

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA**

**SUBSTÂNCIA HÚMICA E FONTES DE FÓSFORO EM LATOSOLO
VERMELHO E NEOSSOLO QUARTZARÊNICO**

LUCAS MORAIS LÔBO

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Eliana Paula Fernandes Brasil

Abril - 2015

LUCAS MORAIS LÔBO

**SUBSTÂNCIA HÚMICA E FONTES DE FÓSFORO EM LATOSOLO
VERMELHO E NEOSSOLO QUARTZARÊNICO**

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

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Eliana Paula Fernandes Brasil

Co-orientador:

Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro

Goiânia, GO - Brasil
2015

OFEREÇO

À Deus, o responsável por tudo.

DEDICO

Aos meus pais, Leão Lôbo Sobrinho e Maria das Graças Moraes Lôbo,
pelos ensinamentos e exemplo de vida.

Aos meus irmãos, Eduardo Henrique Moraes Lôbo e Murillo Moraes Lôbo,
pela força em todas as situações.

AGRADECIMENTOS

À Escola de Agronomia, da Universidade Federal de Goiás por meio do Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de realização do curso.

À minha orientadora, Eliana Paula Fernandes Brasil, pela amizade e ensinamentos.

Ao Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro, pela contribuição na execução deste trabalho.

Aos colaboradores do Laboratório de Solos, Substrato e Nutrição de Plantasda EA/UFG, pela ajuda e ensinamentos imprescindíveis para execução das análises do trabalho.

Ao laboratório Vitasolos Agroanálises, em especial à Edna Maria Fernandes de Lima, pelo apoio e ensinamentos para realização das análises do trabalho.

Aos amigos que colaboraram com a condução do projeto, em especial Camilla Oliveira Muniz e Evaldo de Melo Ferreira.

Agradeço às amizades que fiz ao longo desses anos.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS	7
LISTA DE TABELAS	8
LISTA DE FIGURAS	8
1 INTRODUÇÃO GERAL	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 ADUBAÇÃO FOSFATADA EM SOLOS DE CERRADO.....	11
2.2 MATÉRIA ORGÂNICA E SUBSTÂNCIAS HÚMICAS.....	12
2.3 USO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS NA AGRICULTURA.....	14
3 EFEITO DE SUBSTÂNCIA HÚMICA SOBRE A DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM LATOSOLO VERMELHO E NEOSSOLO	
QUARTZARÊNICO	17
RESUMO.....	17
ABSTRACT.....	18
3.1 INTRODUÇÃO.....	19
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.2.1 Caracterização da área experimental	20
3.2.2 Caracterização das fontes de fósforo	20
3.2.3 Caracterização dos solos	21
3.2.4 Caracterização da substância húmica	21
3.2.5 Condução do experimento de incubação de solo	22
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
3.4 CONCLUSÃO.....	28
4 EFEITO DE SUBSTÂNCIA HÚMICA E FONTES DE FÓSFORO NA CULTURA DO MILHO	29
RESUMO.....	29

ABSTRACT.....	30
4.1 INTRODUÇÃO.....	31
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
4.2.1 Condução do experimento com milho	32
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.4 CONCLUSÃO.....	38
5 REFERÊNCIASBIBLIOGRÁFICAS	39

LISTA DE ABREVIATURAS

SFT ó Superfosfato triplo
FNR ó Fosfato Natural Reativo
LV ó Latossolo Vermelho
NQ ó Neossolo Quartzarênico
P ó Fósforo
Ca ó Cálcio
Mg ó Magnésio
K ó Potássio
S ó Enxofre
N ó Nitrogênio
Al ó Alumínio
Fe ó Ferro
B ó Boro
Zn ó Zinco
CTC ó Capacidade de Troca de Cátions
MOS ó Matéria Orgânica do Solo
SH ó Substância Húmica
AH ó Ácido Húmico
AF ó Ácido Fúlvico
HUM ó Humina
MSPA ó Massa Seca da Parte Aérea
MSR ó Massa Seca das Raízes
EAR ó Eficiência Agronômica Relativa

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Teores de P ₂ O ₅ total, solúvel em água, citrato neutro de amônio + água (CNA + H ₂ O) e ácido cítrico 2% das fontes de fósforo, superfosfato triplo (SFT)e fosfato natural reativo (FNR)	20
Tabela 2. Características físicas e químicas de amostras do Latossolo Vermelho (LV) e do Neossolo Quartzarênico (NQ).....	21
Tabela 3. Características químicas do produto comercial a base de substância húmica(Pow Humus WSG 85)	22
Tabela 4. Efeito de fontes de P e doses de substância húmica no teor de P disponível no Latossolo Vermelho ao longo de diferentes períodos de incubação	24
Tabela 5. Efeito de fontes de P e doses de substância húmica no teor de P disponível no Neossolo Quartzarênico ao longo de diferentes períodos de incubação	26
Tabela 6. Efeito de fontes de P e doses de substância húmica na produção de massa seca de plantas de milho cultivadas em Latossolo Vermelho	34
Tabela 7. Efeito de fontes de P e doses de substância húmica no teor de P acumulado nas plantas de milho cultivadas em Latossolo Vermelho.	
Tabela 8. Efeito de fontes de P e doses de substância húmica na produção de massa seca de plantas de milho cultivadas em Neossolo Quartzarênico	35
Tabela 9. Efeito de fontes de P e doses de substância húmica no teor de P acumulado nas plantas de milho cultivadas em Neossolo Quartzarênico	36
Tabela 10. Eficiência agronômica relativa (EAR) das fontes de P dentro de cada dose de substância húmica e solo, com base na produção de massa seca da parte aérea, massa seca das raízes e quantidade de P acumulados nas plantas de milho ...	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Efeito de doses de substância húmica no teor de P disponível ao longo dos períodos de incubação, para a fonte Superfosfato triplo no Latossolo Vermelho.....	25
Figura 2. Efeito de doses de substância húmica no teor de P disponível ao longo dos períodos de incubação, para a fonte Fosfato Natural Reativo no Latossolo Vermelho....	25
Figura 3: Efeito de doses de substância húmica no teor de P disponível ao longo dos períodos de incubação, para a fonte Superfosfato Triplo no Neossolo Quartzarênico.....	27
Figura 4. Efeito de doses de substância húmica no teor de P disponível ao longo dos períodos de incubação, para a fonte Fosfato Natural Reativo no Neossolo Quartzarênico	28

1 INTRODUÇÃO GERAL

No cerrado os latossolos ocupam praticamente todas as áreas planas a suave-onduladas, sejam chapadas ou vales. Ocupam ainda as posições de topo até terço médio das encostas suave-onduladas (Correia et al., 2004). Representam 46% dos solos sob o Bioma Cerrado (Macedo, 1996) e 45% dos solos do estado de Goiás (Pinto, 2012).

São solos muito intemperizados, com pequena reserva de nutrientes para as plantas, representados normalmente por sua baixa a média capacidade de troca de cátions. Mais de 95% dos latossolos são distróficos e ácidos, com pH entre 4,0 e 5,5 e teores de fósforo disponível extremamente baixos, quase sempre inferiores a 1 mg dm^{-3} (Correia et al., 2004). Segundo Vargas & Hungria (1997), ocorre a predominância de minerais de argila 1:1 e óxidos de Fe e Al nesses solos. Esta condição lhes confere grande capacidade de adsorção aniônica, principalmente de P ocasionando sua baixa disponibilidade na solução do solo (Novais & Smyth, 1999). Devido às características desses solos, são grandes as quantidades de fósforo a serem aplicadas neles para manter a disponibilidade do nutriente adequada às plantas cultivadas. Esse é um dos investimentos mais altos para a prática da agricultura comercial nesses solos (Sousa et al., 2004).

Mesmo diante dessas limitações, a produção agrícola na região dos Cerrados foi viabilizada através de pesquisas realizadas por empresas públicas e privadas, tornando possível a correção da acidez e da fertilidade dos solos, a partir, principalmente, do manejo adequado da adubação e da correção da acidez (Araújo, 2013). Nesse contexto, é de extrema importância pesquisas que possuem o objetivo de identificar técnicas que aumentem a disponibilidade do fósforo nesses solos que apresentam grande capacidade de retenção do nutriente, principalmente, quando se trata do cultivo das plantas de desenvolvimento intenso e de ciclo curto, como o milho, que requerem maior nível de fósforo em solução e reposição mais rápida do P-adsorvido que as plantas de culturas perenes (Bastos et al., 2010).

As fontes de fósforo podem ser divididas basicamente em solúveis e insolúveis. As primeiras, quando adicionadas ao solo, aumentam rapidamente a concentração de fósforo na solução do solo. Os fosfatos solúveis têm sua eficiência diminuída ao longo do

tempo devido ao processo de adsorção ou fixação desse elemento pelo solo. Já os fosfatos naturais são insolúveis em água e, assim, se dissolvem lentamente na solução do solo, aumentando a disponibilidade de fósforo para as plantas com o passar do tempo (Korndörfer et al., 1999).

