

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - *CAMPUS* RIO VERDE. PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA

NÍVEIS DE ADUBAÇÃO FOSFATADA MINERAL E
ORGANOMINERAL NA CULTURA DO MILHO

Autor: Fernando Luiz Cabral
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira
Coorientador: Prof. Dr. Frederico Antônio Loureiro Soares

RIO VERDE - GO
DEZEMBRO - 2016

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - *CAMPUS* RIO VERDE PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA

NÍVEIS DE ADUBAÇÃO FOSFATADA MINERAL E
ORGANOMINERAL NA CULTURA DO MILHO

Autor: Fernando Luiz Cabral
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira
Coorientador: Prof. Dr. Frederico Antônio Loureiro Soares

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – *Campus* Rio Verde – Área de concentração Produção Vegetal Sustentável do Cerrado.

RIO VERDE - GO
DEZEMBRO – 2016

A minha esposa Marilei Nalin Cabral;
Ao meu filho Luiz Augusto Nalin Cabral;
Ao meu orientador Marconi Batista Teixeira;
Aos meus avós José Joaquim Cabral e
Delaides Furquim Cabral

OFEREÇO

Aos meus pais Célio Luiz da Silva e Maria Irene Cabral da Silva.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por sua misericórdia e compaixão, permitindo a cada dia uma nova chance de viver e lutar para alcançar meus objetivos; aos pastores da Igreja Internacional da Graça de Deus, foi nesse meio que aprendi o valor da minha fé.

A toda minha família, em especial Pai, Mãe, Irmã e Avós, que nunca mediram esforços para que eu seguisse firme nos estudos, proporcionando educação, um lar confortante e seguro, onde sempre busquei minhas forças e inspirações para seguir em frente com todos os projetos de vida.

A minha esposa Marilei Nalin Cabral, apesar das dificuldades, aceitou minhas escolhas, sempre me apoiando, dedicando seu tempo e atenção para que meus sonhos fossem alcançados e a elaboração deste trabalho fosse possibilitada.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira, pessoa extremamente sábia e humana, que sempre me deu total liberdade p/ que eu pudesse expressar minhas ideias e colocá-las em prática, e sempre que possível me atendeu e ouviu com extrema atenção, sendo essencial para elaboração e condução deste trabalho.

Ao meu amigo e Prof. Dr. José Milton Alves, que com sua atenção e discernimento foi de extrema importância p/ que eu encontrasse as pessoas certas dentro da instituição, também sendo fundamental na realização deste trabalho.

Ao meu amigo, e colega de mestrado Alefe Viana, que durante maior parte de condução do estudo, esteve presente e me auxiliou em todas as avaliações e na realização do mesmo, tornando parte fundamental deste trabalho.

À Minorgan Fertilizantes, por disponibilizar os produtos utilizados em parte neste trabalho.

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano Campus Rio Verde, por me proporcionar a oportunidade de cursar o mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia, e também por ceder o espaço físico e materiais para a realização da pesquisa.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS-
AGRONOMIA**

**NÍVEIS DE ADUBAÇÃO FOSFATADA MINERAL E
ORGANOMINERAL NA CULTURA DO MILHO**

Autor: Fernando Luiz Cabral
Orientador: Dr. Marconi Batista Teixeira

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de
Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em 16 dezembro de 2016.

Dr. Edson Cabral da Silva
Avaliador interno
DCR/IF Goiano – Campus
Rio Verde

Prof. Dr. Leonardo Nazário
Silva dos Santos
Avaliador externo
IF Goiano – Campus Rio Verde

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira
Presidente da banca
IF Goiano – Campus Rio Verde

BIOGRAFIA DO AUTOR

Fernando Luiz Cabral, nascido em Rio Verde - GO em 06 de agosto de 1977. Concluiu o ensino médio na Escola Agrotécnica Federal de Rio Verde / GO. Graduado em Agronomia no ano de 1999, pela Universidade de Rio Verde UNIRV. Em 2014 ingressou na pós-graduação *Stricto Sensu*, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde – GO, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, linha de pesquisa, Tecnologias sustentáveis em sistemas de produção e uso do solo e água. Em dezembro de 2016, defendeu sua dissertação, parte indispensável para a obtenção do diploma de Mestre em Ciências Agrárias – Agronomia.

ÍNDICE GERAL

	Página
ÍNDICE DE TABELAS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
INTRODUÇÃO.....	16
OBJETIVOS.....	18
REVISÃO DE LITERATURA	19
MATERIAL E MÉTODOS.....	29
RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Resumo da análise de variância para diâmetro do caule (DC), altura de planta (AP) e produtividade de matéria seca (PMS); teor de fósforo na planta (TFP) do milho, submetido a diferentes fontes superfosfato simples e doses de adubação fosfatada; índice relativo de eficiência agrônômica do superfosfato simples (EA)..... 34

Tabela 2. Resumo da análise de variância para diâmetro do caule (DC), altura de planta (AP) e produtividade de matéria seca (PMS) do milho, submetido a diferentes fontes de superfosfato triplo e doses de adubação fosfatada..... 38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Altura de planta do milho em função de diferentes doses de superfosfato simples.....	35
Figura 2. Produtividade de matéria seca do milho em função de diferentes doses de superfosfato simples.....	36
Figura 3. Índice relativo de eficiência agrônômica do superfosfato simples em função das fontes de fósforo dentro de cada nível de dose (A) e em função das doses dentro de cada nível das fontes (B).....	37
Figura 4. Diâmetro de caule do milho em função de diferentes doses de superfosfato simples.....	38
Figura 5. Altura de planta do milho em função de diferentes doses de superfosfato triplo.....	39
Figura 6. Produtividade de matéria seca do milho em função de diferentes doses de superfosfato triplo.....	40
Figura 7. Teor de fósforo na planta de milho em função das diferentes fontes de SFT dentro de cada dose.....	40
Figura 8. pH do solo inicial e final após aplicação de adubo fosfatado mineral e organomineral na forma de superfosfato simples e triplo.....	41
Figura 9. Matéria orgânica do solo inicial e final após aplicação de adubo fosfatado mineral e organomineral na forma de superfosfato simples e triplo.....	42
Figura 10. Fósforo disponível no solo (inicial e final) após aplicação de adubo fosfatado mineral e organomineral na forma de superfosfato simples e triplo.....	43

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo / Sigla	Significado	Unidade de Medida
AP	Altura de planta	cm
Al	alumínio	mmolc dm ⁻³
Ca	cálcio	mmolc dm ⁻³
CC	capacidade de campo	L
CTC	capacidade de troca catiônica	
CTP	capacidade tampão do fosfato	
DC	diâmetro de colmo	mm
EA	eficiência agronômica	
F ⁻		
FAS	fosfato acidulado sulfúrico	
Fe	ferro	mg dm ⁻³
FCP	capacidade tampão	
H	hidrogênio	mmolc dm ⁻³
ha	hectares	
H ₃ PO ₄ ⁻		
H ₃ PO ₄		
HPO ₄		
I	intensidade	
K	potássio	mmolc dm ⁻³
L	litros	
Mg	magnésio	mmolc dm ⁻³
M. O.	matéria orgânica	%
pH	potencial de hidrogênio	%
Prem	fósforo remanescente	
PO ₄		
Pi	fósforo inorgânico	
P	fósforo	mg / dm ⁻³
Po	fósforo orgânico	
Q	quantidade	
SFS	superfosfato simples	
SFT	superfosfato triplo	
SO ₄ ²⁻		
V	saturação por bases	%
g	gramas	
t	toneladas	
kg	quilograma	
%	porcentagem	
cm ²	centímetro quadrado	
cm ³	centímetro cúbico	
mmolc dm ⁻³	milimol por decímetro cúbico	
dm ³	decímetro cúbico	
mg dm ⁻³	miligramas por decímetro cúbico	

RESUMO

CABRAL F. L. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, dezembro 2016. **NÍVEIS DE ADUBAÇÃO FOSFATADA MINERAL E ORGANOMINERAL NA CULTURA DO MILHO**. Orientador: Dr. Marconi Batista Teixeira. Coorientador: Dr. Frederico Antônio Loureiro Soares.

O fósforo é o elemento mais empregado na implantação das grandes culturas, e muito importante no início do desenvolvimento e crescimento das plantas, sendo assim, estudos com o emprego de diferentes fontes fosfatadas podem influenciar na compreensão de maior ou menor aproveitamento desse elemento pela planta, já que o mesmo apresenta várias particularidades sendo uma delas a de estar suscetível ao processo de adsorção. Considerando principalmente esse evento o uso de fertilizantes organominerais podem contribuir para maior aproveitamento desse elemento pela planta. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência agrônômica relativa a diferentes níveis de SSP (superfosfato simples) e SFT (superfosfato triplo) mineral e organomineral na cultura do milho. O experimento foi realizado em vasos de 20 dm dispostos a céu aberto, no Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde - GO. Foi utilizada uma classe de solo classificada como Latossolo Vermelho Distrófico e efetuada a calagem visando elevar a 60% o valor de saturação por bases. O estudo foi dividido em dois experimentos e o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso. O experimento 1 foi analisado em esquema fatorial 5x2 com quatro repetições, constituídos por cinco níveis de adubação fosfatada (0; 277,5; 555; 832,5; 1110kg ha⁻¹ do produto, equivalente para vaso) e duas fontes de fertilizantes fosfatados (Superfosfato Simples Mineral, 00-18-00 e Superfosfato Simples Organomineral, 02-10-01). O experimento 2 foi analisado em esquema fatorial 5 x 2 com quatro repetições, constituídos por cinco níveis de adubação fosfatada (0; 108,5; 217; 325,5; 434 kg ha⁻¹

do produto, equivalente para vaso) e duas fontes de fertilizantes fosfatados (Superfosfato Triplo Mineral, 00-46-00 e Superfosfato Triplo Organomineral, 02-20-02). Para estes a colheita foi realizada aos 45 dias após a emergência. No solo, foi realizada a determinação química de P, pH e teor de MO (matéria orgânica). Nas plantas, foram realizadas avaliações de produção de massa seca da parte aérea, e acúmulo de fósforo. Em relação ao SFS (superfosfato simples), os fatores (fontes e doses), não influenciaram o teor de P na planta, resultado que pode ter sido determinado pela matéria orgânica presente na fonte organomineral, apesar de apresentar menor concentração de P_2O_5 . Para o SFT (superfosfato triplo), a interação entre os fatores (fontes e doses), influenciaram o teor de P na planta, que pode ser justificado, pela maior concentração de P_2O_5 nessa fonte. No que diz respeito ao acúmulo de P no solo, a fonte que proporcionou maior resultado foi o organomineral, o que é decorrente do bloqueio dos sítios de adsorção do P, em função da presença de matéria orgânica nessas fontes.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção de fósforo; Superfosfato simples; Superfosfato triplo.

ABSTRACT

CABRAL F.L. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, December 2016.
LEVELS OF MINERAL AND ORGANOMINERAL PHOSPHATE FERTILIZATION IN CORN CULTURE. Advisor: Dr. Marconi Batista Teixeira.
Co-advisor: Dr. Frederico Antônio Loureiro Soares.

Phosphorus is the most used element in the implantation of large crops, and very important in the beginning of the development and growth of the plants. Therefore, studies using different phosphate sources can influence the understanding of a greater or lesser use of this element by the plant, since it presents several particularities which one of them is to be susceptible to the adsorption process. Considering mainly this event the use of organomineral fertilizers can contribute to a greater use of this element by the plant. The present work had as objective to evaluate the agronomic efficiency related to different levels of SSP (simple superphosphate) and SFT (triple superphosphate) mineral and organomineral in the maize crop. The experiment was carried out in 20 dm open air vessels, at the Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde - GO. A soil class classified as Red Latosol was used and liming was performed aiming to raise the saturation value by 60%. The study was divided in two experiments and the experimental design was a randomized block design. Experiment 1 was analyzed in a 5x2 factorial scheme with four replicates, consisting of five levels of phosphate fertilization (0; 277.5; 555; 832.5; 1110 kg ha⁻¹ of product, pot equivalent) and two sources of phosphate fertilizers (Simple Superphosphate Mineral, 00-18-00 and Simple Superphosphate Organomineral, 02-10-01). Experiment 2 was analyzed in a 5 x 2 factorial scheme with four replicates, consisting of five levels of phosphate fertilization (0; 108.5; 217; 325.5; 434 kg ha⁻¹ of the product, pot equivalent) and two sources of phosphate fertilizers (Triple Mineral Superphosphate, 00-46-00 and Triple

Organomineral Superphosphate, 02-20-02). For these the harvest was performed at 45 days after emergence. In the soil, the chemical determination of P, pH and OM content (organic matter) was performed. In the plants were evaluated dry mass production of shoot, and accumulation of phosphorus. In relation to SFS (simple superphosphate), the factors (sources and doses) did not influence the P content in the plant, a result that may have been determined by the organic matter present in the organomineral source, despite having a lower concentration of P_2O_5 . For the SFT (triple superphosphate), the interaction between the factors (sources and doses), influenced the P content in the plant, which can be justified by the higher concentration of P_2O_5 in this source. As regards P accumulation in the soil, the source that provided a greater result was the organomineral, which is due to the blockade of the adsorption sites of P, as a function of the presence of organic matter in these sources.

