.2 que houve diferenças significativas quanto a fontes de fosfato e os estádios de desenvolvimento. Não houve efeito significativo na interação entre os fatores. O coeficiente de variação foi baixo (15,44%) com teores médios do teor relativo de clorofila de 36,04 spad. As médias são apresentadas nas Figuras 5.4 e 5.5. Verifica-se que apesar da analise de variância indicar efeito dos tratamentos o teste de Tukey a 5% não indicou diferenças entre as médias dos diferentes adubos fosfatados.

Tabela 5.2 Análise de variância para o teor relativo de clorofila em feijoeiro comum submetida a diferentes fontes de fósforo em diferentes estádios de desenvolvimento.

Causa da Variação	Teste F para o Teor relativo de clorofila
Tratamentos	21,12**
Estádio de desenvolvimento	5,35*
Tratamento x Época de Amostragem	2,63ns
CV (%)	15,44

Teste de F, ** - significativo em níveis de p ≤ 1% de probabilidade; * - significativo em níveis de p ≤ 5% de probabilidade e ns – não significativo .

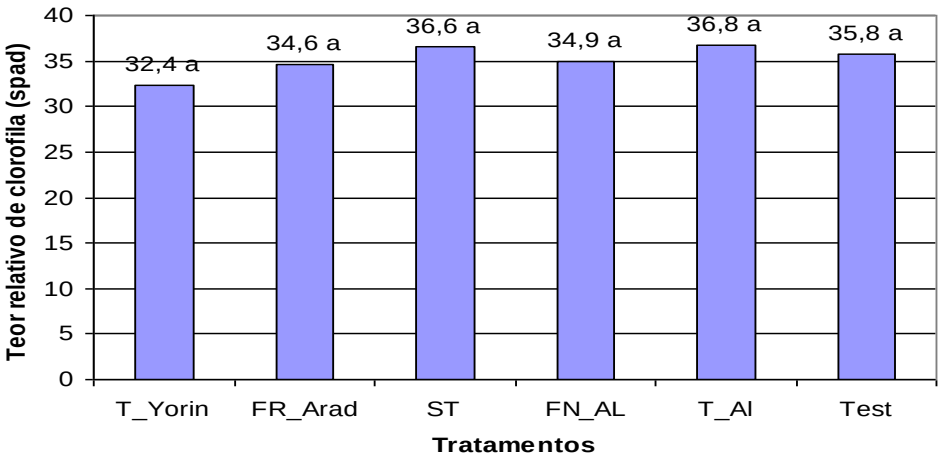

Figura 5.4 Efeitos dos tratamentos no teor relativo de clorofila (spad) de folhas de feijoeiro submetida a diferentes fontes de P. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de tukey a 5%. T_Yoorin - Termofosfato Yoorin, FN_Arad - Fosfato Natural Reativo Arad, ST - Superfosfato Triplo, T_Al - Termofosfato de Alumínio em pó, FN_Al - Fosfato natural de Alumínio, Test - Testemunha – sem adubo fosfatado.

Quanto à época de amostragem houve tendência de diminuir a leituras do clorofilômetro (Figura 5.4) e, por consequência, dos teores relativos de clorofila com o desenvolvimento da cultura do feijoeiro. Tais resultados estão relacionados à

movimentação dos nutrientes para as flores e vagens no inicio do período reprodutivo, acarretando menor concentração de clorofila neste estádio.

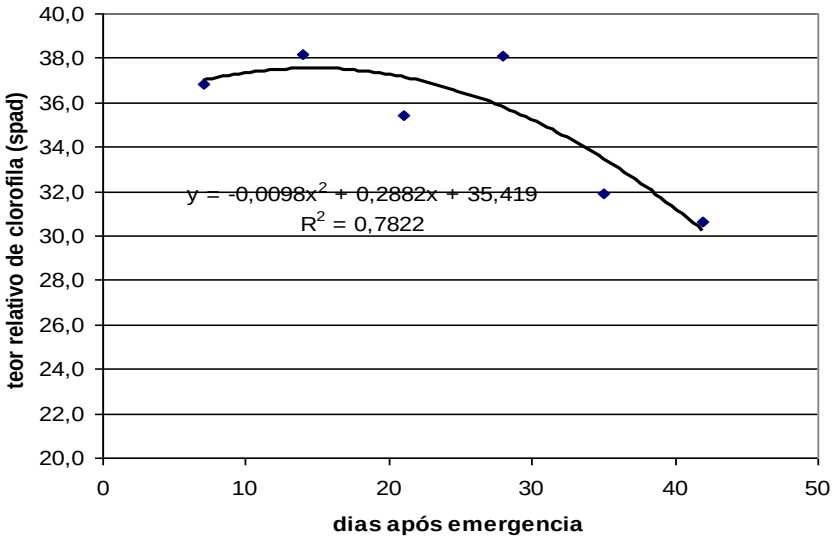

Figura 5.5 Efeitos do estádio de desenvolvimento do feijoeiro comum no teor relativo de clorofila (spad) nas folhas.