Na agricultura brasileira mais de 90 % dos fosfatos utilizados são acidulados (Goedert et al., 1988). Segundo Matias (2010) os fosfatos acidulados mais utilizados são o superfosfato simples (SFS), superfosfato triplo (SFT), fosfato monoamônio (MAP) e fosfato diamônio (DAP). Geralmente, estas fontes são utilizadas como fontes padrão de fósforo em experimentos que avaliam a eficiência agronômica relativa de outras fontes de P (Bolan et al. 1990). Existem diversos estudos que mostram aumento da eficiência agronômica (EA) de fertilizantes fosfatados organominerais, originados principalmente da combinação de fonte de fósforo solúvel e matéria orgânica, em relação à fertilizantes fosfatados minerais (Almeida Júnior et al., 2011; Santos et al., 2011). Entretanto, faltam resultados de pesquisa avaliando a participação da matéria orgânica na eficiência agronômica (EA) dos fosfatos naturais (Matias, 2010).

Segundo Primo et al. (2011), a comprovação da matéria orgânica do solo (MOS) em aumentar a produtividade dos solos tem incentivado bastante, principalmente nas últimas três décadas, a pesquisa com a utilização de substâncias húmicas (SHs), buscando o melhor entendimento da sua dinâmica. Esse avanço das pesquisas se deve ao surgimento de novas metodologias e equipamentos, porém, em algumas regiões do país os estudos são limitados, devido à utilização de técnicas complexas e equipamentos de alto custo de aquisição e manutenção.

Vários experimentos com a utilização de SHs na produção agrícola têm sido desenvolvidos proporcionando o maior desenvolvimento das culturas. Os resultados obtidos são variáveis e dependem, além da espécie testada, das substâncias húmicas utilizadas, concentração, grau de purificação do material e das condições em que foram realizados os experimentos (Silva et al., 1999). Desta forma o objetivo deste estudo foi: verificar o efeito da adição de doses de substância húmica na disponibilidade de P em solos com diferentes capacidades de adsorção, na produção de massa seca de plantas de milho, no teor de fósforo acumulado nas plantas e na eficiência agronômica das fontes de P com solubilidade variável em água.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ADUBAÇÃO FOSFATADA EM SOLOS DE CERRADO

As principais classes de solos que ocorrem no Cerrado são: Latossolos (46% da área), Nitossolos (15%) e Neossolos Quartzarênico (15%). Dentre essas classes, os Latossolos, possuem elevada relevância para a agricultura, em decorrência de suas propriedades físicas e morfológicas, que facilitam a mecanização e favorecem a utilização de tecnologias que viabilizam a produção agrícola em grandes áreas com elevadas produtividades (Araújo, 2013). Segundo Sousa et al. (2004) solos da Região dos Cerrados apresentam baixa disponibilidade e concentração de fósforo em condições naturais, resultante, de acordo com Santos et al. (2008), de um intenso processo de intemperismo, gerando uma alta capacidade de adsorção de P nesses solos.

O P liberado pelos fertilizantes pode apresentar-se no solo em formas de maior ou menor complexidade, ligado, principalmente, a compostos de Fe, Al, Ca e à matéria orgânica do solo (Raij, 2004). Segundo Matias (2010) essas interações são responsáveis pela disponibilidade do P no solo, sendo denominado de lábil quando este fósforo estiver em solução ou fracamente adsorvido e não lábil quando este P estiver adsorvido por ligações mais fortes, dificultando o processo de dessorção desse nutriente para a solução do solo. A ligação do P com grupos hidroxilas na superfície dos minerais, provocado por meio de troca de ligantes, é conhecida como adsorção específica (Obihara & Russel, 1972). Este efeito torna este nutriente o mais limitante à produção agrícola nos solos tropicais, exigindo assim normalmente, elevadas taxas de fertilizantes fosfatados (Matias, 2010).

Os fosfatos de alta reatividade correspondem a mais de 90% do P₂O₅ utilizado na agricultura brasileira (Santos et. al., 2008). Segundo Sousa et al. (2004) esses produtos possuem reconhecida e elevada eficiência agronômica para qualquer condição de solo e cultura no Cerrado. Para o milho, em sistemas mais tecnificados, os gastos com correção do solo e adubação representam, em média, 40 a 45% do custo de produção (Coelho & Alves, 2003).

Avaliando a produção de milho, ao final de três cultivos, sob diferentes fontes de P (Superfosfato triplo, Termofosfato magnesiano, Fosfato reativo de Arad e Fosfato natural de Araxá) e diferentes formas de aplicação (a lanço incorporada em área total, no sulco de plantio e parcelada no sulco), Resende et al. (2006) obtiveram maior produção de grãos com a aplicação do Fosfato reativo de Arad (FR) parcelado no sulco de semeadura. Segundo os autores esse resultado pode ser explicado pelo fato do FR, que apresenta solubilidade intermediária entre os fosfatos acidulados e os fosfatos naturais brasileiros, ter proporcionado liberação lenta e gradual do P no solo. Já o menor rendimento de grãos do estudo foi obtido com a aplicação do FR a lanço e incorporado em área total, provavelmente o contato do adubo com maior volume de solo ocasionou a fixação do P liberado antes que o nutriente pudesse ser absorvido pela planta, justificativa dos autores.

Oliveira Junior et al. (2008) obtiveram, ao final de um cultivo, maior produtividade de soja com a aplicação a lanço do FR em relação à aplicação no sulco de plantio. Segundo os autores esses resultados comprovam a necessidade de contato entre o solo e a rocha fosfática, para aumentar a taxa de dissolução da rocha e, consequentemente, fornecer quantidades de P suficientes para o desenvolvimento das plantas. Entretanto, essa produtividade não se iguala à obtida com o Superfosfato triplo, nas duas formas de aplicação, que inclusive não diferiram estatisticamente entre si.

Experimento realizado por Lobato (1982), utilizando fosfatos solúveis em água (superfosfatos), aplicados a lanço e incorporados em Latossolo argiloso, resultou em maiores rendimentos de grãos das culturas de milho, soja e trigo com adubações de até 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Além da escolha da fonte de P, é necessário definir a melhor forma de aplicação (Santos et al., 2008). O manejo da adubação deve favorecer a absorção e diminuir os processos de fixação pelo solo e, consequentemente, aumentar o aproveitamento do P pelas plantas (Novais & Smyth, 1999).

2.2 MATÉRIA ORGÂNICA E SUBSTÂNCIAS HÚMICAS

De acordo com Stevenson (1994), a matéria orgânica do solo (MOS) é composta por diversos materiais em diferentes estágios de decomposição, resultantes da degradação biológica de resíduos de plantas e animais, e da atividade sintética de microrganismos. Interage com a fase mineral, interferindo, assim, na dinâmica de

nutrientes no sistema solo-planta, exercendo um papel importante na manutenção da fertilidade do solo, termo cujo conceito global se estende, também, às propriedades físicas e biológicas (Mendonza et al., 2000; Silva et al., 2000a; Fontana et al., 2006). É constituída por C, H, O, N, S e P, com os teores 58%, 6%, 33% e os três últimos 3% (Santos et al., 2002; Primo et al., 2011).

A MOS divide-se em dois grupos de substâncias, as húmicas e as não húmicas (Demétrio, 1988). Segundo Kanova (1982), o primeiro grupo constitui de 85 a 90% da reserva total do carbono orgânico do solo, enquanto o restante da reserva, de 10 a 15%, está presente no segundo grupo.

As substâncias não húmicas são compostas por substâncias com características químicas definidas, tais como, polissacarídeos, aminoácidos, açúcares, proteínas e ácidos orgânicos de baixa massa molar. As substâncias húmicas (SHs) não apresentam características químicas e físicas bem definidas, e se dividem em ácido húmico (AH), ácido fúlvico (AF) e humina (HUM) (Stevenson, 1994).

Diferente de proteínas, puras, as SHs são classificadas como macromoléculas polidispersas, ou seja, misturas de moléculas com diferente massa molar e, consequentemente, de tamanho variado (Silva & Mendonça, 2001), implicando em porosidade e compactação variável de sua estrutura, tanto no estado sólido quanto coloidal (Swift, 1989). As composições médias de unidades básicas de AF e AH, em termos de fórmulas químicas, são respectivamente C₁₃₅H₁₈₂O₉₅N₅S₂ e C₁₈₇H₁₈₆O₈₉N₉S₂ (Santos & Camargo, 1999; Primo et al., 2011).

O processo de fracionamento das substâncias húmicas baseia-se na solubilidade de suas frações em meio aquoso. A humina é a fração insolúvel tanto no meio alcalino como no meio ácido, o ácido húmico é a fração escura extraída geralmente em meio alcalino e insolúvel em meio ácido diluído e os ácidos fúlvicos são frações coloridas alcalino-solúvel que se mantêm em solução após a remoção dos ácidos húmicos por acidificação e possuem um maior conteúdo de grupos funcionais ácidos (Oliveira, 2011).