KEY WORDS: phosphorus adsorption; Superphosphate simple; Triple superphosphate

INTRODUÇÃO

A adubação é um dos fatores que afeta diretamente o custo de produção e é limitante da produtividade agrícola. O fósforo (P) é o nutriente que mais influencia o início do desenvolvimento e crescimento das plantas. Ao contrário dos demais nutrientes, a adubação com P assume a particularidade de aplicar quantidade várias vezes maior do que aquela exigida pelas plantas, pois se torna necessário satisfazer a exigência do solo, saturando os componentes responsáveis pela fixação do P (FURTINI NETO et al., 2001). A expansão das áreas de cultivo, o esgotamento das reservas mundiais de P e a necessidade de aplicar quantidades maiores que a exigida pela planta são fatores que tendem a manter elevação constante de preço dos fertilizantes fosfatados. Esses fatores justificam a busca de maior eficiência nas adubações.

Ressalta-se, ainda, que as reservas mundiais de P são finitas, portanto a utilização do nutriente deve obedecer a uma filosofia de maximização da sua eficiência. Neste sentido, a ciência do solo vem estudando diferentes maneiras de melhorar a eficiência da adubação fosfatada e novas tecnologias de produção de fertilizantes vêm se destacando no cenário agrícola.

O uso de fertilizante organomineral é uma tecnologia que vem ganhando espaço, a produção de suínos e aves é intensificada em áreas concentradas, acarretando a necessidade de geração de novas tecnologias para destinar a produção de coresíduos de forma segura, e desta forma, viabilizar a sustentabilidade deste setor produtivo.

O uso desse fertilizante permite a reciclagem dos nutrientes contidos nos resíduos e que associados ao enriquecimento de nutrientes na forma mineral, permite produzir fórmulas comerciais específicas para cada cultura, aumentando a uniformidade nas concentrações e disponibilidade de nutrientes, influenciando em menor demanda nas taxas de aplicação no campo.

38 O Brasil se destaca pela grande representação econômica e tecnológica das
39 agroindústrias de aves, principalmente a região sul do país, sendo considerada uma
40 região de alta concentração de resíduos, caracterizando alta carga poluidora para o solo,
41 ar e água. Assim, é de extrema importância garantir que estes possam constituir
42 fertilizantes eficientes, visando a proteção do ambiente e elevação da produtividade das
43 culturas. A produção de organomineral agrega valor ao produto e permite que este seja
44 transportado destas regiões de alta concentração para as demais localidades.

45 O fertilizante organomineral aumenta a concentração de nutrientes, minimizando
46 as taxas de aplicação no campo e com a adição de material mineral ao material orgânico
47 aumenta a uniformidade nas concentrações e disponibilidade de nutrientes no produto
48 final. E, pela presença da matéria orgânica favorece a mobilidade do fósforo no solo.
49 Esse fertilizante possui vários atributos que possibilita o aumento na produção das
50 culturas pela ação da matéria orgânica favorecendo o melhor aproveitamento dos
51 nutrientes minerais, além de possibilitar a mobilidade do fósforo no solo. Porém há
52 carência de estudos e trabalhos sobre a dinâmica de reação do fertilizante organomineral
53 nos solos.

54 Objetivou-se com este estudo gerar informações que permitiram elucidar o
55 aproveitamento do P pela cultura do milho, e o seu residual no solo, contribuindo p/ a
56 possibilidade de menor emprego de taxas de fertilizantes minerais, avaliando a
57 eficiência da adubação mineral e organomineral, visando principalmente a
58 sustentabilidade da cadeia produtiva e a rentabilidade do empresário rural.

59

60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83

OBJETIVOS

Geral

Avaliar a eficiência da utilização e o efeito de diferentes níveis de adubação fosfatada mineral e organomineral na cultura do milho e o residual de P no solo.

Específico

Avaliar o efeito dos diferentes níveis de adubação e fontes fosfatadas no residual de fósforo no solo, acúmulo desse elemento na planta, e o índice de eficiência agronômica.

84
85
86
87
88
89
90
91

REVISÃO DE LITERATURA

92
93
94
95
96

Fósforo no solo

98

99 O fósforo é um elemento, que no ambiente tem seu ciclo bem dinâmico e
100 complexo, sendo muito vulnerável às transformações químicas. Esse elemento pode ser
101 encontrado no solo em diversas formas como precipitado com alumínio, ferro ou cálcio,
102 adsorvido aos óxidos de ferro e alumínio da fração argila, em solução, na forma
103 orgânica ou fazendo parte de compostos de baixa solubilidade.

104 Para melhor entendimento da importância do fósforo (P) na fertilidade do solo
105 e nutrição de determinada cultura como exemplo o milho, é importante o conhecimento
106 básico das formas e dinâmica do P no solo, a participação do P nos mecanismos da
107 planta bem como sua exigência nutricional ao ponto de que a cultura apresente o melhor
108 desempenho agrônômico ou mesmo o pico de produtividade de grãos e/ou de matéria
109 verde que é focada quando a finalidade é a produção de silagem.

110 O P é classificado em fosfatos lábeis e não lábeis, essa classificação é
111 dependente das formas orgânicas estabilizadas química ou fisicamente e do maior ou
112 menor grau de estabilidade dos compostos nas formas inorgânicas ligadas à fração
113 mineral. A fração lábil é caracterizada segundo Guerra et al. (1996) pelos conjuntos de
114 compostos fosfatados capazes de repor prontamente a solução do solo quando as plantas
115 ou microrganismos o absorvem, ainda, a fração lábil é dependente da mineralogia,
116 textura, grau de intemperismo do solo, teor de matéria orgânica, vegetação
117 predominante e atividade biológica.

118 Conforme Galvão & Salcedo (2009), na maioria dos solos dos trópicos úmidos
119 em condições de intenso intemperismo, ocorre redução da fração de P disponível, quase
120 sempre abaixo das exigências mínimas das culturas. Matos et al. (2006) reforçam que o
121 P tem recebido maior preocupação pela sua baixa disponibilidade natural,

122 principalmente em solos argilosos e mais intemperizados. Nestas situações, os solos
123 passam gradualmente de fonte, para dreno de P, competindo com a planta pelo P
124 adicionado nos cultivos (NOVAIS & SMITH, 1999).

125 Segundo Dechen & Nachtigall (2007), o crescimento normal das plantas é
126 estabelecido com teores de P disponível entre 1,0 e 1,5 g kg⁻¹, por outro lado, Novais &
127 Smyth (1999), verificaram que a maioria dos solos tropicais, o teor de P se encontra
128 abaixo de 0,2 mg L⁻¹, representando a concentração ideal de equilíbrio para o máximo
129 crescimento da maioria das plantas e de forma geral, 0,1%, ou seja 0,002 a 2,0 mg L⁻¹
130 de uma concentração total entre 200 a 3000 mg kg⁻¹ de P, encontra-se na solução do
131 solo.

132 Segundo Rheinheimer & Anghinoni (2002), de todo o P total do solo, 5 a 80%
133 está representado pelo fósforo orgânico (Po), sendo este a mais importante fonte de P
134 para as plantas e quando há deficiência de P a importância do Po na nutrição das plantas
135 é aumentada, resultando em baixos teores totais e, ou forte adsorção de P pelos
136 oxidróxidos de ferro e alumínio no solo.

137 A preocupação dos problemas relacionados a disponibilidade de P é que este
138 tem limitado a produção agrícola por possuir de acordo com Novais & Smyth (1999),
139 funções importantes na fisiologia das plantas, tais como, função na fotossíntese,
140 respiração, armazenamento e transferência de energia, divisão e crescimento celular,
141 dentre outras funções, ainda de acordo com Malavolta (1997), o P está presente em
142 alguns componentes estruturais das células, como nos ácidos nucleicos e fosfolipídios
143 das biomembranas, e também em componentes metabólicos móveis armazenadores de
144 energia, como o ATP.

145 O suprimento em níveis adequados de P às plantas é essencial desde os
146 estágios iniciais das plantas, pelo fato que, quando ocorre restrições na disponibilidade
147 de P no início do ciclo vegetativo das plantas, posteriormente as plantas não se
148 recuperam quanto à deficiência de P, mesmo quando os teores deste elemento são
149 aumentados a níveis adequados (GRANT et al., 2001).

150 Sabendo a importância do P na cultura do milho, é importante frisar que o
151 produtor de milho deseja sempre cultivares que apresentem produtividade satisfatória
152 quando existe condições de estresses relacionada a deficiência de P, mas que, em
153 condições ideais ou favoráveis, apresentem resposta favorável aos incrementos da
154 produção. Com isso, tem-se a importância de estudos relacionados ao melhoramento de

155 cultivares, no intuito de selecionar germoplasma tolerante à estresses abióticos, sendo
156 neste caso o fator P (FRITSCHÉ-NETO et al., 2011).

157 Com o objetivo de definir a melhor dose de P associada à máxima produção
158 econômica de grãos de milho, bem como o nível crítico P no solo e na folha, Silva et al.
159 (2014) verificaram que a dose de P_2O_5 que proporcionou a produção máxima eficiente
160 econômica de grãos foi de 120 kg ha⁻¹ combinado com a dose de 70 kg ha⁻¹ de N,
161 ainda verificaram que os níveis críticos de P no solo e na folha foram de 7,97 mg dm⁻³
162 e de 3,11 g kg⁻¹, respectivamente.

163 Na medida em que a disponibilidade do P varia em função dos tipos de solo,
164 Broggi et al (2014), avaliaram os níveis críticos de P na parte aérea de plantas de milho
165 cultivado em solo com predomínio de argilominerais 2:1, comparativamente a solo
166 hemático e, ainda as relações entre esses níveis críticos e a adsorção de P em diferentes
167 tempos de contato desse elemento com os solos, dessa forma, verificaram que as plantas
168 de milho foram mais eficientes na utilização de P no Nitossolo Vermelho de maior
169 capacidade máxima de adsorção de P e os níveis críticos da parte aérea apresentaram
170 decrescentes com o aumento do tempo de incubação no Vertissolo Ebânico de menor
171 capacidade máxima de adsorção de P.

172 O solo pode comportar-se como fonte ou dreno de P. Quando este é capaz de
173 suprir as necessidades de P que a planta demanda, comporta-se como fonte de P.
174 Quando compete fortemente com as plantas fixando a maior parte do P adicionado ao
175 solo, tem o comportamento de dreno de P. Solos menos intemperizados se comportam
176 como fonte, e solos bem intemperizados tendem a comportar-se como dreno e competir
177 com as plantas pela fixação do P adicionado via adubação (NOVAIS; SMYTH, 1999).
178 A atuação de fatores e os processos de formação do solo sobre o material de origem
179 alteram os minerais primários, produzindo novos compostos, e sua natureza depende do
180 grau de intensidade de intemperismo (ANJOS et al., 1999), e o solo tende a tornar-se
181 mais eletropositivo e com elevada capacidade de adsorver ânions, como os fosfatos.

182 Os fosfatos independentemente da sua natureza química, são classificados
183 conforme a facilidade com que repõe a solução do solo, que de acordo com o maior ou
184 menor grau de estabilidade, são enquadrados como fósforo lábil, moderadamente lábil e
185 pouco lábil, e a fração lábil é representada pelos compostos fosfatados capazes de repor
186 rapidamente a solução do solo, quando ele é absorvido por plantas ou por
187 microrganismos. Essas formas lábeis sofrem transformações, com o tempo, aumentando
188 as formas não lábeis, principalmente as inorgânicas inativas, sendo essas menos

189 disponíveis, e ocorrem por meio de reações de compostos insolúveis precipitados ou
190 pela difusão para o interior dos óxidos (ENGELSTAD; TERMAN, 1980; BARROW,
191 1985; RAIJ, 1991).

192 Para efetuar a correta adubação fosfatada é necessário determinar o teor de P
193 disponível no solo, sendo que as principais análises químicas para avaliação da
194 fertilidade do solo e posterior recomendação da adubação quantificam a quantidade
195 necessária para aplicação deste elemento. A disponibilidade do P é resultante da ação
196 dos fatores Intensidade (I), Quantidade (Q) e Capacidade Tampão (FCP) desse nutriente
197 no solo. O teor de P indicado nas análises químicas de solo feitas na maioria dos
198 laboratórios de rotina do país fornece uma ideia apenas do valor Q, portanto para a
199 correta interpretação da capacidade de suprimento de P para as plantas se faz necessário
200 o conhecimento do fator de capacidade do P (FCP) do solo, que pode ser estimado a
201 partir de características químicas e físicas do solo, como teor de argila e P
202 remanescente. Segundo Sousa e Lobato (2003) o uso do teor do P remanescente (Prem),
203 tem sido um bom estimador da capacidade de fixação e da capacidade tampão de fosfato
204 (CTP) dos solos e tem sido útil na recomendação da adubação fosfatada.