5.3.2 Componentes de produtividade

Os resultados das análises de variância são apresentados na Tabela 5.3. Verifica-se que houve diferenças significativas quanto a fontes de fosfato nos componentes de produtividade. Os coeficientes de variação variaram de 21,59% a 35,18%.

Tabela 5.3 Análise de variância para os componentes de produtividade do feijoeiro comum submetido a diferentes fontes de fósforo em diferentes estádios de desenvolvimento.

Causa da Variação	Número de vagens/vaso	Número de grãos/vaso	Grãos por vagens	Peso de grãos/vaso
Teste F tratamentos	140,89**	57,78**	154,85**	81,29**
Média	4,58	16,80	4,58	16,8
CV (%)	21,59	35,18	24,50	28,92

Teste de F, ** - significativo em níveis de $p \leq 1\%$ de probabilidade; * - significativo em níveis de $p \leq 5\%$ de probabilidade e ns – não significativo .

Os testes de média são apresentados na Tabela 5.4. Verifica-se que a

testemunha e o fosfato natural de alumínio não proporcionaram componentes de produção. Os fertilizantes fosfatados termofosfato Yoorin, fosfato natural de Arad e superfosfato triplo apresentaram maior número de vagens que o termofosfato de alumínio. Porém, as maiores médias do número de grãos por vaso e número de grão por vagens foram obtidos com o termofosfato de alumínio em pó. Estes resultados implicaram que na variável peso de grão por vaso (produtividade) o fosfato de alumínio em pó foi igual ao superfosfato triplo e superiores ao termofosfato Yoorin e fosfato natural de Arad. Tais resultados atestam a potencialidade do termofosfato de alumínio como fertilizante fosfato para a cultura do feijão.

Tabela 5.4 Componentes de produtividade de plantas do feijoeiro submetida a diferentes fontes de P.

Tratamentos	**Número de vagens/vaso**	**Número de grãos/vaso**	**Grãos por vagens**	**Peso de grãos/vaso**
T_Yoorin	7,6 a	23,6 b	3,13 b	8,88 b
FN_Arad	7,2 a	15,6 c	2,24 c	7,02 b
ST	7,0 a	29,2 ab	3,74 b	12,02 a
T_Al	4,8 b	32,4 a	6,91 a	11,84 a
FN_Al	0,0 c	0,0 d	0,0 c	0,0 c
Test	0,0 c	0,0 d	0,0 c	0,0 c

T_Yoorin - Termofosfato Yoorin, FN_Arad - Fosfato Natural Reativo Arad, ST - Superfosfato Triplo, T_Al - Termofosfato de Alumínio em pó, FN_Al - Fosfato natural de Alumínio, Test - Testemunha – sem adubo fosfatado. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de tukey a 5%.

5.4 CONCLUSÕES

- ✓ Os fertilizantes fosfatados aplicados que apresentam melhor desempenho no crescimento do feijoeiro são respectivamente o termofosfato Yoorin > superfosfato triplo > fosfato reativo de Arad > Termofosfato de alumínio.
- ✓ A produtividade do feijoeiro obtida com o fosfato de alumínio em pó é igual ao superfosfato triplo e superiores ao termofosfato Yoorin e fosfato natural de Arad.
- ✓ O termofosfato de alumínio pode ser empregado como fertilizante fosfato para a cultura do feijão.

6 CONCLUSÕES GERAIS

O processo de tratamento térmico da fonte de fosfato de alumínio mostra-se muito eficiente para produção para a cultura da soja e inundado mediante a solubilização e consequente liberação de fósforo no solo.

O Termofosfato de alumínio avaliado proporciona elevado rendimento de grãos para as culturas estudadas, podendo ser consideradas como fontes alternativas de P para culturas sob essas condições. Estudos econômicos são necessários para determinar a viabilidade real da utilização dessas fontes nas condições propostas.