A quantidade da matéria orgânica e a proporção da fração húmica têm servido como indicadores de qualidade de solo, em razão da forte interação das SHs com o material mineral e o manejo do solo (Fontana et al., 2001; Silva, 2005). Esta fração, é dinâmica, reflete mudanças no uso do solo, e também é uma das frações responsáveis pelo acúmulo da matéria orgânica no solo (Cunha et al., 2007).

2.3 USO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS NA AGRICULTURA

As pesquisas destacam efeitos positivos no desenvolvimento de plantas submetidas a tratamentos com SHs. Tais efeitos são refletidos na aceleração das taxas de crescimento radicular, incremento de biomassa vegetal e alterações na arquitetura do sistema radicular como o incremento da emissão de pêlos radiculares e de raízes laterais finas, resultando em aumento da área superficial e/ou no comprimento do sistema radicular (Quaggiotti et al., 2004).

Silva et al. (1999), utilizando SHs, extraídas a partir de carvões, na cultura do milho, obtiveram aumento nas produções de matéria seca de colmos em 161,55%, de folhas em 96,73% e de raízes em 162,86%, assim como, aumento no comprimento do sistema radicular e maior superfície ocupada pelas raízes. Bernardes et al. (2011) obtiveram resultados significativos de comprimento de raiz, altura de parte aérea, biomassa seca de raiz e parte aérea na produção de mudas de tomate, utilizando o produto comercial CODAHUMUS 20[®] composto de ácido húmico (11,2%) e ácido fúlvico (11,4%). Concluíram que a aplicação nas mudas de tomate, via pulverização, do produto comercial na dose de 0,96 mL misturado em 320 mL de água, proporcionou a produção de mudas de melhor qualidade.

Alguns mecanismos de ação têm sido propostos para explicar o aumento no crescimento de plantas pela utilização de SHs (Baldotto et al., 2009). Esses resultados podem estar relacionados com a bioatividade das substâncias húmicas, que podem ter efeito auxínico sobre as plantas e com a ativação da H⁺-ATPase de membrana plasmática (bomba de prótons) que promove aumento do gradiente eletroquímico de H⁺, provocando a acidificação do apoplasto que leva ao rompimento de ligações da parede celular, promovendo sua elasticidade, o que favorece o crescimento celular (Rayle & Cleland, 1992).

Fortun et al. (1985) utilizaram substâncias húmicas no cultivo do azevém perene e observaram incrementos no percentual de macronutrientes na parte aérea de 6,48% e nas raízes de 1,92%. A elevação do teor dos micronutrientes na parte aérea ficou em 96,15%. Adicionando SHs na cultura do milheto, Silva et al. (2000b) observaram a elevação dos teores de N, P K, Ca, Mg, S, Na e Fe na forragem do milheto, respectivamente, em 147,61%, 83,41%, 276,41%, 135,33%, 176,49%, 102,23%, 263,32% e 26,28%.

Também foram propostos alguns mecanismos de ação para explicar o aumento na absorção de nutrientes pelas plantas com consequente elevação do teor de nutrientes nos tecidos vegetais, pela utilização de SHs. Segundo Canellas & Santos (2005) o uso de SHs favorece a absorção de nutrientes pelas plantas devido provocarem o aumento da permeabilidade da membrana plasmática e ativarem as enzimas transmembranares H⁺-ATPase. De acordo com Rodda et al. (2006) as bombas de prótons são capazes de hidrolisar ATP gerando energia que é utilizada na energização de sistemas secundários de translocação de íons fundamentais para a absorção de macro e micronutrientes.

Segundo Costa (2001) a absorção de moléculas de SHs, ou parte delas, com caráter predominantemente aniônico, aumentam o número de cargas negativas dentro das células, favorecendo a absorção de cátions. Vaughan & Ord (1981) demonstraram a absorção destes compostos pela célula vegetal utilizando compostos húmicos marcados com C14.

Cacco et al. (2000), utilizando frações húmicas de baixo peso molecular, observou aumento na taxa de absorção de nitrato, enquanto resultado oposto foi evidenciado para frações húmicas de alto peso molecular. Silva (2001) obteve incremento superior, de até 54,27%, no teor de N na matéria seca da parte área da alface *Maravilha de Verão*, devido o emprego de substância húmica extraída de carvão mineral. As substâncias húmicas formam complexos com amônia, reduzindo a perda de N por volatilização, o que explica, em parte, o maior teor deste elemento em plantas cultivadas com adição de substâncias húmicas (Govindasamy & Chandrasekaran, 1992).

As plantas respondem à ação de substâncias húmicas até determinado nível (Duenhas, 2004). Para a maioria das culturas já estudadas, a maior resposta das plantas para os ácidos húmicos e fúlvicos ocorre entre 10 e 300 ppm na solução do solo (Silva Filho & Silva, 2002).

Benites et al. (2006) avaliaram o efeito da aplicação foliar do produto comercial Vitalplus, à base de ácido húmico, sobre a produtividade de soja em sistema de plantio direto no Cerrado. Foram utilizadas quatro doses de Vitalplus (0,75, 1,5, 3,0 e 6,0 L.ha⁻¹) em três épocas de aplicação (V4, V7 e pré floração). Os autores observaram que a média de produtividade da testemunha (3559 kg.ha⁻¹), sem aplicação foliar, foi inferior a qualquer tratamento que sofreu adição de Vitalplus, chegando a produzir até 4608 kg.ha⁻¹, produtividade cerca de 30% superior à testemunha. Não houve diferença significativa entre as doses aplicadas do produto, dessa forma, a menor dose proporcionou estatisticamente o

mesmo efeito das maiores doses, com um aumento de 25% na produtividade da soja em relação à testemunha. Também não foi observado variação estatística entre as épocas de aplicação de Vitalplus na soja. Contudo, os resultados mostraram que a produtividade da soja mais elevada, considerando todas as doses utilizadas, foi obtida no estádio V4, com valor 26% superior ao obtido pela testemunha.

Krenchinski et al. (2012) avaliou parâmetros agronômicos na cultura do milho safrinha com o uso do bioestimulante comercial Qualytus SPC®, a base de substâncias húmicas, via tratamento de sementes na dose de 4 mL do produto por quilo de semente. Em relação aos componentes produtivos avaliados pelos autores, a massa de mil grãos do tratamento com bioestimulante mostrou-se significativamente superior, com percentual de 4% a mais em relação ao tratamento sem bioestimulante. Apesar da produtividade não ter diferido significativamente entre os tratamentos ($\alpha P < 0,05$), o tratamento com bioestimulante proporcionou uma produtividade de 10,5% superior em relação ao tratamento sem bioestimulante.

De acordo com Stevenson (1986) os ácidos orgânicos de estrutura mais complexa (AHs e AFs), podem formar a superfície protetora ao redor de óxidos de Fe e Al, dificultando a adsorção de P. Outra explicação para o aumento da disponibilidade de P no solo seria através da adsorção competitiva, ou seja, as substâncias húmicas e o fósforo estariam competindo pelos mesmos sítios de adsorção, consequentemente, reduzindo a adsorção de P aos colóides do solo, fato relatado por alguns autores (Violante & Gianfreda 1993; Nziguheba et al. 1998; Andrade et al. 2003).

Esses ácidos orgânicos também podem influenciar negativamente na disponibilidade de P devido a formação de pontes de cátions entre os compostos orgânicos e o fósforo, incrementando sua adsorção, fato relatado por alguns autores (Beldrok et al. 1997; Guppy et al. 2005; Matias, 2010).

A eficiência dos ácidos orgânicos em competir com P pelos sítios de adsorção, depende principalmente do pH do solo, da quantidade de ácido orgânico e da sua persistência no solo (Kirk, 1999). Segundo Geelhoed et al. 1999, essa persistência é elevada pelo fato do processo de adsorção desses ácidos no solo reduzirem sua decomposição, devido à proteção da atividade microbiana. Dessa forma torna-se importante estudos que avaliam a adição de doses adequadas de substâncias húmicas no solo, com o intuito de reduzir a adsorção de P.