205

206 **Adsorção de Fósforo no Solo**

207

208 O termo adsorção é complexo e indica tanto reações químicas quanto físicas
209 que ocorrem em interfaces (superfícies de separação de duas fases). No solo, os óxidos
210 são considerados superfície e denominados adsorventes. Os íons de fosfato, por
211 exemplo, são considerados substância e denominados adsorvatos. As reações ocorrem,
212 pois a superfície geralmente possui porosidades, ou apresenta imperfeições ou
213 microporos, facilitando a difusão do adsorvato para o interior (SANYAL, S.K ; DE
214 DATTA, 1991). O termo sorção abrange os fenômenos de adsorção e dessorção. O P
215 inicialmente adsorvido a superfície de agregados do solo, com o tempo, é difundido
216 para seu interior, esse processo é lento e pode levar anos para atingir o equilíbrio. Esse
217 fenômeno é responsável pela diminuição da disponibilidade de P de um solo recém-
218 fertilizado, fator influenciado pelo o aumento do tempo de contato do P de um solo
219 (BARROW, 1985).

220 Segundo McBride (1994) a adsorção é embasada na transferência de íons da
221 solução do solo para a fase sólida, e esse processo consiste nas principais formas de
222 interação dos fosfatos com a fase sólida do solo: óxidos, hidróxidos, argilominerais,

223 carbonatos e matéria orgânica (PIERZYNSKI et al., 2000). Os diferentes mecanismos
224 bem como os níveis energéticos em que ocorre esse processo determinam o grau de
225 reversibilidade de suas reações (CAMARGO, 2001). Por ser um fenômeno de
226 superfície, o tamanho médio dos constituintes mineralógicos da fração argila do solo é
227 destaque, segundo Souza (1991), sendo considerado como um dos principais fatores que
228 influenciam essas reações. De acordo com Bahia Filho (1983) e Souza (1991), a
229 adsorção de P é maior em solos em que ocorre alta incidência de goethita em relação à
230 hematita, e isso pode ser explicado em parte pelo tamanho da goethita em relação à
231 hematita.

232 Devido à elevada acidez e presença de grandes proporções de argila
233 sexquioxídica nos solos tropicais, a deficiência de P é alta, ocorrendo o aumento da
234 adsorção de fosfatos e a formação de precipitados com Fe e Al, diminuindo a
235 disponibilidade de P para as plantas (SANCHEZ; SALINAS, 1981). Diversos autores
236 demonstraram que, em solos ácidos, os óxidos de ferro da fração argila são os principais
237 responsáveis pela adsorção de fósforo em detrimento de outros minerais, como a
238 gibbsita e a caulinita (HINGSTON ET AL., 1972; PARFITT 1978; SANCHEZ;
239 UEHARA, 1980; BAHIA FILHO, 1982; RESENDE, 1983; SANYAL; DE DATTA,
240 1991; SOUZA et al., 1991; CURI, 1993). O processo de troca de ligantes do complexo
241 de superfície dos minerais de argila, como óxidos de ferro e alumínio, em que hidroxilas
242 e/ou moléculas de água previamente coordenadas aos cátions Fe^{+3} ou Al^{+3} são
243 deslocadas pelos íons $H_2PO_4^{-}$, formando um novo complexo de superfície é
244 denominado adsorção (HINGSTON et al., 1972).

245 Precipitação é a reação de P com as formas iônicas de Al e de Fe em solos
246 ácidos ou a Ca^{2+} em solos neutros ou calcários, formando compostos de composição
247 definida e pouco solúveis (SAMPLE et al., 1980), gerando nova fase ou composto
248 definido. Sposito (1984) descreve como processo tridimensional, diferente da adsorção
249 que é bidimensional, e esses dois mecanismos de retenção de P pelo solo são de difícil
250 distinção e ambos são descritos pelo mesmo modelo matemático.

251 A adição antropogênica de P no solo, por meio da adição de fertilizantes
252 agrícolas pode elevar o grau de saturação da solução, favorecendo as reações de
253 precipitação dos ortofosfatos com íons de Fe, Al e Ca com formação de minerais
254 amorfos desses compostos (REDDY et al., 2005), com diferentes graus de solubilidade.
255 As reações dos precipitados são menos estáveis que os complexos podendo ser
256 reversíveis (PIERZYNSKI et al., 2000; McDOWELL et AL., 2001) e de acordo com

257 Reddy (2005) ao longo do tempo, devido ao “envelhecimento”, as formas podem se
258 tornar cristalinas aumentando assim sua estabilidade, tornando-se não lábil.

259 A distribuição das espécies químicas de ortofosfato na solução do solo, e sua
260 constituição na fase sólida e biodisponibilidade estão relacionadas com o pH
261 (BERKHEISER et al., 1980; PIERZYNSKI et al., 2000; REDDY et al., 2005) do meio
262 e pela presença de espécies de ânions orgânicos ou inorgânicos que competem por
263 alguns sítios de adsorção (SINGH LAL, 2005). Solos em que o pH é menor que 5,8 as
264 espécies de ortofosfatos tendem a interagir com os minerais de Fe e Al e acima desse
265 valor com os minerais Ca e Mg (SHARPLEY et al., 1995), sendo que a
266 biodisponibilidade e a movimentação deste elemento no solo ocorre, em valores de pH
267 entre 6 e 7 (McDOWELL, 2004).

268 As formas orgânicas de fósforo agem como base de Lewis e podem ser
269 adsorvidas aos grupos funcionais de superfície dos compostos inorgânicos do solo,
270 como os argilominerais, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, com diferentes
271 energias de ligação, ficando ou não disponíveis ou não à mineralização (PELLEGRINI,
272 2005). A biodegradação das espécies orgânicas de P libera P orgânico dissolvido, o
273 qual, com o tempo é convertido em formas inorgânicas (PIERZYNSKI et al. 2000). O
274 fósforo inorgânico pode, então, ser imobilizado ou absorvido pelos microrganismos e
275 plantas, reduzindo temporariamente sua disponibilidade no meio (SINGH et al., 2005)
276 e posteriormente, também ser liberado para a solução com a morte desses organismos
277 (PIERZYNSKI, 2000), ou ainda ser adsorvido à matéria inorgânica e orgânica do solo.

278 A matéria orgânica do solo possui caráter aniônico, e a adsorção do ortofosfato
279 quando ocorre é também por intermédio de cátions como Ca, Al, e Fe que estão retidos
280 em sua superfície (McBRIDE, 1994; GUPPY et al., 2005). Devido essa característica, a
281 adição de material orgânico em solos ácidos pode contribuir para reduzir a adsorção do
282 fósforo, a decomposição desse material favorece a produção de OH⁻, que compete com
283 os íons fosfatos pelos sítios de adsorção; os íons hidroxilas contribuem para aumentar o
284 pH do meio e nestas condições a interação do fosfato com os íons metálicos Fe e Al
285 diminui; a mineralização da matéria orgânica libera SO_4^{2-} e F^- , compostos estes que
286 apresentam alta afinidade com Al e Fe e dessa forma contribuem para liberação do
287 fosfato para o meio; os ácidos orgânicos liberados na decomposição da matéria orgânica
288 solubilizam o fosfato de formas lábeis, deixando-o disponível (NOVAIS, R. F;
289 SMYTH, 1999; IYAMUREMYE, 1996).

290 A quantificação da relação P na solução por P na fase sólida pode ser obtida,
291 em laboratório, por meio de isotermas de adsorção. Segundo Sousa e Lobato (2003), em
292 geral, quanto maior o teor de argila, maior a quantidade de P retida na fase sólida e,
293 consequentemente, o teor de P na solução do solo será menor.

294

295 **Eficiência Agronômica de Fertilizantes Fosfatados Minerais e Organominerais**

296

297 A eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados é influenciada por
298 características intrínsecas do solo, que destacam a capacidade de adsorção, quantidade e
299 tipo de argila, pH, teor de matéria orgânica e teores totais e biodisponíveis de P
300 (LARSEN, 1967; SANCHEZ, P. A.; UEHARA, 1980. CHIEN, S. H.; HAMMOND,
301 1989). Por isso a eficiência da adubação fosfatada em solos tropicais normalmente é
302 muito baixa, caracterizada pela forte tendência do P aplicado ao solo de reagir com
303 substâncias formando compostos de baixa solubilidade principalmente em solos em que
304 há predomínio de minerais sesquióxidos (BULL et al., 1998; NOVAIS; SMYTH, 1999).
305 Esses fatores implicam no aumento da quantidade de P aplicado ao solo, em geral,
306 maior que a necessidade da cultura, é fundamental saturar os compostos responsáveis
307 pela fixação do P para que este possa ter uma concentração que atenda as demandas da
308 cultura (FURTINI NETO, 2001).

309 Além das características intrínsecas do solo os fatores relacionados à natureza
310 do fertilizante também influenciam na eficiência agronômica. Esses fatores estão
311 relacionados a composição, mineralogia/cristalografia da rocha fosfática, grau de
312 acidulação, solubilidade, granulometria dos fertilizantes (SAMPLE, E. C.; SOPER;
313 RACZ, 1980). Portanto a eficiência agronômica dos adubos fosfatados é influenciada
314 pelas fontes de fosfato, propriedades do solo, modos de aplicação e espécies vegetais
315 (CHIEN, S. H. & MENON, 1995). Quando estes são adicionados ao solo, ocorre a
316 dissolução e grande parte fica retida na fase sólida, gerando compostos menos solúveis,
317 sendo apenas uma parte disponível e aproveitada pelas plantas (SOUSA et al, 2004),
318 ocasionando a baixa eficiência da adubação. Além disso, a dose, a fonte, a
319 granulometria e a forma de aplicação do fertilizante fosfatado também influenciam
320 nesse processo (SOUZA et al., 2004).

321 O fósforo no solo, como fonte antropogênica, pode ser adicionado na forma de
322 adubos minerais ou por resíduos orgânicos, que agregam quantidades significativas de P
323 solúvel para o sistema (SCHERER, H. W. & SHARMA, 2002; VERMA et al., 2005),

324 sendo necessária a identificação do P destes, forma orgânica ou inorgânica, para
325 compreender a dinâmica deste no solo e seus mecanismos de liberação, pelas formas
326 potencialmente biodisponíveis de P ao longo do tempo (KWABIAH et al., 2003).

327 Existem poucas reservas fosfáticas no mundo que ainda podem ser
328 classificadas como de elevada qualidade, sendo necessário utilizar fontes de menor
329 qualidade, com maior nível de impurezas, como por exemplo, aqueles associados a
330 Fe_2O_3 e Al_2O_3 . Estes fosfatos consomem parte do ácido empregado no processo de
331 acidulação da rocha, diminuindo a solubilidade e a disponibilidade de P às plantas pela
332 formação de compostos de baixa solubilidade, e com presença de impurezas insolúveis
333 no produto final, mesmo sofrendo a acidulação (LEHR, J. R.; FRAZIER, A.W., SMITH
334 1966).

335 Devido às reservas de fertilizantes serem finitas e pela necessidade do uso da
336 adubação fosfatada em alta escala, na legislação na União Europeia, o fator de
337 solubilidade foi reduzido de “fi” (solubilidade em água) 93% para 85%. No Brasil,
338 houve criação de uma nova categoria, na qual os fertilizantes podem apresentar menor
339 solubilidade do que os 85% até 92%, geralmente exigido e dependendo da fonte nos
340 fertilizantes tradicionais, mas o “fi” não pode ser inferior a 60% (BRASIL, 2007). O
341 fosfato acidulado sulfúrico (FAS) que sofre o mesmo processo de obtenção que o
342 superfosfato simples (SSP) e o fosfato acidulado fosfórico (FAF), cuja obtenção é
343 semelhante ao Superfosfato triplo (TSP) são exemplos de fertilizantes com estas
344 características que se englobam nessa nova categoria.

345 Novas tecnologias para produção de fertilizantes estão sendo desenvolvidas
346 para suprir a demanda nacional quanto à redução de importação de nutrientes.
347 Alternativas como o aproveitamento de nutrientes provenientes da pecuária, como a
348 tecnologia de produção de fertilizantes orgânicos e organominerais estão sendo testadas
349 e propostas para uso nos sistemas de produção agrícola. Principalmente em relação a
350 formas sólidas com fontes solúveis de P que estão relacionadas à tecnologia de
351 desenvolvimento dos organominerais nas formas sólida e que vem se destacando no
352 mercado.

353 Na pecuária nacional são abatidos atualmente 8 bilhões de aves de corte e 42
354 milhões de cabeças de suínos ao ano com previsão de aumento de 1,7 e 3,2% ao ano até
355 2020 (AGE/MAPA, 2010). Diante dessa perspectiva de crescimento da produção de
356 carne aumenta a responsabilidade de reutilizar seus coprodutos, com a finalidade de
357 preservar a qualidade ambiental, aliada a obtenção de maiores produtividades. Perante

358 este desafio, a alternativa tecnológica que vem ganhando mercado, em razão de seus
359 resultados agronômicos, são os fertilizantes organominerais na forma sólida.