7 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. J. B. **Arranjo de plantas de sorgo para o semiárido de Minas Gerais**: Arranjo de plantas de sorgo para o semiárido de Minas Gerais. 2009. 125 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. H.; NOVAIS, R. F. Addition of organic and humic acids to Latosols and phosphate adsorption effects. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1003-1011, 2003.

ANGHINONI, I.; VOLKWEISS, S. Fósforo. In: GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; TEDESCO, M. J. (Ed.). **Princípios de fertilidade do solo**. Porto Alegre: Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1995. p. 99-120.

ARAÚJO, L. B. **Fontes e modos de aplicação de fósforo na produção e nutrição mineral do milho em primeiro cultivo**: Fontes e modos de aplicação de fósforo na produção e nutrição mineral do milho em primeiro cultivo. 2004. 76 f. Dissertação (Mestrado em agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

ASSAWARACHAN, R.; NOOKONG, M.; CHAILUNGKA, N.; AMORNLERDPISON, D.; ALIMI, B. A.; SHITTU, T. A.; SANNI, L. O.; AROWOLO, T. A.; LI, L.; WANG, X. Effects of microwave power on the drying characteristics, color and phenolic content of Spirogyra sp. **Journal of Food, Agriculture & Environment (JFAE)**, Helsinki, v. 11, n. 1, p. 303-311, 2013.

BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo, 2007. 1017 p.

BROCH, D. L.; NOLLA, A.; QUIQUI, E. M. D.; POSSENTI, J. C. Influência no rendimento de plantas de soja pela aplicação de fósforo, calcário e gesso em um Latossolo sob plantio direto. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 10, n. 2, p. 32-45, 2008.

BÜLL, L. T.; FORLI, F.; TECCHIO, M. A.; CORRÊA, J. C. Relações entre fósforo extraído por resina e respostas da cultura do alho vernalizado a adubação fosfatada em cinco solos com e sem adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 508-510, 1998.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; P.. IN: II ENCONTRO PAULISTA DE SOJA, 2000. CAMPINAS. ANAIS... II ENCONTRO PAULISTA DE SOJA. 2000. CAMPINAS, 2000. 1 CD-ROM., Interpretação de análise de solo e calagem. In: II ENCONTRO PAULISTA DE SOJA, 2000, Campinas. **Anais...** II ENCONTRO PAULISTA DE SOJA. p. 1 CD-ROM.

CANTARELLA, H.; ROSSETO, R.; LANDELL, M. G. A.; VASCONCELOS, A. C. M., Misturas em diferentes proporções de fósfato, natural reativo e fosfato solúvel em água para a cana-de-açúcar. In: Congresso Nacional da STAB,2002, Recife. **Anais...** STAB. p. 218-224.

CHIEN, S. H.; MENON, R. G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Fertilizer Research**, Netherlands, v. 41, n. 3, p. 227-234, 1995.

CHOUDHARY, M.; BAILEY, L.; PECK, T. Effect of rock phosphate and superphosphate on crop yield and soil phosphorus test in long-term fertility plots. **Communications in Soil Science & Plant Analysis**, Georgia, v. 27, n. 18-20, p. 3085-3099, 1996.

COELHO, F. S.; VERLENGIA, F. Fertilidade do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 12-21, 1973.

COLOMB, B.; DEBAEKE, P.; JOUANY, C.; NOLOT, J. Phosphorus management in low input stockless cropping systems: Crop and soil responses to contrasting P regimes in a 36-year experiment in southern France. **European Journal of Agronomy**, Montpellier, v. 26, n. 2, p. 154-165, 2007.

COSTA, S. E. V. G. D. A.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, Á. V. D.; SILVA, T. O. D.; SILVA, T. R. D. Crescimento e nutrição da braquiária em função de fontes de fósforo. **Ciência e agrotecnologia (Impr.)**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1419-1427, 2008.

COUTINHO, E. L. M.; NATALE, W.; STUPIELLO, J. J.; CARNIER, P. E. Avaliação da eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados para a cultura do milho. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 19, n. 2, p. 93-104, 1991.

DA COSTA, J. P.; DE BARROS, N. F.; DE ALBUQUERQUE, A. W.; FILHO, G. M.; SANTOS, J. R. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 4, p. 828-835, 2006.

DA SILVA, F. C.; VAN RAIJ, B. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 267-288, 1999.

DOS SANTOS, V. R.; FILHO, G. M.; DE ALBUQUERQUE, A. W.; DA COSTA, J. P. V.; DOS SANTOS, C. G.; DOS SANTOS, A. C. I. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 389-396, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v13n4/v13n4a04.pdf>.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos: Embrapa Informática Agropecuária: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.