3 EFEITO DE SUBSTÂNCIA HÚMICA SOBRE A DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM LATOSOLO VERMELHO E NEOSSOLO QUARTZARÊNICO

RESUMO

LOBO, L. M. Substância húmica e fontes de fósforo em Latossolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico. 2015. 46 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solo e Água)-Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.¹

Os processos de adsorção de fósforo (P) no solo diminuem a disponibilidade deste nutriente para as plantas. Os ácidos húmicos e fúlvicos presentes nas substâncias húmicas podem bloquear os sítios de adsorção de fósforo no solo. As substâncias húmicas são subprodutos da decomposição da matéria orgânica, por esse motivo é de suma importância manejos que visam o aumento do teor de matéria orgânica dos solos. Desta forma, este estudo teve como objetivo verificar o efeito da adição de doses de substância húmica, na disponibilidade de P em dois tipos de solos com diferentes capacidades de adsorção, tendo como hipótese que a adição de substância húmica diminui a adsorção de P e consequentemente aumenta a disponibilidade deste nutriente no solo. Este trabalho foi conduzido em casa de vegetação da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás. Os tratamentos são constituídos de quatro doses de substância húmica (0, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹), duas fontes de fósforo (Superfosfato triplo ó SFT e Fosfato Natural Reativo ó FNR), e três épocas de avaliações (7, 14 e 28 dias), em dois tipos de solos (Latossolo Vermelho ó LV e Neossolo Quartzarênico ó NQ). As fontes de P foram fornecidas em dose constante de 75 mgdm⁻³ de P.O P-disponível foi avaliado pelo método da resina trocadora de íons. A aplicação de substância húmica alterou a disponibilidade de P nos diferentes solos. A análise estatística dos dados mostrou que houve diferença significativa ($P<0,05$) para todos os fatores e entre eles. No LV a disponibilidade de P aumentou, para ambas as fontes, com o aumento da dose de SH até aos 14 dias. Aos 28 dias o P-disponível diminui, não havendo diferença significativa entre as doses, porém permanece superior ao tratamento sem adição de SH. No NQ o P-disponível diminui a partir da adição das doses

de 200 e 400 kg ha⁻¹ de SH até aos 14 dias de incubação. Aos 28 dias com a degradação da SH os valores de P-disponível para estas doses começam a aumentar. Estes resultados indicam que a utilização de substância húmica é eficiente no aumento da disponibilidade de P em diferentes solos.

Palavras-chave: Adsorção de fósforo; P-disponível; Ácido húmico; Ácido fulvico

¹Orientadora: Prof^a. Dr^a. Eliana Paula Fernandes Brasil. EA-UFG.

ABSTRACT

LOBO, L. M. Humic substance and phosphorus sources in Oxisol and Quartzipsamment. 2015. 46 f. Dissertation (Master in Agronomy: Soil and Water)- School of Agronomy, Federal University of Goiás, Goiânia, 2015.¹

Processes of phosphorus adsorption in soil diminish the availability of this nutrient to plants. Humic and fulvic acids present in humic substances can block the phosphorus adsorption sites in the soil. The humic substances are byproducts of decomposition of organic matter, therefore it is extremely important managements aimed at increasing the organic matter content of soils. Thus, this study aimed to verify the effect of adding doses of a humic substance, availability of P in two types of soils with different adsorption capacities, under the hypothesis that the addition of humic substance decrease P adsorption and thus increases availability of this nutrient in the soil. This work was conducted in a greenhouse of the Agronomy School of the Federal university of Goiás. The treatments consist of four levels of humic substance (0, 100, 200 and 400 kg.ha⁻¹), two phosphorus sources (Triple superphosphate ó SFT and Natural Reactive phosphate ó FNR), and three assessment time (7, 14 and 28 days) in two soil types (Red Latosol ó LV and Quaetzipsamment ó NQ). The P sources were supplied in constant dose of 75 mgdm⁻³ of P. The P-available was evaluated by exchange resin method ions. The application of humic substance altered the availability of P in different soils. Statistical analysis of the data showed a significant difference ($P<0,05$) for all factors and among them. In LV the P availability increased for both sources, with increasing SH dose up to 14 days. At 28 days the P-available decreases, with no significant difference between doses, but remains

superior to treatment without addition of SH. In the NQ the P-available decreases from the addition of the doses of 200 and 400 kg ha⁻¹ of SH up to 14 days of incubation. After 28 days with the degradation of SH values of P-available for these doses begin to increase. These results indicate that the use of humic substance is effective in increasing the availability of phosphorus in different soils.

Keywords: phosphorus adsorption; P-available; Humic acid; Fulvic acid

¹Adviser: Prof^a. Dr^a. Eliana Paula Fernandes Brasil. EA-UFG.

Co-adviser: Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro. EA-UFG.

3.1 INTRODUÇÃO

Os solos da região tropical caracterizam-se pela elevada intemperização, lixiviação de bases e formação de oxi-hidróxidos de alumínio e ferro (Alleoni, 2003). Estes apresentam-se preferencialmente com carga positiva, sendo assim capazes de reter em sua superfície vários tipos de ânios, predominantemente os íons fosfatos (Hedley et al., 1990; Novais et al., 1991). Vários estudos demonstram que em condições tropicais quanto mais argiloso for o solo maior a quantidade de P fixado (Leal & Velloso, 1973; Sanchez & Uehara, 1980; Andrade, 2005; Braga, 2006).

Por este motivo, é de extrema importância práticas de manejo com o objetivo de diminuir a adsorção de P nos solos tropicais. Resultados de pesquisa têm demonstrado que a matéria orgânica (MO) promove modificações importantes na adsorção de P nos solos, diminuindo a intensidade deste fenômeno (Guppy, 2005).

As substâncias húmicas, formadas pelos ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e humina, são produtos da decomposição da MO. Portanto, vários trabalhos com a utilização dessas substâncias tem sido desenvolvidos no intuito de avaliar as diferentes fontes de SH e sua eficiência em reduzir a adsorção de P das diversas fontes de fósforo.

Quando se adiciona uma fonte de P com elevada solubilidade ao solo, para evitar que processos de adsorção diminua a disponibilidade de P é necessário que a fonte de substância húmica, esteja prontamente disponível para reagir rapidamente com os óxidos de Fe e Al, bloqueando os sítios de adsorção (Matias, 2010). Andrade et al. (2003) verificaram a redução da adsorção do fósforo no solo em 39,4% após a adição de

substâncias húmicas. Outros autores também observaram valores na redução da adsorção de P (Heng 1989; Hue 1991; Bhatti et al., 1998; Delgado et al., 2002).

O objetivo deste estudo foi verificar o efeito da adição de doses de substância húmica na disponibilidade de P em dois tipos de solos com diferentes capacidades de adsorção. Tendo como hipótese que a adição de substância húmica diminui a adsorção de P e consequentemente aumenta a disponibilidade deste nutriente.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Caracterização da área experimental

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, localizado na área experimental da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (EA/UFG), Campus Samambaia, no município de Goiânia, Goiás. A área está situada nas coordenadas geográficas de 16° 35' de Latitude Sul e 49° 16' de Longitude Oeste a 722 m de altitude. O clima da região de Goiânia, segundo classificação de Köppen é do tipo Aw (tropical e chuvoso).

3.2.2 Caracterização das fontes de fósforo

As fontes de fósforo utilizadas nos experimentos foram o superfosfato triplo (SFT) e o fosfato natural reativo (FNR), que apresentam características distintas de solubilidade em água. Na caracterização das fontes de P, segundo Brasil (2006), foram determinados os teores de P₂O₅ total, solúvel em água, citrato neutro de amônio + água (CNA + H₂O) e ácido cítrico 2%, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Teores de P₂O₅ total, solúvel em água, citrato neutro de amônio + água (CNA + H₂O) e ácido cítrico 2% das fontes de fósforo, superfosfato triplo (SFT) e fosfato natural reativo (FNR).

Teores de P ₂ O ₅	SFT	FNR
Total (%)	48,3	31,1
Solúvel em água (%)	40,5	3,3
CNA + H ₂ O (%)	45,0	5,9
Ácido cítrico (%)	46,0	17,0

3.2.3 Caracterização dos solos

Para condução dos experimentos foram utilizadas amostras superficiais (0 ó 20cm) de um Latossolo Vermelho textura muito argilosa (LV) e um Neossolo Quartzarênico textura arenosa (NQ), coletados na região de Paraúna ó GO. A caracterização das amostras de terra quanto a granulometria foi realizado pelo método do densímetro (Embrapa, 1999) e a análise química foi realizada de acordo com a metodologia de Raij et al. (2001), ambas apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Características físicas e químicas de amostras do Latossolo Vermelho (LV) e do Neossolo Quartzarênico (NQ).

Característica	LV	NQ
Argila (g kg^{-1})	650,0	110,0
Silte (g kg^{-1})	100,0	40,0
Areia (g kg^{-1})	250,0	850,0
Matéria Orgânica (g dm^{-3})	27,0	15,0
Carbono Orgânico (g dm^{-3})	15,6	8,7
CTC ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	4,6	3,1
pH-CaCl ₂	4,3	4,2
H+Al ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	4,1	2,5
Al ³⁺ ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	0,3	0,4
Ca ²⁺ ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	0,2	0,3
Mg ²⁺ ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	0,1	0,2
K ⁺ (mgdm^{-3})	70,0	31,0
P(mgdm^{-3}) ^{1/}	0,8	2,4
P-resina (mgdm^{-3}) ^{2/}	2,0	5,0

^{1/} Extrator Mehlich-1; ^{2/} Extrator Resina trocadora de íons.