360 A adubação orgânica interfere na disponibilidade de P para as plantas, pois
361 tende a aumentar o teor de P no solo, consequência da diminuição da fixação deste pelos
362 óxidos amorfos, como cristais de óxido de ferro e alumínio, interferem no bloqueio dos
363 sítios de fixação nesses minerais, resultando na maior disponibilidade de P às plantas
364 (TEIXEIRA, 2013), além de melhorar a qualidade do solo pelo efeito condicionador da
365 matéria orgânica (SILVA; 2008). O P proveniente de fontes orgânicas como cama de
366 aves, é dependente da espécie, fisiologia animal, composição nutricional, faixa etária,
367 duração de armazenagem, teor de umidade e tipo de material de origem (ATIA, A. M.
368 & MALLARINO, 2002; HANSEN et al., 2004).

369 O Fertilizante organomineral é definido como: “produto resultante da mistura
370 física ou combinação e fertilizantes minerais e orgânicos”, por meio da INSTRUÇÃO
371 NORMATIVA Nº 23, DE 31 DE AGOSTO DE 2005, na legislação brasileira E no
372 CAPÍTULO III da INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 25, DE 23 DE JULHODE 2009,
373 SEÇÃO V, Art. 8º, § 1º, são estabelecidas as especificações, características e garantias
374 dos fertilizantes organominerais sólidos para aplicação no solo, e estes devem
375 apresentar, no mínimo: carbono orgânico: 8%; CTC: 80 mmolc kg⁻¹; macronutrientes
376 primários isolados (N, P, K) ou em misturas (NP, NK, PK ou NPK): 10%;
377 macronutrientes secundários: 5% e umidade máxima de 30%.

378 Os fertilizantes organominerais podem melhorar a eficiência agronômica e
379 apresentam vantagens como a melhoria da interação da planta com o mineral através da
380 redução de adsorção de fósforo no sistema coloidal do solo (CHAABANE, 1994;
381 PARENT et al, 2003), minimizando a transformação de P₂O₅ em formas indisponíveis
382 para as plantas (IYAMUREMYE et al, 1996; .KHIARI, L., & PARENT, 2005),
383 melhorando o sistema radicular na planta jovem (LEE BARTLETT, 1976), e
384 modificando a oxirredução no solo (TISHKOVITCH et al., 1983).

385 A aplicação de fertilizantes orgânicos e organominerais formam durante a sua
386 mineralização ácidos húmicos e ácidos orgânicos que podem ser adsorvidos em
387 superfícies do solo diminuindo o potencial de adsorção de P por bloqueio de sítios para
388 a formação de complexos com Al, Fe e Ca, (LYAMUREMYE et al., 1996; HAYNES &
389 MOKOLOBATE, 2001; AKHTAR et AL., 2002; MKHABELA WARMAN, 2005),
390 ânions orgânicos como ácido cítrico, ácido acético málico, malônico, maleico, succínico,

391 ácido fórmico, podendo competir com ortofosfato por sítios de cargas e também
392 substituir P ligado às argilas, aumentando a disponibilidade (PYPERS et al., 2005).

393 Ácidos orgânicos de baixo peso molecular aumentam a biodisponibilidade de P
394 devido a mobilização de nutrientes, principalmente P insolúvel (STROM et al., 2002),
395 auxiliando na dissolução de compostos de P insolúveis, ligados a Ca, Fe e Al
396 (GEELHOED et al., 1999;. JONES ET al., 2003). A concentração de ácidos orgânicos
397 contidos em fertilizantes orgânicos e organominerais, varia com a origem da matéria
398 prima que irá compor o biofertilizante.

399 Fertilizante organomineral se caracteriza por apresentar potencial químico
400 reativo relativamente inferior ao fertilizante mineral, porém sua solubilização é
401 gradativa no decorrer do período de desenvolvimento da cultura, assim, sua eficiência
402 agrônômica pode se tornar maior se comparado às fontes minerais solúveis (KIEHL,
403 2008). E sua aplicação ao solo é efetuada sob duas formas: como uma formulação
404 organomineral e como uma mistura de fertilizante mineral associada ao orgânico
405 (TEJADA, M.; BENITEZ, C; GONZALEZ, 2005).

406 O objetivo desse estudo foi avaliar a eficiência de fontes fosfatadas
407 organominerais quando comparadas com fontes fosfatadas minerais, buscando a
408 maximização dessas fontes e o menor emprego de fontes minerais.

409

410
411
412
413
414
415
416
417
418

MATERIAL E MÉTODOS

419
420
421
422
423

Localização e condições edafoclimáticas

424
425
426
427
428
429
430
431

O experimento foi conduzido no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, GO, situado na latitude 17°48'19,1"S e longitude 50°54'15,8"W, com altitude média de 720 metros. O clima da região é classificado conforme Köppen (Castro Neto, 1982), como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro a maio, e com seca de junho a setembro. A temperatura média anual varia de 20 a 35 °C e as precipitações pluviométricas variam de 1.500 a 1.800 mm anuais.

432
433
434
435
436

O solo utilizado é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2013), e tende a apresentar baixos teores de fósforo e matéria orgânica. Foram coletadas amostras na camada de 0 a 20 cm e destinadas a análise química (EMBRAPA 2009) e física (EMBRAPA,2011).

437
438

Delineamento experimental

439
440
441
442
443
444
445
446

Cada unidade experimental foi constituída de um vaso plástico contendo 20 dm³ de solo com duas plantas de milho. As doses dos produtos foram determinadas obtendo a área dos vasos. O estudo foi dividido em dois experimentos e o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso. O experimento 1, foi analisado em esquema fatorial 5 x 2 com quatro repetições, constituídos por cinco níveis de adubação fosfatada (0, 277,5; 555; 832,5; 1110 kg ha⁻¹ do SFS e não do elemento P, equivalente para vaso), sendo duas fontes de fertilizantes fosfatados (Superfosfato Simples Mineral, 00-18-00 e Superfosfato Simples Organomineral, 02-10-01), totalizando 40 unidades

447 experimentais. O experimento 2, foi analisado em esquema fatorial 5 x 2 com quatro
448 repetições, constituídos por cinco níveis de adubação fosfatada (0, 108,5; 217; 325,5;
449 434 kg ha⁻¹ do SFT e não do elemento P, equivalente para vaso) sendo duas fontes de
450 fertilizantes fosfatados (Superfosfato Triplo Mineral, 00-46-00 e Superfosfato Triplo
451 Organomineral, 02-20-02), totalizando 40 unidades experimentais. Salientando que a
452 cama de frango é a base orgânica das fontes organominerais aqui utilizadas.

453 Os níveis de adubação utilizados, foram calculados a partir da concentração de
454 P₂O₅ do Super Simples Mineral (para Ex1) e Super Triplo Mineral (para Ex2), de forma
455 que as doses correspondem a 0, 50, 100,150 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

456 Desta forma, os tratamentos com fontes minerais, quando comparados com os
457 tratamentos com fontes organominerais nos dois experimentos, apresentaram maior
458 concentração de fósforo, características intrínsecas de cada fonte conforme descrito
459 acima.

460

461 **Caracterização do experimento**

462

463 No solo, foi realizada a aplicação de corretivo de acidez, em que doses foram
464 calculadas visando elevar a 60% o valor de saturação por bases (SOUSA & LOBATO,
465 2004). Após a aplicação e incorporação do calcário, estes foram umedecidos até a
466 capacidade máxima de retenção de água e incubados por mais 30 dias.

467 Os fertilizantes fosfatados foram aplicados no dia da semeadura, simulando uma
468 linha de plantio. O nitrogênio foi aplicado na forma mineral (40 Kg de N / há) para
469 todos os tratamentos, utilizando como fonte a ureia.

470 A cultura utilizada foi o milho por responder muito bem à adubação fosfatada.
471 Na semeadura, foram utilizadas três sementes por vaso do híbrido MG 652 PaverCore,
472 sendo que dez dias após a emergência foi realizado o desbaste deixando duas plantas
473 por vaso. Durante o crescimento da cultura a precipitação pluviométrica foi de 336 mm.
474 Além disso, foram efetuadas irrigações diárias mantendo o solo em sua capacidade de
475 campo. Vinte dias após a emergência foi realizada uma aplicação de N e K (80 Kg de N
476 e 60 Kg de K₂O) em cobertura, utilizando como fontes, a ureia e o cloreto de potássio
477 respectivamente. Aos quarenta e cinco dias após a emergência foi realizada a colheita.

478

479

480 **Determinações químicas nas amostras de solo**

481

482 Nestas foram determinadas o pH (5,38) em CaCl_2 ,P (9,6 mg dm^3) pela solução
483 extratora de Melich (EMBRAPA, 2009) e o teor de MO (35,6 mg dm^3).

484

485 **Produção de massa seca da parte aérea e acúmulo de fósforo**

486

487 As avaliações na planta ocorreram nas 80 unidades experimentais em que a
488 colheita nestes se deram aos 45 DAE. O diâmetro do colmo foi medido na altura de 1
489 cm utilizando um paquímetro digital e a altura das plantas foi medida com uma régua
490 milimetrada.

491 As plantas de milho foram coletadas cortando o colmo rente ao solo nos vasos.
492 Logo após, as mesmas foram acondicionadas em sacos de papel e enumeradas. Todo o
493 material vegetal da parte aérea foi seco em estufa com circulação de ar forçada com
494 temperatura de 65°C, até massa constante, para obtenção da massa de matéria da parte
495 aérea. Depois de pesado, o material foi triturado em moinho tipo Wiley e mineralizado
496 por digestão sulfúrica (TEDESCO et al., 1995) para determinar a concentração de P,
497 pelo método descrito por Malavolta et al. (1997).

498 Foi então calculado o acúmulo de fósforo na parte aérea das plantas, utilizando
499 os dados do teor de P nas plantas e a massa da matéria seca.

500

501 **Índice de eficiência agronômica**

502

503 A eficiência dos fertilizantes fosfatados foi avaliada por meio do Índice de
504 Eficiência Agronômica (IEA), calculado com base no diferencial de produção obtido
505 entre os fosfatos organominerais e os fosfatos minerais, considerando a produção média
506 de matéria seca da parte aérea das plantas (BÜLL et al., 1998). Conforme a equação 1.

507

$$IEA = \frac{\text{Produção com fosfato organomineral} - \text{produção sem P}}{\text{Produção com fosfato mineral} - \text{produção sem P}} \times 100 \quad (1)$$

508

509 Os dados coletados foram submetidos à análise de variância e quando verificada
510 significância dos fatores em estudo pelo teste F, as médias do fator fonte de fósforo
511 foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade e, para as

512 variáveis quantitativas no fator dose de adubação, foram ajustadas equações de
513 regressão linear e quadrática. Com exceção p/ as variáveis de solo (pH, P e MO).
514

515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Experimento superfosfato simples (SFS)

529
530
531
532
533
534
535
536
537

Analisando o efeito do SFS organomineral e mineral quanto as variáveis biométricas, nota-se que não houve diferença para as diferentes fontes de P. Em relação as doses houve diferença significativa para altura de planta e produtividade de matéria seca (Tabela 1). Ficou evidenciado que no que diz respeito as fontes fosfatadas mineral e organomineral, as médias foram iguais para as três variáveis que foram diâmetro de colmo, altura de planta e peso de matérias seca, e demonstra a eficiência do organomineral utilizado, que aqui apresenta concentração menor de P_2O_5 quando comparado a fonte mineral.

538
539
540
541

Cassol et al. (2010), comparando os efeitos dessas duas fontes fosfatadas para diâmetro de colmo, altura de plantas e peso de matérias seca, observou que o uso de organomineral tendo como base orgânica a cama de frango, proporcionou também o resultado de médias iguais paras as três variáveis aqui discutidas.

542
543
544
545
546
547
548
549
550

O teor de fósforo na planta não foi influenciado pelos fatores, já a eficiência agronômica do adubo foi afetada pela interação entre fonte e dose (Tabela 1). No que diz respeito ao teor de P na parte aérea das plantas, os principais fatores que afetam a absorção desse elemento pela planta são a concentração do mesmo na solução do solo, o raio médio das raízes e a taxa de crescimento radicular (ROSOLEM et al., 1994). Sendo assim, considerando que o solo utilizado nos vasos já havia disponibilidade desse nutriente, isso possibilitou regular desenvolvimento do sistema radicular em ambos os tratamentos, já que foram dados aos mesmos igual capacidade exploratória de raízes, em função também do volume igual dos vasos.

551 Em relação ao fato de a interação entre fontes e doses influenciarem o índice de
552 eficiência agrônômica, trata-se de um fator particularmente intrínseco e que está ligado
553 à característica de cada fertilizante (REZENDE et al., 2006).