FAGERIA, N. K.; MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C.; MORAES, M. F. Influence of Lime and Gypsum on Yield and Yield Components of Soybean and Changes in Soil Chemical Properties. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Oxford, n. just-accepted, 2014.

FRANCISCO, E. A. B.; PROCHNOW, L. I.; TOLEDO, M. C. M. D.; FERRARI, V. C.; JESUS, S. L. D. Thermal treatment of aluminous phosphates of the crandallite group and its effect on phosphorus solubility. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 3, p. 269-274, 2007.

FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; VALE, F. R.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L. A. Acidez do solo, crescimento e nutrição mineral de algumas espécies arbóreas, na fase de muda. **Cerne**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 1-12, 1999.

GATIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**: Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas. 2003. 231 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

GIACOMINI, I.; PEDROZA, M. M.; SIQUEIRA, F. L. T.; MELLO, S. Q. S.; CERQUEIRA, F. B.; SALLA, L. Uso potencial de sorgo sacarino para a produção de etanol no estado do Tocantins. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 5, n. 3, p. 482-485, 2013.

GOEDERT, W. J.; LOBATO, E. Avaliação agronômica de fosfato em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 8, p. 97-102, 1984.

GOEDERT, W. J.; REIN, T. A.; SOUSA, D. M. G. **Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados não tradicionais**: (Documentos, 24). Brasilia: EMBRAPA-CPAC, 1986. 21 p.

GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. Uso de Fertilizantes Fosfatados. In: ESPINOZA, W. O., A. J. (Ed.). **Simpósio sobre fetilizantes na agricultura brasileira**. Brasília: EMBRAPA-DID, 1984. p. 255-290. (Documentos, 14).

GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P. R.; SOUCHIE, E. L.; DA ROCHA ROCHA, A. C. Adubação fosfatada e potássica na semeadura ea lanço antecipada na cultura da soja cultivada em solo de Cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 4, p. 769-774, 2008.

H., K. G.; CABEZAZ, W. L.; HOROWITZ, N. Eficiência agronômica de fosfatos naturais estrangeiros na cultura do milho. In: Congresso Brasileiro de Ciencia do Solo,1997, Campinas. **Resumos...** SBCS, 1997. p. 26.

HOROWITZ, N. **Eficiência de dois fosfatos naturais afetada pelo tamanho de partícula**: Eficiência de dois fosfatos naturais afetada pelo tamanho de partícula. 1998. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

KAMINSKI, J. **Efeito de cinco fosfatos pré-, co- e pós-aplicados ao calcário no suprimento de fósforo ao sorgo em três solos ácidos**: Efeito de cinco fosfatos pré, co e pós-aplicados ao calcário no suprimento de fósforo ao sorgo em três solos ácidos. 1983. 126 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - ESALQ/USP, Piracicaba, São paulo, 1983.

KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. **Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo**: Boletim Técnico, 3. Santa Maria: NRS-SBCS, 1997. 31 p.

LINS, I. D. G.; COX, F. R.; SOUSA, D. M. G. Teste de um modelo matemático para otimizar a adubação fosfatada na cultura da soja em solos sob Cerrado com diferentes teores e tipos de argila. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 13, p. 65-73, 1989.

LOPES, A. S. Fosfatos naturais. In: RIBEIRO, A. C. G., P. T. G.; ALVARES, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 65-66.

MACHADO, V. J.; DE SOUZA, C. H. E.; DE ANDRADE, B. B.; LANA, R. M. Q.; KORNDORFER, G. H. Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. **Bioscience Journal**, Uberlandia, v. 27, n. 1, p. 362-365, 2011.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: Princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 308 p.

MARCOLAN, A. L. **Suprimento e absorção de fósforo em solos submetidos a diferentes sistemas de preparo**: Suprimento e absorção de fósforo em solos submetidos a diferentes sistemas de preparo. 2006. 107 f. Tese (Doutorado em Ciência do solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

MCCLELLAN, G. H.; GREMILLION, L. R. Evaluation of phosphatic raw materials. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J. (Ed.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1980. p. 122. 43-80 cap.

MIELNICZUK, J. Análises de solo e sua interpretação. In: GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; TEDESCO, M. J. (Ed.). **Princípios de Fertilidade do Solo**. Porto Alegre: FA/DS, UFRGS, 1995. p. 33- 46.