3.2.4 Caracterização da substância húmica

Foi utilizado nos experimentos um fertilizante organomineral sólido totalmente solúvel em água, a base de substância húmica obtida a partir de leonardita, conhecido comercialmente como Pow Humus WSG 85, produzido pela Empresa Humin Tech e

importado e fornecido pela Empresa Plant Defender® Tecnologia Agrícola Importação e Exportação LTDA. As características químicas do produto estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3. Características químicas do produto comercial a base de substância húmica(Pow Humus WSG 85).

Teores dos nutrientes	%	mg kg ⁻¹
P ₂ O ₅ (Total)	0,70	-
P ₂ O ₅ (CNA)	0,22	-
N	0,10	-
K ₂ O	8,50	-
Ca	1,62	-
Mg	0,17	-
S	0,20	-
B	-	26
Cu	-	48
Mn	-	34
Zn	-	48
Matéria Orgânica	50,10	-
Carbono Orgânico	29,10	-
Umidade	13,90	-

3.2.5 Condução do experimento de incubação de solo

Antes da implantação do experimento as amostras de solo foram secas ao ar, passadas por peneira de 2 mm e colocadas em sacos plásticos para realização da calagem em casa de vegetação, elevando a saturação por bases do solo a 60%. A necessidade de calcário foi calculada através do método de Elevação da Saturação por Bases (Souza et al., 2004). Em seguida a umidade do solo foi mantida a 80% da capacidade de embebição durante todo o experimento.

Após 23 dias de incubação, as amostras de solo foram acomodadas em vasos de plástico com capacidade de 0,2 litros. Os tratamentos compreenderam dois tipos de solo (Latossolo Vermelho - LV e Neossolo Quartzarênico - NQ), duas fontes de fósforo (Superfosfato triplo - SFT e Fosfato natural reativo - FNR), quatro doses do produto

comercial a base de substância húmica, que corresponderam a 0, 100, 200 e 400 kg.ha⁻¹,e três épocas de avaliação, aos 7, 15 e 30 dias após a implantação do experimento.

As quantidades de 75mg.dm⁻³ de P, 100 mg.dm⁻³ de K (cloreto de potássio), 100 mg dm⁻³ de N (uréia), 1 mg.dm⁻³ de B (Bórax), 3 mg.dm⁻³ de Zn (sulfato de zinco) foram adicionadas e homogeneizadas às amostras de solo. Os vasos foram arranjados em um delineamento inteiramente casualizado com três repetições.

Em cada época de avaliação as amostras foram coletadas e analisadas para determinação do P por extração com resina trocadoras de íons (P ó resina), conforme Raij et al. (2001), visto que o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da adição de doses de substância húmica, no teor de P disponível das fontes de P para cada tipo de solo. Os resultados do parâmetro P-resina foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P<0,05$), utilizando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2000). O efeito das doses de substância húmica para cada fonte de P e solo em função do tempo de incubação foram analisados por regressão.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística dos dados mostrou que houve interação significativa para todos os fatores e entre eles (doses de substância húmica, fontes de fósforo e períodos de incubação) para cada tipo de solo. A aplicação de substância húmica alterou a disponibilidade de fósforo nos solos, avaliado pela resina trocadora de íons.

Solos do Cerrado apresentam alta capacidade de adsorção de P, principalmente devido à predominância de argilas do tipo 1:1 e óxidos de Fe e Al. Esse problema de adsorção é agravado com o aumento do teor de argila dos solos. Para as fontes de P (SFT e FNR) no solo altamente argiloso (LV) (Tabela 4), observa-se o aumento do teor de P disponível à medida que se aumenta a dose de substância húmica até aos 14 dias de incubação, obtendo aumentos de 46% e 38% para as fontes SFT e FNR, respectivamente, na dose superior de substância húmica em relação à testemunha. Heng (1989) utilizando ácidos húmicos e fúlvicos em cinco solos altamente intemperizados reduziu em torno de 10% a adsorção de P.

Tabela 4. Efeito de fontes de P e doses de substância húmica no teor de P disponível no Latossolo Vermelho ao longo de diferentes períodos de incubação.

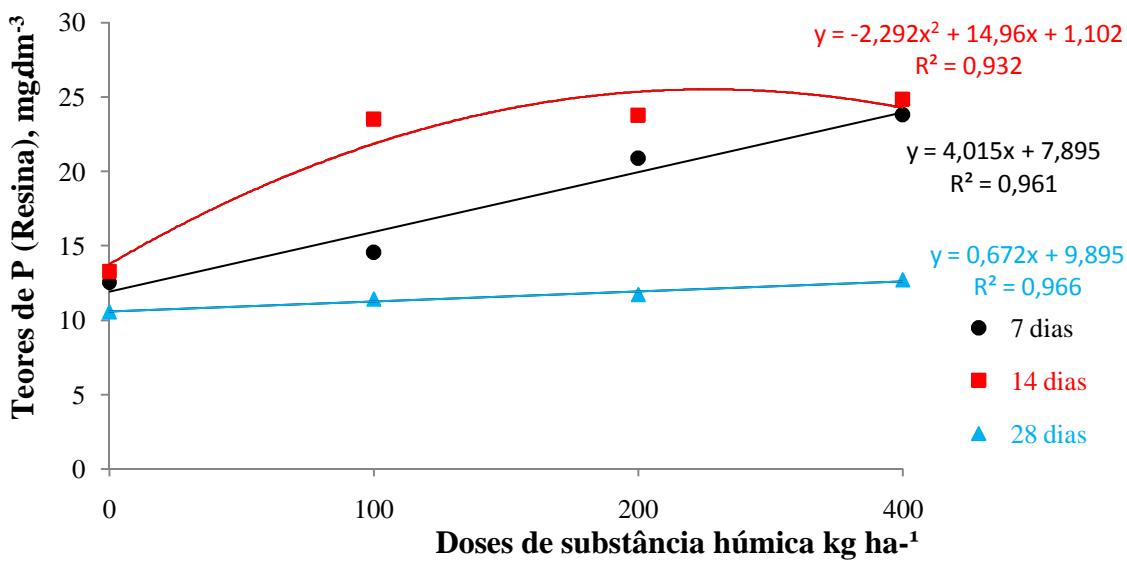
Fonte P	P-resina ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$)			
	Doses de substância húmica ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)			
	0	100	200	400
----- Período de Incubação (7 Dias) -----				
SFT	12,53 Aa a	14,53 Aa a	20,87 Ba a	23,80 Baa
FNR	9,10 Aa a	14,47 ABaa	18,50 Ba a	18,50 Bb a
----- Período de Incubação (14 Dias) -----				
SFT	13,23 Aa a	23,50 Ba b	23,73 Ba a	24,83 Baa
FNR	18,00 Ab b	20,60 Aa b	21,53 Aa a	29,20 Bbb
----- Período de Incubação (28 dias) -----				
SFT	10,53 Aa a	11,40 Aa a	11,70 Aa b	12,67 Aab
FNR	6,67 Aa a	7,40 Aa c	8,27 Aa b	10,70 Aac

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$). Letras maiúsculas nas linhas compararam as doses de substância húmica para cada fonte de P; letras minúsculas em negrito nas colunas compararam as fontes de P dentro de cada período de incubação; letras minúsculas normais nas colunas compararam os períodos de incubação para cada fonte de P.

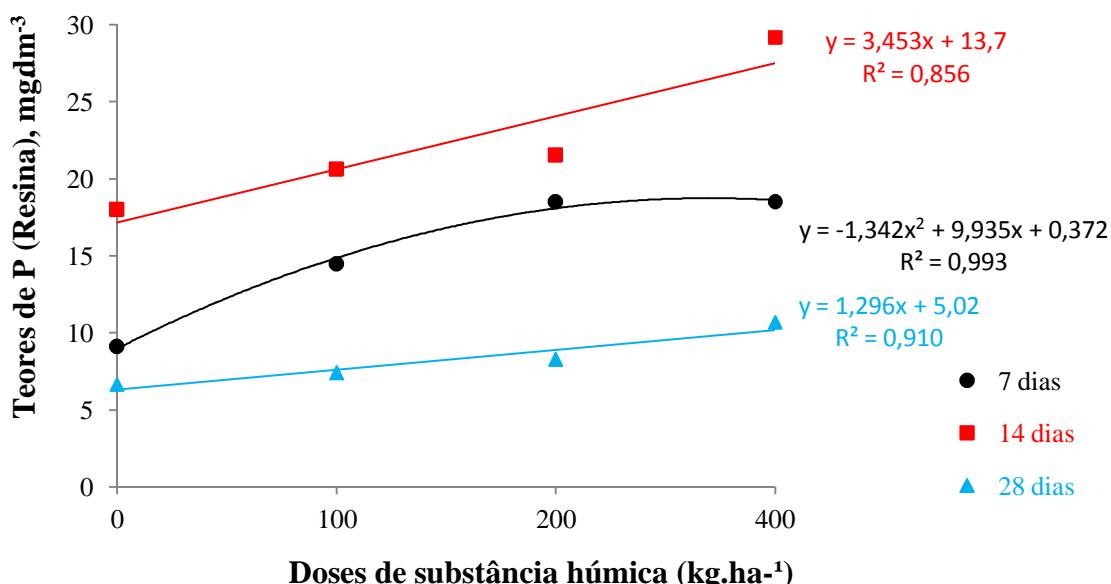
Aos 28 dias o efeito da competição da SH e P pelos mesmos sítios de adsorção no solo diminui, não sendo verificado diferença significativa entre as doses de SH neste período, para ambas as fontes de P. Entretanto, os tratamentos que receberam SH apresentam valor superior de P disponível em relação ao tratamento sem adição do produto. Segundo Matias (2010) essa redução da disponibilidade de P pode ser explicado devido a degradação da SH levando a adsorção do P no solo.