554

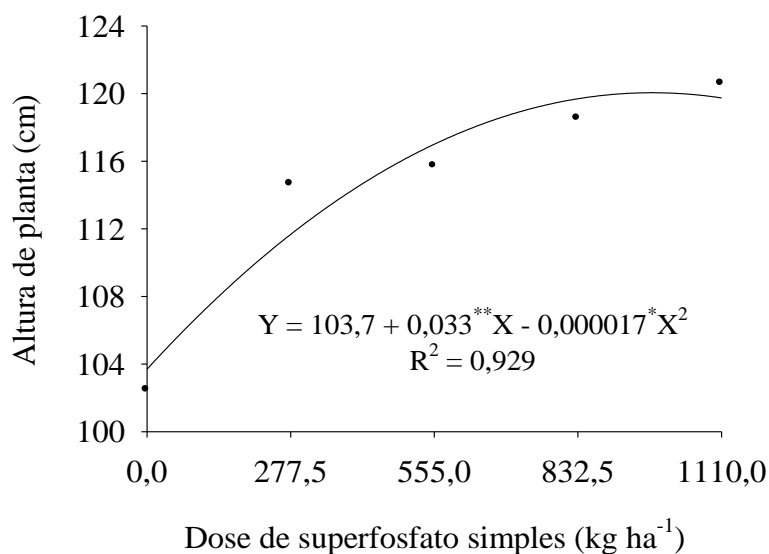
555 **Tabela 1** - Resumo da análise de variância para diâmetro do colmo (DC), altura de
556 planta (AP) e produtividade de matéria seca (PMS); teor de fósforo na planta (TFP) do
557 milho, submetido a diferentes fontes superfosfato simples e doses de adubação
558 fosfatada; índice relativo de eficiência agrônômica do superfosfato simples (EA).

FV	GL	Quadrado médio						
		DC	AP	PMS	GL	TFP	GL	EA
Fonte P	1	6,37 ^{ns}	0,51 ^{ns}	24,51 ^{ns}	1	0,005 ^{ns}	1	289,50 ^{ns}
Dose P	4	1,87 ^{ns}	399,18 ^{**}	621,62 ^{**}	4	0,03 ^{ns}	3	5,92 ^{ns}
Fonte P x Dose P	4	4,43 ^{ns}	32,55 ^{ns}	68,92 ^{ns}	4	0,04 ^{ns}	3	1079,08 [*]
Bloco	3	11,76 ^{**}	108,24 ^{ns}	100,78 ^{ns}	2	0,14 [*]	3	13,95 ^{ns}
Resíduo	27	1,92	39,96	39,25	18	0,04	21	310,08
CV (%)	-	7,19	5,53	12,37	-	15,87	-	17,34
Médias		mm	Cm	g planta ⁻¹		g kg ⁻¹		-
Organomineral		19,67 a	114,25 a	51,42 a		1,27 a		104,53 a
Mineral		18,87 a	114,47 a	49,85 a		1,27 a		98,52 a
DMS		0,90	4,10	4,06		0,08		12,95

559 ^{**} Significativo a 0,01 de probabilidade pelo teste F; ^{*} Significativo a 0,05 de probabilidade pelo teste F;
560 ^{ns} Não significativo a 0,05 de probabilidade pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra nas colunas não
561 diferem estatisticamente a 0,05 de probabilidade, pelo teste Tukey.
562

563 A altura de planta ajustou ao modelo quadrático, de modo que a dose estimada
564 de SFS responsável pela maior AP foi de 970,6 kg ha⁻¹, e a partir dessa quantidade de
565 adubo os valores foram decrescentes (Figura 1). Ou seja, os valores médios de altura de
566 plantas foram influenciados pela dose de P, sendo o pico na dose aqui citada.

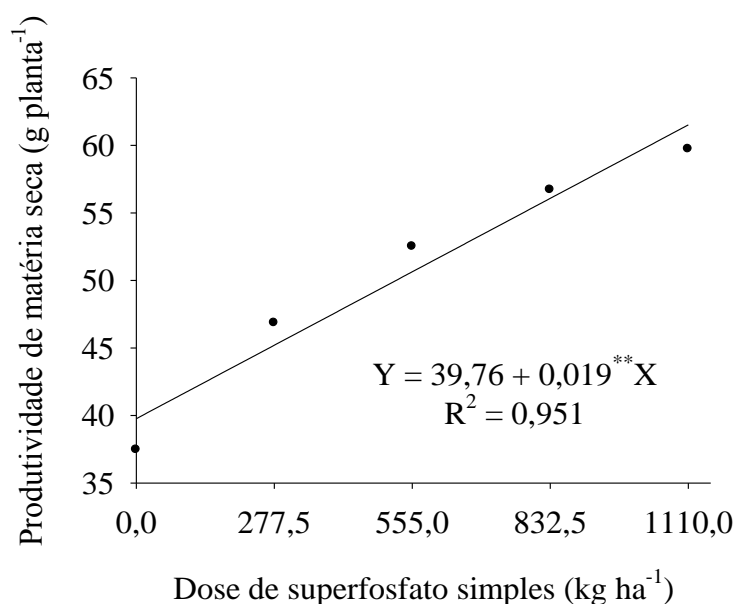
567 Alves et al (2002) observaram mediante aplicação de doses de P incrementos na
568 altura de plantas e produção de grãos. Gutierrez et al (2008) cultivando milho em
569 Latossolo Vermelho Distroférrico, observaram que a fertilização fosfatada proporcionou
570 efeito positivo na altura de plantas do milho. Em trabalhos de campo, utilizando
571 mamona, também verificaram resposta a adubação fosfatada nas características de
572 crescimento como altura e diâmetro do colmo. Severino et al. (2006).



573
 574 **Figura 1** - Altura de planta do milho em função de diferentes doses de superfosfato
 575 simples.
 576

577 Na Figura 2, pode-se observar que a medida que aumentou as doses de SFS,
 578 houve acréscimo para a produtividade de matéria seca, sendo que, para cada aumento
 579 das doses estudadas houve um incremento de 13,25% na PMS. Quando se compara a
 580 dose sem aplicação de SFS com 1110 kg ha⁻¹, o incremento é de 53,04%.

581 O peso da matéria seca da parte aérea foi influenciado pelas doses de SFS.
 582 Cassol et al. (2008) relataram maior crescimento da parte aérea da aveia pela adição de
 583 P no solo, proporcionando maior crescimento do sistema radicular, aumentando o aporte
 584 de água e nutrientes em razão da maior exploração de área, e quando estes são
 585 absorvidos em maiores gradientes, confere melhor distribuição do P no perfil, podendo
 586 ser translucado e armazenado para tecidos de raízes mais superficiais e parte aérea.



587
588
589
590

Figura 2 - Produtividade de matéria seca do milho em função de diferentes doses de superfosfato simples.

591 A eficiência agronômica do organomineral foi estatisticamente igual ao do
592 adubo mineral nas doses de 277,5, 555 e 832,5 kg ha⁻¹ de SFS, e na maior dose o
593 organomineral alcançou uma maior eficiência agronômica (Figura 3A). Houve um
594 decréscimo na eficiência agronômica do SFS mineral com o aumento das doses, já o
595 organomineral obteve resultado inverso, havendo acréscimo com o aumento das doses.
596 A maior eficiência agronômica alcançada pelo organomineral foi de 118,23 encontrada
597 na dose de 1110 kg ha⁻¹, enquanto para o mineral foi de 110,45 na dose de 277,5 kg ha⁻¹
598 (Figura 3B). O que pode ser justificado pela menor presença de matéria orgânica e
599 ácidos orgânicos, quando se trabalha com doses mais baixas de organomineral, e pode
600 refletir em menor eficiência agronômica, já que estes podem desempenhar funções de
601 bloqueio de sítios de adsorção e desprendimento de P p/ a solução do solo
602 respectivamente.

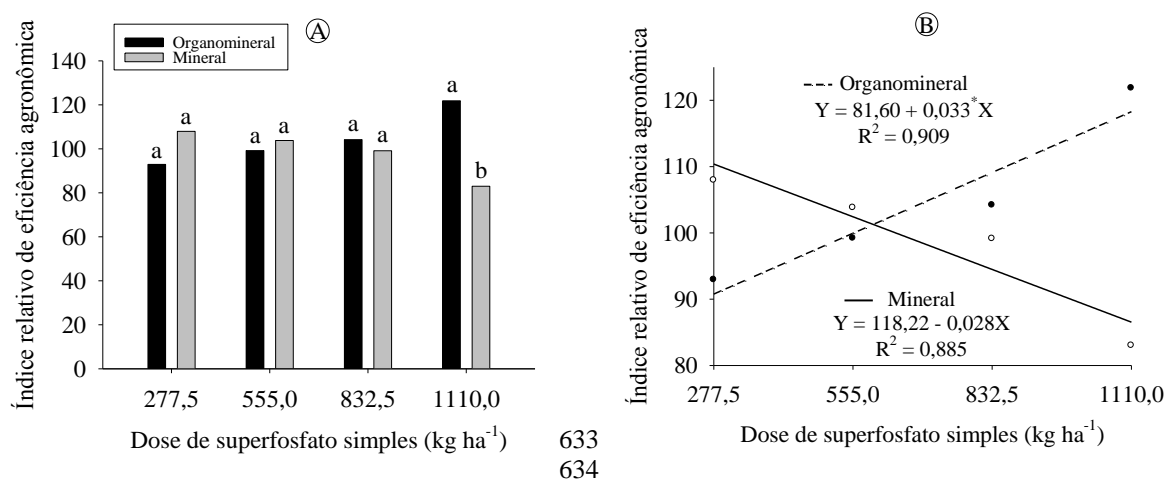
603 A equivalência do SFS organomineral em relação ao SFS mineral vem de
604 encontro com o exposto por meio do BOLETIM TÉCNICO MINORGAN N.04 DE
605 NOVEMBRO 2011, em que se afirma tanto a eficiência agronômica, quanto as
606 características, especificações e garantias dos seus fertilizantes organominerais para
607 aplicação no solo e seu posicionamento para cada cultura. Esses fertilizantes podem sim
608 apresentar melhor eficiência agronômica e vantagens como a melhoria da interação da
609 planta com o mineral através da redução da adsorção de P no sistema coloidal do solo
610 (CHAABANE,1994; PARENT et al., 2003), minimizando a transformação do P₂O₅em

611 formas indisponíveis às plantas (IYMUREMYE et al., 1996; KHIARI; PARENT,
612 2005).

613 O decréscimo na eficiência agrônômica do SFS mineral pode ser atribuído ao fato
614 desse produto apresentar uma acidez relativamente maior, que junto a presença de argila
615 sesquioxídica no solo, pode contribuir para aumento da adsorção do fosfato e a
616 formação de precipitados com Fe e Al, diminuindo a disponibilidade de P (SANCHES;
617 SALINAS, 1981), principalmente com aumento de doses. Fardeau (1996) estudando a
618 aplicação desse produto, observou também o decréscimo da eficiência agrônômica do
619 SFS mineral, em função do aumento de doses do mesmo.

620 Para o organomineral, o que se observou foi acréscimo da eficiência agrônômica
621 em função do aumento das doses, que pode ser explicado em função dos fertilizantes
622 organominerais formarem durante a mineralização ácidos húmicos e fúlvicos que
623 podem ser adsorvidos em superfícies do solo, diminuindo assim, o potencial de
624 adsorção de P por bloqueio dos sítios para a formação de complexos com Al, Fe e Ca
625 (LYAMUREMYE et al., 1996; HAYNES E MOKOLOBATE, 2001; AKHTAR et al.,
626 2002; MKHABELAWARMAN, 2005). O que corrobora com os resultados de Kiehl
627 (2008) que observou dentro de várias fontes estudadas, que o organomineral sólido foi o
628 que apresentou aumento da eficiência agrônômica, proporcionalmente ao aumento das
629 doses do mesmo.

630

631
632633
634

635 **Figura 3** - Índice relativo de eficiência agrônômica do superfosfato simples em função
636 das fontes de fósforo dentro de cada nível de dose (A) e em função das doses dentro de
637 cada nível das fontes (B).
638

639 Experimento superfosfato triplo (SFT)

640

641 Analisando o efeito do SFT organomineral e mineral quanto as variáveis
642 biométricas, nota-se que não houve diferença para as diferentes fontes de P, seguindo o
643 mesmo resultado do SFS. Em relação as doses houve diferença para todas as variáveis
644 biométricas estudadas (Tabela 2). Gomes et al. (2012) avaliando diâmetro de colmo de
645 milho, altura de plantas e peso de matéria seca 30 dias após a emergência discorreu que
646 doses de organomineral à base de cama de frango comparado c/ o fertilizante mineral
647 foi mais eficaz.

648 O teor de fósforo na planta foi influenciado pela interação entre as fontes e as
649 doses de SFT, já a eficiência agronômica do adubo não foi afetada por nenhum dos
650 fatores (Tabela 2).

651 Scherer & Sharma (2002) atestam que a baixa concentração de P disponível no
652 solo provoca diminuição no raio médio da raiz, Barber (1984) observou o aumento no
653 crescimento radicular de cultivares de milho com o aumento do suprimento de P no
654 solo. Assim, pode se afirmar que o acúmulo de P na planta está estritamente relacionado
655 com a fonte e dose utilizadas e que quando se promove melhor desenvolvimento
656 radicular isso se reflete em maior acúmulo desse elemento na planta.

657 Estudos desenvolvidos por Klepker e Anghinoni (1996) afirmam que o
658 crescimento de raízes é maior quando existe também maior disponibilidade de P para as
659 plantas, e as fontes que apresentam maior concentração de fósforo como o SFT podem
660 inferir no teor de acúmulo do mesmo na planta.