MOTOMIYA, W. R.; FABRÍCIO, A. C.; MARCHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. C.; ROBAINA, A. D.; NOVELINO, J. O. Métodos de aplicação de fosfato na soja em plantio direto. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasilia, v. 39, n. 04, p. 307-312, 2004.

NACHTIGALL, G. R.; RAIJ, B. Análise e interpretação de potássio no solo. In: YAMADA, T. R., T. L. (Ed.). **Potássio na agricultua brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. p. 93-118. 3 cap.

NIRO GAZOLA, R.; BUZETTI, S.; DINALLI, R. P.; FILHO, M. C. M. T.; DE SOUZA CELESTRINO, T. Efeito residual da aplicação de fosfato monoamônio revestido por diferentes polímeros na cultura de milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, p. 876-884, 2013. Disponível em: <http://www.ceres.ufv.br/ceres/revistas/V60N006P14312.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2014.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I.; DA SILVA, T. R. B.; DA SILVA, M. A. G. Lime-phosphate relation and soybean growth in an oxisol from no-tillage system. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, Helsinki, v. 11, n. 1, p. 294-298, 2013.

NOVAIS, R. F. Utilização de fosfatos naturais de baixa reatividade. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 62-64.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Visçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

NOVAIS, R. F.; SMYTH , T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; H., A. V. V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 1017.

OBA, C. A. I. **Aproveitamento de materiais marginais para a produção de fertilizantes organo-fosfatados**: Aproveitamento de materiais marginais para a produção de fertilizantes organo-fosfatados. 2000. 72 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

PACHECO, L. P.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. D. A.; ASSIS, R. D.; COBUCCI, T.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasilia, v. 46, n. 1, p. 17-25, 2011.

PELLEGRINI, J. B. R.; RHEINHEIMER, D. R.; GONÇALVES, C. S.; COPETTI, A. C. C.; BORTOLUZZI, E. C.; TESSIER, D. Effect of landscape conformation on phosphorus contamination of fluvial soil sediments in subtropical Brazilian watershed. **Agronomy for Sustentable Development**, v. 1, p. 201-300, 2007.

PERUZZO, G.; WIETHÖLTER, S., Fosfatos naturais reativos: resultados obtidos no Sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27,1999, Brasília. **Anais...** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 1 CD-ROM.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1991. 343 p.

REETZ, E. R. Anuário brasileiro de Fruticultura. **Gazeta Santa Cruz**, Santa Cruz do Sul, v. 1, p. 136, 2007.

REIN, T. A.; SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E., Eficiência agronômica do fosfato natural da Carolina do Norte em solo de cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS,1994, Petrolina. **Anais...** EMBRAPA-CPATSA. p. 38-40.

ROSOLEM, C. A. Adubação foliar. In: Simpósio Sobre Fertilizantes na Agricultura Brasileira,1984, Brasília. **Anais...**, Brasilia: Embrapa Cerrado. p. 419-449.

SANTOS, J. Z. L.; NETO, A. E. F.; DE RESENDE, Á. V.; CARNEIRO, L. F.; CURI, N.; DA SILVA MORETTI, B. Resposta do feijoeiro à adubação fosfatada em solos de cerrado com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 193-202, 2011.

SAVY FILHO, A. Mamona. In: RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. p. 201.

SCHLINDWEIN, J. A.; GIANELLO, C. Doses de máxima eficiência econômica de fósforo e potássio para culturas cultivadas no sistema de plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 85, p. 20-25, 2005.

SEGATELLI, C. R. **Produtividade da soja em semeadura direta com antecipação da adubação fosfatada e potássica na cultura da Euleunice coracana**: Produtividade da soja em semeadura direta com antecipação da adubação fosfatada e potássica na cultura da Euleunice coracana. 2004. 79 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - USP, Piracicaba, 2004.

SILVA, H. R. F.; AQUINO, L. A.; BATISTA, C. H. Efeito residual do adubo fosfatado na produtividade do girassol em sucessão ao algodoeiro. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 5, 2011.

SINCLAIR, J. B. Soybeans. In: BENNETT, W. F. (Ed.). **Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants**. APS ed. Saint Paul: American Phytopathological Society, 1993. p. 99-103.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. p. 147-168.

SOUSA, D. M. G.; REIN, T. A.; LOBATO, E.; SOARES, W., Eficiência agronômica de fosfatos naturais reativos na região dos cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DE SOLO,1999, Brasilia. **Anais ...** CD-ROM.

YAMADA, T.; E ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. 790 p.