O efeito dos ácidos orgânicos no processo de bloqueio dos sítios de adsorção pode ocorrer por um período de tempo com cerca de 30 dias (Andrade, 2005). Já Guppy et al. (2005) observaram que a eficiência de ácidos húmicos e fúlvicos em diminuir a adsorção de P em Latossolo é reduzida após 10 dias da aplicação dos ácidos no solo.

Apesar da dose superior de SH (400 kg ha^{-1}) ter proporcionado os maiores teores de P disponível da fonte SFT nos três períodos de incubação, esses valores não diferiram estatisticamente dos valores de P disponível quando utilizada a dose de 200 kg ha^{-1} da SH (Tabela 4). A Figura 1 mostra o aumento do teor de P disponível da fonte SFT no LV com a adição de SH até os 14 dias, já na última avaliação verifica-se uma proximidade dos resultados para todos os tratamentos.



Para a fonte de P de menor solubilidade (FNR) a utilização da maior dose de SH proporcionou valor estatisticamente superior de P disponível aos 14 dias de incubação em relação as demais doses (Tabela 4). Semelhante à resposta da fonte de alta solubilidade, o FNR também apresenta o pico de disponibilidade de P até aos 14 dias e aos 28 dias de incubação nota-se uma estabilidade dos valores de P disponível (Figura 2).



Esses resultados sugerem que aos 28 dias o produto comercial a base de SH já não apresenta efeito no solo que proporcione maior disponibilidade de P.

No solo com baixo teor de argila (NQ), nota-se que a resposta da disponibilidade de P das fontes SFT e FNR em relação ao aumento das doses de SH são semelhantes, porém, diferente quando comparada ao solo altamente argiloso (LV) (Tabela 5).

Tabela 5. Efeito de fontes de P e doses de substância húmica no teor de P disponível no Neossolo Quartzarênico ao longo de diferentes períodos de incubação.

Fonte P	P-resina ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$)			
	Doses de substância húmica ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)			
	0	100	200	400
----- Período de Incubação (7 Dias) -----				
SFT	26,83 Aa a	35,83 Ba a	32,53 Ba a	23,13 Ca a
FNR	21,43 Ab a	31,60 Bba	18,87 ACba	16,00 Cba
----- Período de Incubação (14 Dias) -----				
SFT	35,03 Aa b	36,50 Aa a	27,30 Bab	18,63 Ca b
FNR	14,17 Ab b	17,27 ABb b	14,90 ABbb	11,90 Bbb
----- Período de Incubação (28 dias) -----				
SFT	12,97 Aa c	26,27 Ba b	31,33 Ca a	24,87 Baa
FNR	7,43 Ab c	11,80 Bbc	17,47 Cb ab	13,90 Bb ab

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). Letras maiúsculas nas linhas comparam as doses de substância húmica para cada fonte de P; letras minúsculas em negrito nas colunas comparam as fontes de P dentro de cada período de incubação; letras minúsculas normais nas colunas comparam os períodos de incubação para cada fonte de P.

A maior resposta da disponibilidade de P à adição de SH aos 7 dias no NQ foi obtida com a menor dose ($100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), 24% superior à testemunha, porém as doses superiores de SH reduziram a disponibilidade de P, inclusive abaixo dos valores obtidos no tratamento com ausência de SH. A hipótese para explicar este efeito é a de formação de pontes metálicas entre os ácidos húmicos e fúlvicos presente no produto à base de SH e o P. Como o NQ apresenta baixo teor de argila (11%), acredita-se que uma pequena quantidade de SH se ligou aos sítios de adsorção de P no solo e outra grande parte permaneceu disponível na solução do solo participando como superfícies de adsorção de P.

De acordo com Guppy et al. (2005) a capacidade da SH em adsorver P está diretamente relacionada com o conteúdo de Fe e Al presente no solo.

Nas figuras 3 e 4 pode-se observar uma semelhança na disponibilidade de P das diferentes fontes ao aumento da dose de SH, onde aos 7 dias a dose de 200 e 400 kg.ha⁻¹¹ de SH diminuíram a disponibilidade de P, seguindo da mesma forma aos 14 dias e voltando a aumentar a disponibilidade de P aos 28 dias. Possivelmente a degradação da SH pelos microorganismos do solo, desfazendo as pontes de cátions, foi responsável pelo aumento da disponibilidade de P na última época de avaliação.

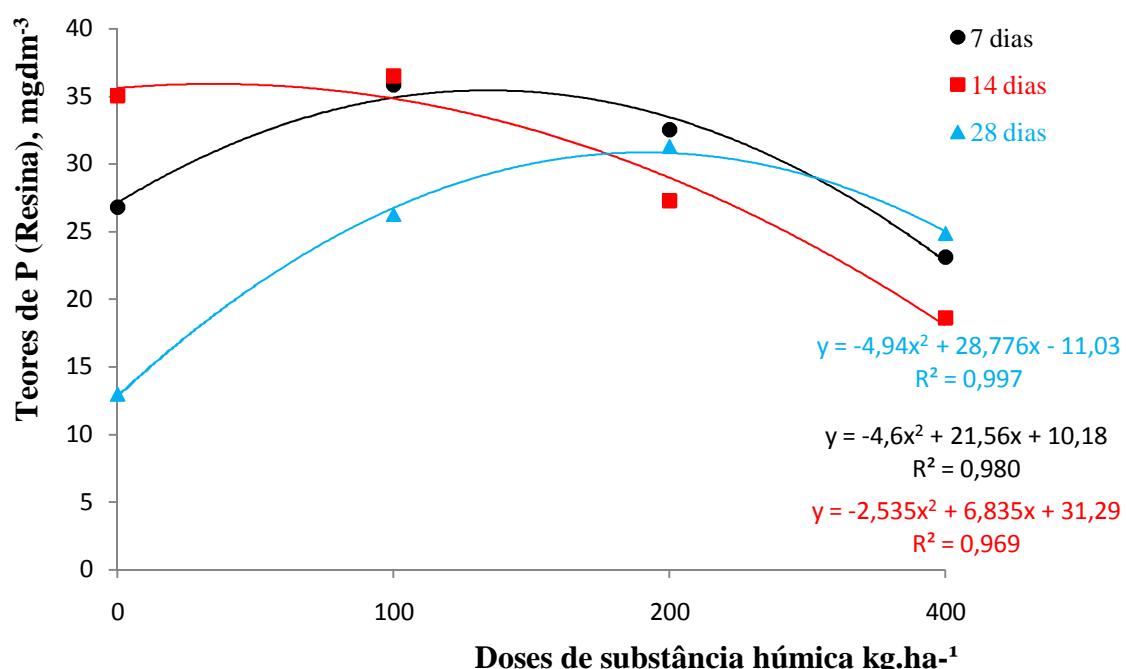


Figura 3. Efeito de doses de substância húmica no teor de P disponível ao longo dos períodos de incubação, para a fonte Superfosfato Triplo no Neossolo Quartzarênico.

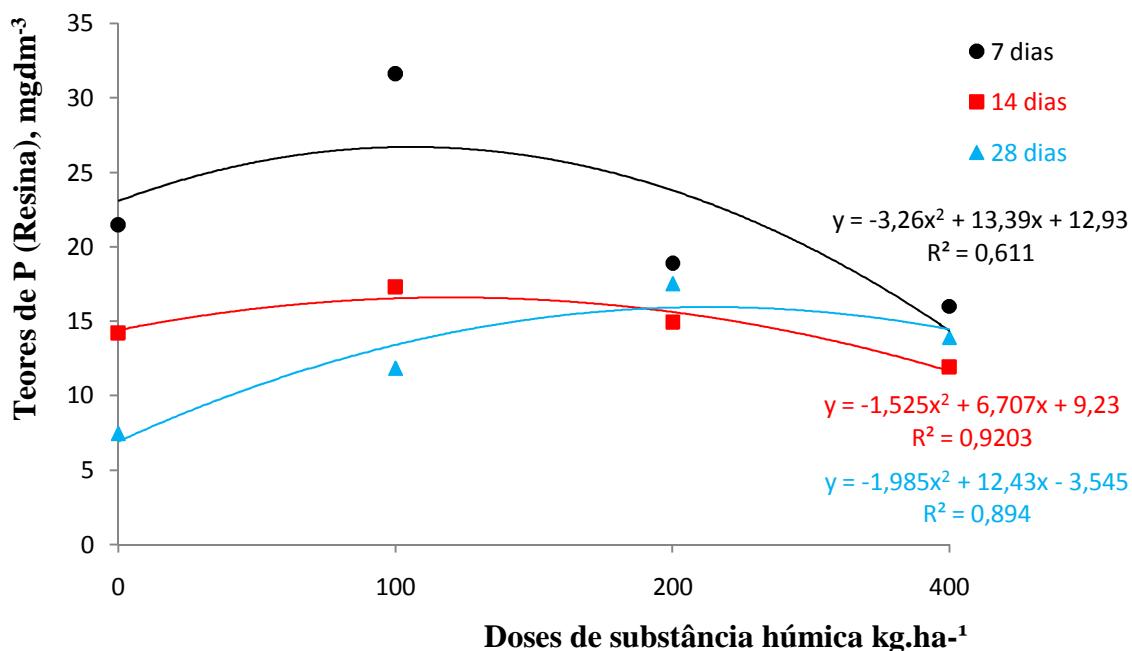


Figura 4. Efeito de doses de substância húmica no teor de P disponível ao longo dos períodos de incubação, para a fonte Fosfato Natural Reativo no Neossolo Quartzarênico.