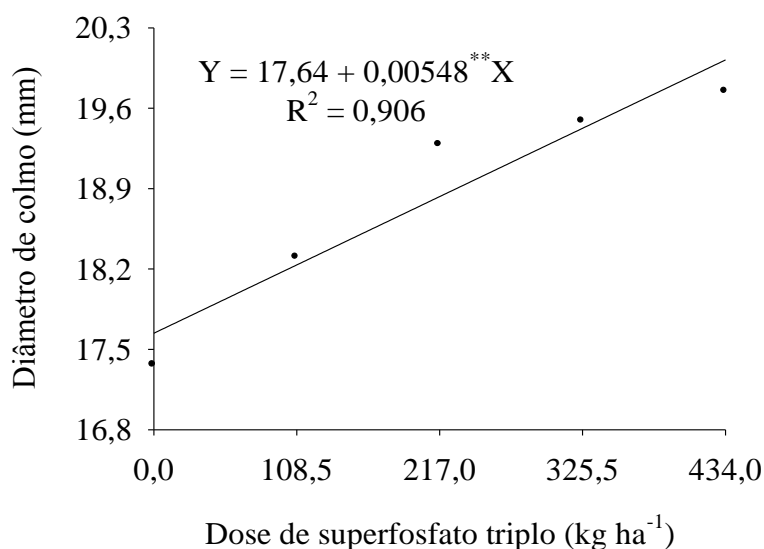
661

662 **Tabela 2** - Resumo da análise de variância para diâmetro do caule (DC), altura de
 663 planta (AP) e produtividade de matéria seca (PMS) do milho, submetido a diferentes
 664 fontes de superfosfato triplo e doses de adubação fosfatada.

FV	Quadrado médio							
	GL	DC	AP	PMS	GL	TFP	GL	EA
Fonte P	1	1,33 ^{ns}	5,62 ^{ns}	0,24 ^{ns}	1	0,00001 ^{ns}	1	270,63 ^{ns}
Dose P	4	7,81 ^{**}	455,41 ^{**}	410,83 ^{**}	4	0,04 [*]	3	19,75 ^{ns}
Fonte P x Dose P	4	1,87 ^{ns}	108,44 ^{ns}	30,82 ^{ns}	4	0,07 ^{**}	3	482,69 ^{ns}
Bloco	3	7,92 ^{**}	285,82 ^{**}	281,37 ^{**}	2	0,02 ^{ns}	3	7,12 ^{ns}
Resíduo	27	1,73	56,86	25,00	18	0,01	21	387,66
CV (%)	-	7,00	7,11	10,90	-	8,59	-	19,40
Médias		mm	Cm	g planta ⁻¹		g kg ⁻¹		-
Organomineral		19,01 a	105,70 a	45,94 a		1,22 a		98,59 a
Mineral		18,65 a	106,45 a	45,79 a		1,25 a		104,41 a
DMS		0,85	4,89	3,24		0,08		14,48

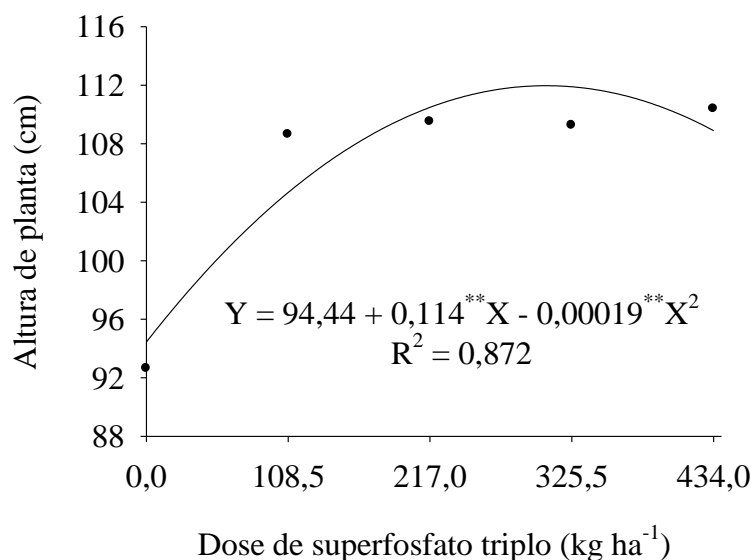
665 ** Significativo a 0,01 de probabilidade pelo teste F; * Significativo a 0,05 de probabilidade pelo teste F;
 666 ^{ns} Não significativo a 0,05 de probabilidade pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra nas colunas não
 667 diferem estatisticamente a 0,05 de probabilidade, pelo teste Tukey.
 668

669 O diâmetro de colmo seguiu um comportamento linear e crescente com o
 670 aumento das doses de SFT, sendo que a cada aumento das doses de SFT estudadas o
 671 incremento no DC foi de 0,6 mm, de forma que o maior diâmetro alcançado foi de
 672 20,02 mm pela dose de 434 kg ha⁻¹ de SFT (Figura 4). Lucena et al. (2000) observaram
 673 mediante a aplicação de doses de P incrementos no diâmetro de colmo e produção de
 674 grãos.



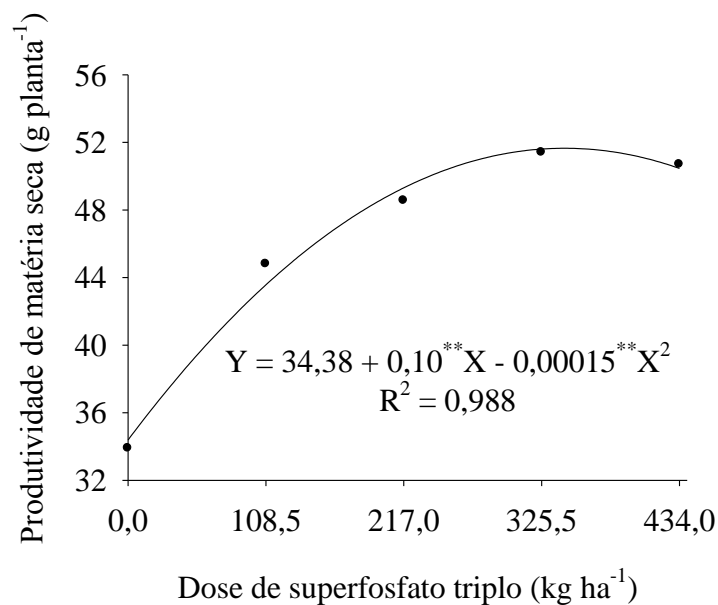
675 **Figura 4** - Diâmetro de colmo do milho em função de diferentes doses de superfosfato
 676 triplo.
 677
 678

679 A altura de planta obteve um comportamento quadrático, sendo que o maior
 680 valor alcançado por essa variável foi de 111,54 cm na dose estimada de 300 kg ha⁻¹ de
 681 SFT. A partir dessa dose o comprimento da AP foi decrescente. Os valores de altura de
 682 plantas foram diretamente influenciados pela aplicação de doses diferentes de SFT, até a
 683 determinada dose (Figura 5). Kiehl (2008) avaliando diferentes doses de P relata que o
 684 aumento das mesmas proporciona maior altura de plantas de milho.



685 **Figura 5** - Altura de planta do milho em função de diferentes doses de superfosfato
 686 triplo.
 687
 688

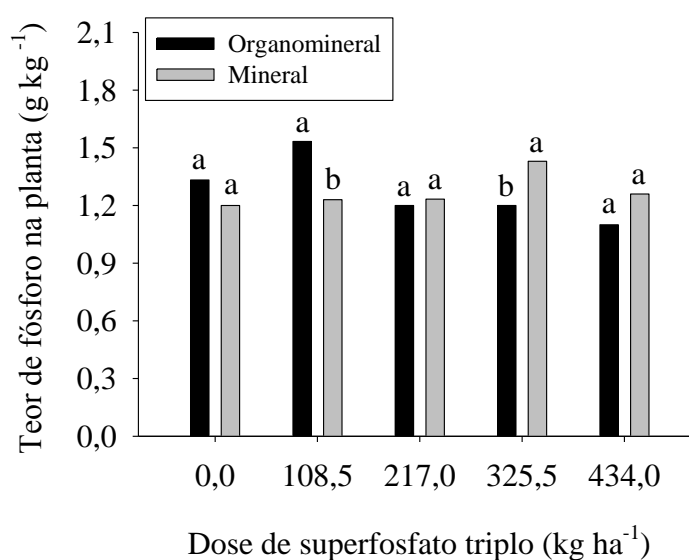
689 Na Figura 6, pode-se observar que a produtividade de matéria seca aumentou
 690 até a dose de 333,33 kg ha⁻¹ de SFT e decresceu a partir desta, de forma que ao se
 691 comparar essa dose com o tratamento sem aplicação de P, houve incremento de 16,67 g
 692 planta⁻¹ que corresponde a 48,49%. Ao avaliar a alteração na disponibilidade de P,
 693 através das aplicações de doses de fosfato, Rosolen (1995) verificou resposta acentuada
 694 da planta do milho quanto a produção de matéria seca até o equivalente a 300 Kg/ha.



695
 696 **Figura 6** - Produtividade de matéria seca do milho em função de diferentes doses de
 697 superfosfato triplo.
 698

699 O teor de fósforo na planta foi maior quando se utilizou o organomineral na dose
 700 de 108,5 kg ha⁻¹ de SFT, e quando se optou por adubar com mineral na dose de 325,5 kg
 701 ha⁻¹ (Figura 7).

702 O fertilizante organomineral se caracteriza por apresentar potencial químico
 703 reativo inferior ao fertilizante mineral, porém sua solubilização é gradativa no decorrer
 704 do período de desenvolvimento da cultura, assim, ele pode promover maior acúmulo de
 705 P na planta, mesmo em dose menor se comparado às fontes minerais solúveis (KIEHL,
 706 2008).



707
 708 **Figura 7** - Teor de fósforo na planta de milho em função das diferentes fontes de SFT
 709 dentro de cada dose.

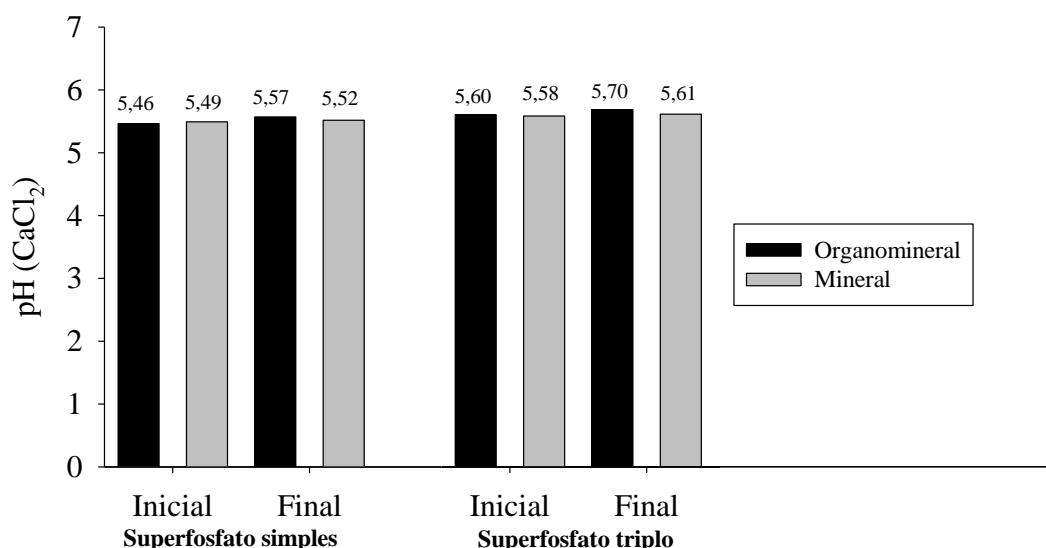
710 **Comportamento do solo**

711

712 Percebe-se que os tratamentos com organomineral não contribuíram de forma
713 expressiva p/ o acréscimo no pH do solo, quando se compara o valor inicial com o valor
714 final dessa variável (Figura 08).

715 A matéria orgânica possui caráter aniônico, e a adsorção do ortofosfato quando
716 ocorre, é por intermédio também de cátions como Ca, Fe e Al, que estão retidos em sua
717 superfície (Mc BRIDE, 1994; GUPPY et al., 2005). Devido a essa característica, a
718 adição de material orgânico em solos ácidos, pode até não influenciar no aumento
719 expressivo do pH dependendo da dose aplicada, mas contribui p/ reduzir a adsorção do
720 P, a decomposição desse material favorece a produção de OH⁻, que competem com os
721 íons fosfatos pelos mesmos sítios de adsorção, e esses íons hidroxilas poderão contribuir
722 para aumentar o pH do meio.

723



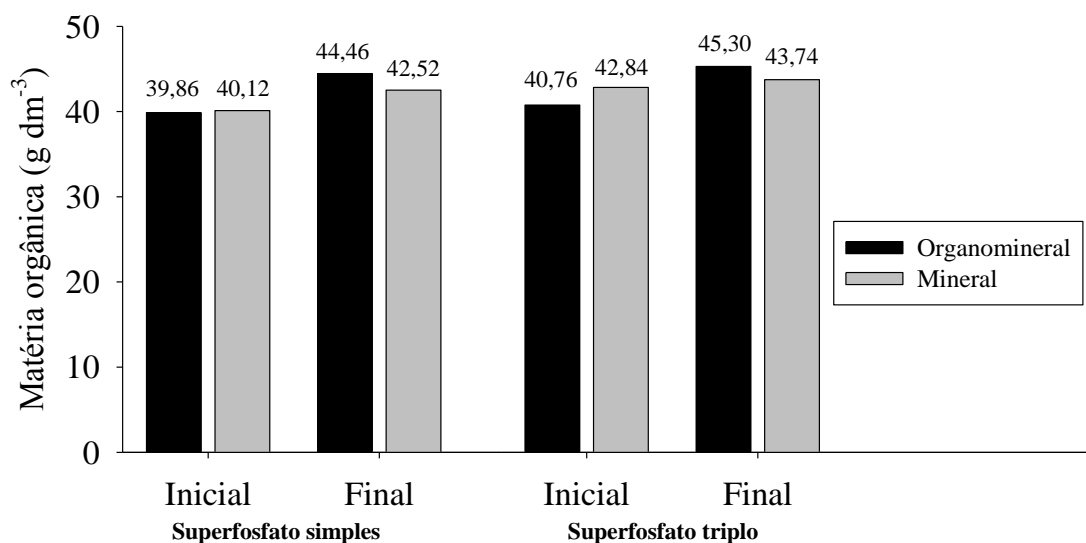
724

725 **Figura 8** - pH do solo inicial e final após aplicação de adubo fosfatado mineral e
726 organomineral na forma de superfosfato simples e triplo.

727

728 No que diz respeito ao comportamento do teor de matéria orgânica no solo
729 (final), verificou-se que nos tratamentos com organomineral os valores médios
730 observados foram superiores ao mineral (Figura 9). Rheinheimer et.al (2003),
731 trabalhando com fertilizantes minerais e organominerais, em solos com padrão elevado
732 de fertilidade, verificou aporte de carbono orgânico ocasionado por ambos tratamentos,
733 em que os maiores teores foram observados com organomineral sólido. Este
734 comportamento pode também ter sido resultado do aumento na atividade microbiana e

735 em maior intensidade de mineralização da matéria orgânica do solo (CROSS 1995),
 736 neste caso provavelmente em função do uso do organomineral.

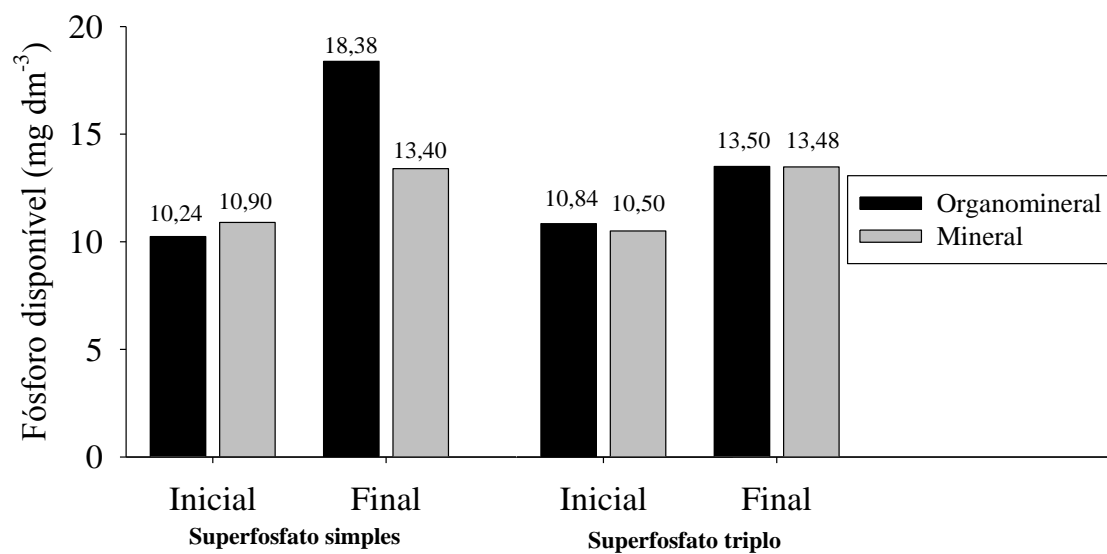


737 **Figura 9** - Matéria orgânica do solo inicial e final após aplicação de adubo fosfatado
 738 mineral e organomineral na forma de superfosfato simples e triplo.
 739

740

741 Analisando a Figura 10, é possível afirmar que principalmente para o experimento
 742 do SFS a fonte que proporcionou maior acúmulo de P disponível no valor final foi o
 743 organomineral. Infere-se que a adubação orgânica interfere na disponibilidade de P para
 744 as plantas, pois tende a aumentar o teor desse elemento no solo, consequência da
 745 diminuição da fixação deste pelos óxidos amorfos, como cristais de óxidos de ferro e
 746 alumínio, e interferem no bloqueio dos sítios de fixação desses minerais, resultando na
 747 maior disponibilidade de P às plantas (TEIXEIRA, 2013), além de melhorar a qualidade
 748 física do solo em função da adição de matéria orgânica.

749 Rheinheimer et.al (2003), em sistema de plantio direto e em solo com boa constituição
 750 de fertilidade, evidenciaram que o organomineral sólido adicionado ao solo apresentou
 751 maiores valores de P em cambissolo.



752
753
754
755

Figura 10 - Fósforo disponível no solo (inicial e final) após aplicação de adubo fosfatado mineral e organomineral na forma de superfosfato simples e triplo.

756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779

CONCLUSÃO

As doses e fontes de SFS, não influenciaram o teor de P na planta, evidenciando assim a equivalência entre as fontes.

Já as doses e fontes de SFT influenciaram o teor de P na planta, que pode ser justificado pela maior concentração de fósforo nessa fonte.

A fonte que proporcionou maior acúmulo de P no solo foi a organomineral, o que é decorrente do bloqueio dos sítios de adsorção do P, em função da presença de MO.

Em dose maior, o SFS organomineral alcançou maior eficiência agronômica.

Em relação ao SFS mineral, o mesmo apresentou decréscimo na eficiência agronômica com o aumento das doses.

780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGE, ASSESSORIA DE GESTÃO ESTRATÉGICA / MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, **Projeção do agronegócio 2009/2010 a 2019/2020**. Disponível em <http://www.agricultura.gov.br>. Acesso: 10/11/2010.

AKHTAR, M. MCCALLISTER, D. L.; ESKRIDGE, K. M. Availability and fractionation of phosphorus in sewage sludgeamended soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 33, n. 13 e 14, p. 2057-2068. 2002.

ALVES, W. A. et al. Manejo da água disponível no solo e adubação fosfatada: efeito sobre a cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande**, v. 6, n. 2, p. 247-251. 2002.

ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; RAMOS, D. P. Matéria orgânica e pedogênese. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e sub tropicais**. Porto Alegre - RS: Gênese, 1999, p. 91-116.

ATIA, A. M.; MALLARINO, A. P. Agronomic and environmental soil phosphorus testing in soils receiving liquid swine manure. **Communications in Soil Science and Plant Analysis** v. 66, p. 1696–1705. 2002.

BAHIA FILHO, A. F. C. et al. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de Latossolo do Planalto Central com diferentes

- 817 características texturais e mineralógicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**,
818 Campinas, v. 7, p. 221-226. 1983.
- 819
- 820 BAHIA FILHO, A. F. C. **Índice de disponibilidade e fósforo em Latossolos do**
821 **Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas.** (Tese de
822 Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Viçosa, MG, Universidade Federal de
823 Viçosa, 1982. 178 p.
- 824
- 825 BARBER, S.A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach.** New York:
826 Willey Interscience, 1984. p.
- 827
- 828 BARROW, N. J. Reaction of anions and cations with variable-charge soils. **Advances**
829 **in Agronomy**, New York, v. 38, p. 183-230, 1985.
- 830
- 831 BERKHEISER, V. E. et al. Partitioning of inorganic orthophosphate in soil-water
832 systems. **Critical Reviews in Environmental Control**, Gainesville, v. 10, n. 3, p. 179-
833 224. 1980.
- 834
- 835 BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº
836 05, de 23 de fevereiro de 2007. Coordenação de fertilizantes, inoculantes e corretivos
837 (CFIC). Brasília, 2007. 43 p.
- 838
- 839 BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Legislação de**
840 **Fertilizantes, corretivos, inoculantes, substratos e contaminantes.** Coordenação de
841 Fertilizantes, inoculantes e corretivos (CFIC). Brasília, 2008. 317 p.
- 842
- 843 BROGGI, F.; OLIVEIRA, A. C. de; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, E. C. A. de; ROCHA,
844 A. T. da; FREIRE, M. B. G. dos S. Níveis críticos de fósforo em milho cultivado em
845 solos de diferentes mineralogias. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 4, p. 164 – 170.
846 2014.
- 847
- 848 BÜLL, L. T.; FORLI, F.; TECCHIO, M. A.; CORRÊA, J. C. Relação entre fósforo
849 extraído por resina e resposta da cultura do alho vernalizado à adubação fosfatada em

- 850 cinco solos com e sem adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 2,
851 p. 459-470, 1998.
- 852
- 853 CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases
854 fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas,
855 v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.
- 856
- 857 CASSOL, P. C.; COSTA, A. C.; CIPRANDI, O.; PANDOLFO, C. M.; ERNANI, P. R.
858 Disponibilidade de macronutrientes e rendimento de milho em Latossolo fertilizado
859 com dejetos suíno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1911-1923,
860 2012.
- 861
- 862 CASTRO NETO, P. **Notas de aula prática do curso de agrometeorologia**. Lavras,
863 ESAL, 1982. 45 p.
- 864
- 865 CHAABANE, A. **Nitrogen transfer in peatam moniac soil plant system [Transfert**
866 **de l'azoted ansle system etour beam moniac sol plante]**. Unpublished PhD. thesis.
867 Quebec, Canada, Universite Laval, Quebec. 1994.
- 868
- 869 CHIEN, S. H.; HAMMOND, L. L. Agronomic effectiveness of partially acidulated
870 phosphate rocks as influenced by soil phosphorus-fixing capacity. **Plant and Soil**, v.
871 120, p. 159-164, 1989.
- 872
- 873 CHIEN, S. H.; MENON, R. G. Factors affecting the agronomic effectiveness of
874 phosphate rock for direct application. **Fertilizer Research**, v. 41, p. 227-234, 1995.
- 875
- 876 CROSS, A. F.; SCHLESINGER, W. H. Aliterature review and evaluation of the Hedley
877 fractionation: applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural
878 ecosystems. **Geoderma**, Amsterdam, v. 64, n. 3/4, p. 197-214, 1995.
- 879
- 880 CURI, N. (Coord.) **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de
881 Ciência do Solo, 1993.
- 882

- 883 DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In:
884 NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.;
885 CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do Solo**. Viçosa - MG:
886 SBCS/UFV, 2007 p. 92-132.
- 887
- 888 EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual**
889 **de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa
890 informação tecnológica, 2009. 627 p.
- 891
- 892 EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual**
893 **de métodos de análises de solo**. 3. ed. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa solos, 2011. 230 p.
- 894
- 895 EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema**
896 **brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de
897 Solos, 2013. 306 p.
- 898
- 899 EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema**
900 **brasileiro de classificação de solos**, 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa
901 de Solos. 2006. 306p.
- 902
- 903 ENGELSTAD, O. P.; TERMAN, L. Agronomic effectiveness of phosphate fertilizers.
904 In: KHASAWNEH, F. E. (Ed.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison:
905 American Society of Agronomy, 1980. p. 311-332.
- 906
- 907 FARDEAU, J.C. Dynamics of phosphate in soils: an isotopic outlook. **Fertility**
908 **Research**, v. 45, p. 91-100. 1996.
- 909
- 910 FRITSHE-NETO, R.; DOVALE, J. C.; CAVATTE, P. C. Melhoramento para tolerância
911 a estresses ou para eficiência no uso de recursos. In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BOREM,
912 A. (Ed.). **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Visconde
913 do Rio Branco: Suprema, 2011. p. 29-38.
- 914
- 915 FURTINI NETO, A. E. et al. Fertilidade do solo. In: GATIBONI, L. C. (Ed).
916 **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. Lavras: UFLA, 2001. 252 p.