Para o tratamento que recebeu a menor dose de SH (100 kg.ha^{-1}) o teor de P disponível diminuiu aos 28 dias, para ambas fontes de P, devido à degradação da SH e a adsorção do P no solo. Apesar disso, este tratamento mostrou-se superior estatisticamente na maioria dos períodos de incubação, sugerindo que para solos arenosos com baixa capacidade de adsorção de P, essa dose do produto comercial à base de SH pode ser a mais indicada.

3.4 CONCLUSÃO

A adição de substância húmica aumenta a disponibilidade de fósforo em solos com alto e baixo teor de argila.

A maior disponibilidade de fósforo no Latossolo Vermelho foi obtida com a utilização da dose de 400 kg.ha^{-1} do produto comercial à base de substância húmica. No Neossolo Quartzarênico esse resultado foi obtido utilizando a dose de 100 kg.ha^{-1} .

4 EFEITO DE SUBSTÂNCIA HÚMICA E FONTES DE FÓSFORO NA CULTURA DO MILHO

RESUMO

LOBO, L. M. Substância húmica e fontes de fósforo em Latossolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico. 2015. 46 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solo e Água)-Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.¹

Solos do Cerrado são solos antigos, bastante intemperizados, apresentando alta capacidade de adsorção de fósforo (P), reduzindo a disponibilidade do nutriente para as plantas. Um dos gargalos da produção agrícola nos solos do Cerrado é justamente este, disponibilidade de P no solo. Portanto, mecanismos que favoreçam o aumento da eficiência agronômica dos adubos fosfatados são de extrema importância nessas regiões para que possa alcançar altos níveis de produtividade das culturas. Desta forma, este estudo teve como objetivo verificar o efeito da adição de doses de substância húmica, na produção de massa seca de plantas de milho, no acúmulo de P nas plantas e a eficiência agronômica de fontes de fósforo em dois tipos de solos com diferentes capacidades de adsorção. A hipótese é que a SH e o P competem pelos mesmos sítios de adsorção no solo, consequentemente a adição deste produto aumenta a disponibilidade de P no solo, favorecendo a absorção do nutriente pelas plantas resultando em maior concentração de fósforo nas plantas e maior produção de massa seca, assim como aumentada eficiência agronômica das fontes de P. Este trabalho foi conduzido em casa de vegetação da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás. Os tratamentos compreendem quatro doses de substância húmica (0, 100, 200 e 400 kg.ha⁻¹) e duas fontes de fósforo (Superfosfato triplo ó SFT e Fosfato Natural Reativo ó FNR), em dois tipos de solos (Latossolo Vermelho ó LV e Neossolo Quartzarênico ó NQ). As fontes de P foram fornecidas em dose constante de 75 mg.dm⁻³ de P. Houve resposta estatisticamente significativa ($P<0,05$) de todas as variáveis avaliadas à adição de SH. No LV os parâmetros avaliados aumentaram com a adição crescente de SH, obtendo os melhores resultados com

uso da maior dose (400 kg.ha^{-1}). No NQ as melhores respostas foram obtidas com a adição de 100 kg.ha^{-1} da SH. Estes resultados indicam que a utilização de substância húmica é eficiente no aumento da produção de massa seca das plantas de milho e no teor de P acúmulado, assim como no aumento da eficiência agronômica das fontes de fósforo em diferentes solos.

Palavras-chave: P acumulado; Eficiência Agronômica Relativa; Adsorção de fósforo

¹Orientadora: Prof^a. Dr^a. Eliana Paula Fernandes Brasil. EA-UFG.

ABSTRACT

LOBO, L. M. Humic substance and phosphorus sources in Oxisol and Quartzipsamment. 2015. 46 f. Dissertation (Master in Agronomy: Soil and Water)-School of Agronomy, Federal University of Goiás, Goiânia, 2015.¹

Cerrado soils are ancient soils, highly weathered, with high phosphorus adsorption capacity (P), reducing nutrient availability to plants. One of the bottlenecks in agricultural production in Cerrado soils is precisely this, availability of P in the soil. Therefore, mechanisms to promote increased agricultural efficiency of phosphate fertilizers are extremely important in these regions so that you can achieve high crop yield levels. Thus, this study aimed to verify the effect of adding doses of humic substance in dry matter yield of maize plants, the accumulation of P in plants and phosphorus sources of agronomic efficiency in two types of soils with different adsorption capacities. The assumption is that the P and SH compete for the same adsorption sites in the soil, hence the addition of this product increases the availability of soil P, promoting nutrient absorption by plants resulting in higher concentration of phosphorus in the plants and higher production dry mass and increased agronomic efficiency of P sources. This work was conducted in a greenhouse of the Agronomy School of the Federal University of Goiás. The treatments consist of four doses of humic substance (0, 100, 200 and 400 kg.ha^{-1}) and two phosphorus sources (Triple superphosphate ó SFT and Natural Reactive phosphate ó FNR) in two soil types (Red Latosol ó LV and Quaetzipsamment ó NQ). The P sources were supplied in constant dose of 75 mg.dm^{-3} of P. There was a statistically significant

response ($P<0,05$) of all variables the addition of SH. LV in the evaluated parameters increased with increasing addition of SH, obtaining the best results with the use of the highest dose (400 kg.ha^{-1}). In the NQ the best results were obtained with the addition of 100 kg.ha^{-1} SH. These results indicate that the use of humic substance is effective in increasing the dry matter yield of the maize plants accumulated P content, as well as increasing the agronomic efficiency of phosphorus sources in different soils.

Keywords: Accumulated P; Relative Agronomic Efficiency; P sorption

¹Adviser: Prof^a. Dr^a. Eliana Paula Fernandes Brasil. EA-UFG.

Co-adviser: Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro. EA-UFG.

4.1 INTRODUÇÃO

Os solos brasileiros apresentam em sua grande maioria elevada capacidade de fixação de P (Braga, 2006), o que diminui a eficiência da adubação fosfatada, fazendo com que grandes quantidades deste nutriente sejam utilizadas para obter elevados níveis de produtividades das culturas (Matias, 2010). Logo, estudos devem ser realizados no sentido de aprimorar a eficiência das fontes de P disponíveis no mercado brasileiro (Braga, 2006).

Dentre os fatores que podem aumentar a eficiência da adubação fosfatada, destaca-se a participação da matéria orgânica (MO), em que os ácidos orgânicos oriundos da sua decomposição podem ser adsorvidos com grande energia pelos sítios de adsorção, desta forma, estes competem com o fósforo, aumentando assim, a disponibilidade deste nutriente às plantas (Andrade et al., 2003). De acordo com Fontes et al. (1992), o aumento da capacidade de adsorção de P em profundidade nos solos, está diretamente relacionado à redução nos teores de matéria orgânica, consequentemente, diminui a quantidade de substâncias húmicas e outros ânions capazes de bloquear a superfície dos óxidos. Fica evidente que a manutenção de teores altos de matéria orgânica é imprescindível para amenizar os efeitos da adsorção de P nos solos (Eberhardt et al., 2008).

Estudos tem demonstrado a redução da adsorção de fósforo devido à adição de substâncias húmicas em solos (Sibanda & Young, 1986; Violante & Gianfreda, 1993; Andrade et al., 2003; Andrade, 2005; Matias, 2010). Alguns mecanismos são utilizados por esses autores para explicar essa maior disponibilidade de fósforo no solo, que são: a

competição entre as substâncias húmicas e P pelos mesmos sítios de adsorção no solo, chamada de adsorção competitiva. E a complexação de óxidos Fe e Al, ou mesmo de Fe e Al na solução do solo, pelas SHs.