- 917
918 GALVÃO, S. R. S; SALCEDO, I. H. Soil Phosphorus Fractions in Sandy Soils
919 Amended with Cattle Manure for Long Periods. **Revista Brasileira de Ciência do**
920 **Solo**, v. 33, p. 613-622, 2009.
- 921
922 GEELHOED, J. S.; VAN RIEMSDIJK, W. H. & FINDENEGG, G. R. Simulation of
923 the effect of citrate exudation from roots on the plant availability of phosphate adsorbed
924 on goethite. **European Journal of Soil Science**. v. 50, p. 379-390, 1999.
- 925
926 GOMES, A. J. de S.; FIORINI, I. V. A., PINHO, R. G. V.; SOUZA, V. L. de,
927 MENDONÇA FILHO, M. A. M.; NASCIMENTO, M. S. Avaliação da Nutrição e
928 Produtividade da Cultura do Milho sob Diferentes Doses e Fontes de Fósforo. **In:**
929 **XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO**, Águas de Lindóia - 26 a 30
930 de Agosto de 2012.
- 931
932 GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A
933 **Importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta**. Informações
934 Agronômicas, Piracicaba: POTAFOS, v. 95, p. 1 -5, 2001.
- 935
936 GUERRA, J. G. M. et al. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. **Pesquisa**
937 **Agropecuária Brasileira**, v. 31, p. 291-299, 1996.
- 938
939 GUPPY, C. N.; MENZIES, N. W.; MOODY, P. W.; BLAMEY, F. P. C. Competitive
940 sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. **Soil**
941 **Research**, Melbourne, v. 43, p. 189-202, 2005.
- 942
943 GUTIERREZ, R. S.; NOVELINO, J. O.; MARCHETI, M. E.; Inocêncio, M. F.;
944 VITORINO, A. C. T. Atributos de Crescimento de plantas de milho em função da
945 fertilização com fosfato e silicato. **In: FERTBIO**, Londrina, 2008. Desafios para o uso
946 do solo com eficiência e qualidade ambiental, 2008.
- 947
948 HANSEN J. C., CADE-MENUN B. J., STRAWN D. G. Phosphorus speciation in
949 manureamended alkaline soils. **Journal of Environmental Quality**. v. 33, p. 1521–
950 1527, 2004.

951

952 HAYNES, R. J.; MOKOLOBATE, M. S. Amelioration of Al toxicity and P efficiency
953 in acid soils by additions of organic residues: a critical review of the phenomenon and
954 the mechanisms involved. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. v. 59, p. 47–63, 2001.

955

956 HAYNES, R.J. & MOKOLOBATE, M.S. Amelioration of Al toxicity and P efficiency
957 in acid soils by additions of organic residues: a critical review of the phenomenon and
958 the mechanisms involved. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. v. 59, p.47–63, 2001.

959

960 HINGSTON, F. J.; POSNER, A. M.; QUIRK, J. P. Anion adsorption by goethite and
961 gibbsite. I. The role of the proton in determining adsorption envelopes. **Journal of Soil
962 Science**, London, v. 23, p. 177-191, 1972.

963

964 IYAMUREMYE, F.; DICK, R. P. & BAHAM, J. Organic amendments and
965 PHOSPHORUS dynamics: I. Phosphorus chemistry and sorption. **Soil Science**. v. 161,
966 n. 7, p. 426– 435, 1996.

967

968 JONES, D. L.; DENNIS, P. G.; OWEN, A. G. & VAN HEES, P. A. W. Organic acid
969 behavior in soils – misconceptions and knowledge gaps. **Plant Soil**, v. 248, p. 31–41,
970 2003.

971

972 KHIARI, L., & PARENT, L. E. Phosphorus transformations in acid light-textured soils
973 treated with dry swine manure. **Canadian Journal Soil Science**. v. 85, n. 1p. 75-87,
974 2005.

975

976 KIEHL, E. J. **Fertilizantes organominerais**. 2. ed. Piracicaba, Degaspari, 2008. 160 p.

977

978 KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Crescimento radicular e aéreo do milho em vasos em
979 função do nível de fósforo e localização do adubo fosfatado. **Revista Brasileira de
980 Ciência do Solo**, Viçosa v. 19, n. 3, p. 403 408, 1996.

981

982 KWABIAH, A.B.; PALM, C.A.; STOSKOPF, N.C.; VORONEY, R.P. Response of soil
983 microbial biomass dynamic to quality of plant materials with emphasis on P availability.
984 **Soil Biology and Biochemistry**. v. 35, p. 207–216, 2003.

- 985
986 LARSEB S. Soil phosphorus. **Advances in Agronomy**. v. 19, p. 151–210, 1967.
987
- 988 LEE, Y. S.; LEE, B. R. J. Stimulation of plant growth by humic substances. **Soil**
989 **Science Society of America Journal**. v. 40, n. 6, p. 876-879. 1976.
990
- 991 LEHR, J. R.; FRAZIER, A. W.; SMITH, J. P. Phosphoric Acid Impurities, Precipitated
992 Impurities in Wet Process Phosphoric Acid. **Journal of Agricultural and Food**
993 **Chemistry**, v. 14, n. 1, p. 27-33, 1966.
994
- 995 LUCENA, L. F. C. e tal. Respostas do milho a diferentes níveis de nitrogênio e fósforo
996 aplicados ao solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina
997 Grande, v. 4, n. 3, p. 334-337, 2000.
998
- 999 MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado**
1000 **nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba, SP: Associação Brasileira
1001 para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.
1002
- 1003 McBRIDE, M.B. **Environmental chemistry of soils**. New York, University Press,
1004 1994. 406 p.
1005
- 1006 MCDOWELL, R. W.; CONDRON, L. M. Estimating phosphorus loss from New
1007 Zealand grassland soils, New Zealand, **Journal of Agricultural Research**, v. 47, p.
1008 137-145. 2004.
1009
- 1010 MCDOWELL, R. W.; CONDRON, L.M. Influence of soil constituents on
1011 soilphosphorus sorption and desorption. **Communications in Soil Science and Plant**
1012 **Analysis**. v. 32, p. 2531–2547. 2001.
1013
- 1014 MKHABELA, M. S.; WARMAN, P. R. The influence of municipal solid waste
1015 compost on yield, soil phosphorus availability and uptake by two vegetable crops grown
1016 in a Pugwash sandy loam soil in Nova Scotia. **Agriculture, Ecosystems &**
1017 **Environment**, v. 106, p. 57-67. 2005.
1018

- 1019 NOVAIS, R. F. de; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.**
1020 Viçosa, MG: UFV, DPS, 1999. 399 p.
1021
- 1022 PARENT, L. E.; KHIARI, L. & PELLERIN, A. The P fertilization of potato: Increasing
1023 agronomic efficiency and decreasing environmental risk. **Acta Horticulturae**, v. 627, p.
1024 35-41, 2003.
1025
- 1026 PARENT, L. E.; KHIARI, L. & PELLERIN, A. The P fertilization of potato: Increasing
1027 agronomic efficiency and decreasing environmental risk. **Acta Horticulturae**, v. 627, p.
1028 35-41, 2003.
1029
- 1030 PARFITT, R. L. Anion adsorption by soils and soil materials. **Advances in Agronomy**,
1031 New York, v. 30, p. 30-50. 1978.
1032
- 1033 PELLEGRINI, J. B. R. **Fósforo na água e no sedimento na Microbacia Hidrográfica**
1034 **do Arroio Lino - Agudo- RS.** (Tese de Mestrado) Santa Maria, Universidade Federal
1035 de Santa Maria, 2005. 98 p.
1036
- 1037 PIERZYNSKI, G. M.; SIMS, J. T.; VANCE, G. F. Soil phosphorus and environmental
1038 quality. In: PIERZYNSKI, G. M.; SIMS, J. T.; VANCE, G. F. **Soil and environmental**
1039 **quality.** 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2000. p. 155-208.
1040
- 1041 PYPERS, P., VERSTRAETE, S., THI, C. P. AND MERCKX, R. Changes in mineral
1042 nitrogen, phosphorus availability and salt-extractable aluminium following the
1043 application of green manure residues in two weathered soils of South Vietnam. **Soil**
1044 **Biology and Biochemistry.** v. 37, p. 163-172. 2005.
1045
- 1046 RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: Agronômica Ceres, 1991.
1047 343 p.
1048
- 1049 REDDY, K. R.; WETZEL, R. G.; KADLEC, R. H. Biogeochemistry of phosphorus in
1050 wetlands. In: SIMS, J. T. et al. Phosphorus: agriculture and the environment. Madison:
1051 **American Society of Agronomy**, v. 263-316. 2005.
1052

- 1053 RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; CURI,
1054 N.; FAQUIN, V.; KIMPARA, D. I.; SANTOS, J. Z. L. & CARNEIRO, L. F. Fontes e
1055 modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado.
1056 **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 30, p. 453-466, 2006.
- 1057
- 1058 RESENDE, J. M. A. **Comparação de índices de sorção de fósforo no solo.**
1059 Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Viçosa, MG, Universidade
1060 Federal de Viçosa, 1983. 79 p.
- 1061
- 1062 RHEINHEIMER, D. dos S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E. Sorção de fósforo em função
1063 do teor inicial e de sistemas de manejo de solos. **Revista brasileira de ciências do solo.**
1064 v. 27, n. 1, 2003.
- 1065
- 1066 RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. & FLORES, A. F. Organic and inorganic
1067 phosphorus as characterized by phosphorus-31 nuclear magnetic resonance in
1068 subtropical soils under management systems. **Communications in Soil Science and**
1069 **Plant Analysis Journal**, v. 33, p. 1853-1871, 2002.
- 1070
- 1071 ROSOLEM, C. A.; ASSIS, J. S.; SANTIAGO, A. D. Root growth and mineral nutrition
1072 of corn hybrids as affected by phosphorus and lime. **Communications in Soil Science**
1073 **and Plant Analysis**, New York, v. 25, p. 2491-2499, 1994.
- 1074
- 1075 ROSOLEM, C.A. **Relações solo-planta na cultura do milho.** Jaboticabal: Funep,
1076 1995, 53 p.
- 1077
- 1078 SAMPLE, E. C.; SOPER, R. J.; RACZ, G. J. Reactions of phosphate in soils. In.:
1079 KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J. (Ed.). **The role of**
1080 **phosphorus in agriculture.** Madison: American Society of Agronomy, 1980. p. 263-
1081 310.
- 1082
- 1083 SANCHES, P. A.; UEHARA, G. Management considerations for acid soils with high
1084 phosphorus fixation capacity. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH,
1085 E. J. (Ed.). **The role of phosphorus in agriculture.** Madison: American Society of
1086 Agronomy, 1980. p. 471-514.

1087

1088 SANCHEZ, P. A.; SALINAS, J. G. Low input technology for managing Oxisols and
1089 Ultisols in tropical America. **Advances in Agronomy, New York**, v. 34, p. 280-406,
1090 1981.

1091

1092 SANYAL, S. K.; DE DATTA, S. K. Chemistry of phosphorus transmutation in soil.
1093 **Advances in Soil Science**, Boca Raton, v. 16, p. 1-120, 1991.

1094

1095 SCHERER, H. W.; SHARMA, S. P. Phosphorus fractions and phosphorus delivery
1096 potential of a luvisol derived from loess amended with organic materials. **Biology and**
1097 **Fertility of Soils**. v. 35, p. 414–419, 2002.

1098

1099 SEVERINO, L. S. et al. Crescimento e produtividade da mamoneira adubada com
1100 macronutrients e micronutrientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.
1101 41, p. 563-568, 2006.

1102

1103 SHARPLEY, A. N. Soil phosphorus dynamics: agronomic and environmental impacts.
1104 **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 5, p. 261-279. 1995.

1105

1106 SILVA, C. A. Uso de resíduos orgânicos na agricultura. In: SANTOS, G. A.; et al.
1107 (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais**
1108 **esubtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metropole, 2008.

1109

1110 SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado.
1111 Informações Agronômicas, Planaltina, v. 102, p. 1-16. **Encarte Técnico**, 2003.

1112

1113 SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUZA, D.
1114 M. G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF:
1115 Embrapa-CPAC, 2004. p. 147-168.

1116

1117 SOUZA, J. A.; CURI, N.; GUEDES, G. A. A. Relação entre mineralogia e adsorção de
1118 fósforo em alguns latossolos sob cerrado do planalto central. **Ciência e Prática**,
1119 Brasília, DF, v. 15, p. 103-111, 1991.

1120

- 1121 SPOSITO, G. **The surface chemistry of soils**. New York: Oxford University Press.
1122 1984. 234 p.
1123
- 1124 STROM, L.; OWEN, A. G.; GODBOLD, D. L. & JONES, D. L. Organic acid mediated
1125 P mobilization in the rhizosphere and uptake by maize roots. **Soil Biology and**
1126 **Biochemistry**. v. 34, p. 703-710, 2002.
1127
- 1128 TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto
1129 Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, (Boletim Técnico, 5). 1995. 147 p.
1130
- 1131 TEIXEIRA, W. G. **Biodisponibilidade de fósforo e potássio provenientes de**
1132 **fertilizantes mineral e organomineral**. (Dissertação de Mestrado), Uberlândia, MG,
1133 Universidade Federal de Uberlândia, 2013. 115 p.
1134
- 1135 TEJADA, M.; BENITEZ, C.; GONZALEZ, J. L. Effects of Application of Two
1136 Organomineral Fertilizers on Nutrient Leaching Losses and Wheat Crop. **Agronomy**
1137 **Journal**, Madison, v. 97, p. 960-967, 2005.
1138
- 1139 VERMA, S.; SUBEHIA, S. K. & SHARMA, S. P. Phosphorus fractions in an acid soil
1140 continuously fertilized with mineral and organic fertilizers. **Biology and Fertility of**
1141 **Soils**. v. 41, p. 295-300, 2005.
1142