Ao longo dos anos, a produção e uso de muitos produtos comerciais contendo substâncias húmicas têm aumentado, sendo imprescindível uma investigação científica para comprovar seus efeitos na absorção de nutrientes por plantas e na melhoria do desenvolvimento geral do vegetal (Vasconcelos, 2006). Desta forma, este estudo teve como objetivo verificar o efeito da adição de doses de um produto comercial a base de SH, na produção de massa seca de plantas de milho, no acúmulo de P nas plantas e a eficiência agronômica de fontes de fósforo em dois tipos de solos com diferentes capacidades de adsorção. A hipótese é que a SH e o P competem pelos mesmos sítios de adsorção no solo, consequentemente a adição deste produto aumenta a disponibilidade de P no solo, favorecendo a absorção do nutriente pelas plantas resultando em maior concentração de fósforo nas plantas e maior produção de massa seca, assim como aumento da eficiência agronômica das fontes de P.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Condução do experimento com milho

Antes da implantação do experimento as amostras de solo foram secas ao ar, passadas por peneira de 2 mm e colocadas em sacos plásticos para realização da calagem em casa de vegetação, elevando a saturação por bases do solo a 60%. A necessidade de calcário foi calculada através do método de Elevação da Saturação por Bases (Souza & Lobato, 2004). Em seguida a umidade do solo foi mantida a 80% da capacidade de embebição durante todo o experimento.

Após 30 dias de incubação, as amostras de solo foram acomodadas em baldes de plástico com capacidade de 6,0 litros. Os tratamentos compreenderam dois tipos de solo (Latossolo Vermelho - LV e Neossolo Quartzarênico - NQ), duas fontes de fósforo (Superfosfato triplo - SFT e Fosfato natural reativo - FNR), quatro doses do produto comercial a base de substância húmica, que corresponderam a 0, 100, 200 e 400 kg.ha⁻¹ e dois cultivos.

As quantidades de 75 mg.dm⁻³ de P, 100 mg.dm⁻³ de K (cloreto de potássio), 100 mg dm⁻³ de N (uréia), 1 mg.dm⁻³ de B (Bórax),3 mg.dm⁻³ de Zn (sulfato de zinco)foram adicionadas e homogeneizadas às amostras de solo. Os vasos foram arranjados em um delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições.

Cinco sementes de milho (*Zea mays L.*) híbrido Limagrain 1060 foram semeadas por vaso e sete dias após a emergência foi feito o desbaste deixando duas plantas por vaso. As plantas foram coletadas 30 dias após a germinação, em seguida parte aérea e raízes foram acondicionadas separadamente em saco de papel e colocadas para secar em estufa de ventilação forçada a 60 °C.

A massa seca da parte aérea (MSPA) e a massa seca das raízes (MSR) foram obtidas em balança digital. O P foi extraído por digestão nitroperclórica e determinado colorimetricamente por meio de reação com ácido ascórbico (Braga & Defelipo, 1974). Os parâmetros avaliados foram: produção de massa seca da parte aérea (MSPA), P acumulado na planta e eficiência agronômica relativa (EAR) das fontes de fósforo.

Os resultados dos parâmetros avaliados (MSPA e P acumulado) foram submetidos à análise de variância, para verificar a significância dos efeitos das fontes de P e doses de SH na produção de MSPA e quantidade de P acumulado. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P<0,05$), utilizando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2000).

A eficiência agronômica relativa (EAR) das fontes de P com e sem adição de substância húmica foi calculada pela fórmula:

$$EAR_i (\%) = ((Y_{\text{fonte } i} \text{ ó } Y_{\text{testemunha}}) / (Y_{\text{fonte padrão}} \text{ ó } Y_{\text{testemunha}})) \times 100$$

onde: EAR_i : é a eficiência agronômica relativa da fonte i ;

$Y_{\text{fonte } i}$: resposta obtida para a produção de massa seca ou P acumulado para fonte i ;

$Y_{\text{fonte padrão}}$: resposta obtida para a fonte padrão de P (SFT) sem adição de SH;

$Y_{\text{testemunha}}$: é a resposta obtida sem aplicação de P e SH

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de substância húmica alterou a produção de massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR), bem como o conteúdo de P acumulado na parte aérea das plantas de milho (Tabela 6 e 7).

Tabela 6. Efeito de fontes de P e doses de substância húmica na produção de massa seca de plantas de milho cultivadas em Latossolo Vermelho.

Fonte P	Massa seca (g.vaso ⁻¹)			
	Doses de substância húmica (kg.ha ⁻¹)			
	0	100	200	400
----- Massa seca da parte aérea (g.vaso ⁻¹) -----				
SFT	15,26 Aa	17,03 ABa	17,30 Ba	17,97 Ba
FNR	3,03 Ab	3,09 Ab	3,59 ABb	4,9 Bb
----- Massa seca das raízes (g.vaso ⁻¹) -----				
SFT	10,17Aa	11,30ABA	12,74BCa	13,38Ca
FNR	5,62Ab	7,19ABb	7,76Bb	12,28Ca

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). Letras maiúsculas nas linhas compararam as doses de substância húmica para cada fonte de P e as letras minúsculas em negrito nas colunas compararam as fontes de P.

Tabela 7. Efeito de fontes de P e doses de substância húmica no teor de P acumulado nas plantas de milho cultivadas em Latossolo Vermelho.

Fonte P	Teor de P acumulado (mg.vaso ⁻¹)			
	Doses de substância húmica (kg.ha ⁻¹)			
	0	100	200	400
----- Teor de P acumulado na parte aérea (mg.vaso ⁻¹) -----				
SFT	3,32 Aa	3,69 Aa	4,02 ABa	4,33 Ba
FNR	0,40 Ab	0,52 Ab	0,62 Ab	0,84 Ab
----- Teor de P acumulado nas raízes (mg.vaso ⁻¹) -----				
SFT	1,11Aa	1,26Aa	1,93Ba	2,36Ba
FNR	0,61Ab	0,88 Ab	1,12 Bb	1,98Cb

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). Letras maiúsculas nas linhas compararam as doses de substância húmica para cada fonte de P e as letras minúsculas em negrito nas colunas compararam as fontes de P.

Pode-se dizer que as respostas deste trabalho é reflexo dos resultados obtidos no experimento do capítulo anterior, que mostra o aumento da disponibilidade de P à medida que se aumenta a dose de substância húmica (SH) no solo altamente argiloso (Latossolo Vermelho ó LV). De acordo com Andrade (2005) a ocupação dos sítios de adsorção de P no solo por ácidos húmicos e fúlvicos, promove a maior concentração de fosfato em solução, aumentando sua disponibilidade para as plantas. Consequentemente, essa maior disponibilidade de P no solo favoreceu o aumento da absorção deste nutriente pelas plantas, resultando em uma maior concentração de P e produção de massa seca das plantas de milho.

No LV a produção de MSPA e MSR foi estatisticamente superior para a fonte de P de elevada solubilidade em água quando comparado ao FNR (Tabela 6). O mesmo foi observado para a quantidade de P acumulado (Tabela 7). Silva et al. (1999), utilizando SHs, extraídas a partir de carvões, na cultura do milho, obtiveram aumento nas produções de matéria seca de colmos em 161,55%, de folhas em 96,73% e de raízes em 162,86%, assim como, aumento no comprimento do sistema radicular e maior superfície ocupada pelas raízes. No NQ observa-se mudanças na resposta aos tratamentos quando comparado com o solo altamente argiloso. As tabelas 8 e 9 mostram que as variáveis avaliadas (MSPA, MSR e P acumulado) respondem ao aumento das doses de substância húmica até a utilização de 100 kg.ha⁻¹.

Tabela 8. Efeito de fontes de P e doses de substância húmica na produção de massa seca de plantas de milho cultivadas em Neossolo Quartzarênico.

Fonte P	Massa seca (g.vaso ⁻¹)			
	Doses de substância húmica (kg.ha ⁻¹)			
	0	100	200	400
----- Massa seca da parte aérea (g.vaso ⁻¹) -----				
SFT	24,82 Aa	27,90 Ba	27,97 Ba	27,33 Ba
FNR	4,14 Ab	6,11 Bb	6,04 Bb	4,98 ABb
----- Massa seca da raiz (g.vaso ⁻¹) -----				
SFT	15,82 Aa	18,97Ba	18,76Ba	18,12Ba
FNR	7,46Ab	13,17Bb	12,20Bb	8,06 Ab

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). Letras maiúsculas nas linhas comparam as doses de substância húmica para cada fonte de P e as letras minúsculas em negrito nas colunas comparam as fontes de P.

Tabela 9. Efeito de fontes de P e doses de substância húmica no teor de P acumulado nas plantas de milho cultivadas em Neossolo Quartzarênico.

Fonte P	Teor de P acumulado (mg.vaso^{-1})			
	Doses de substância húmica (kg.ha^{-1})			
	0	100	200	400
----- Teor de P acumulado na parte aérea (mg.vaso^{-1}) -----				
SFT	7,25 Aa	8,83 Ba	8,91 Ba	8,81 Ba
FNR	1,44 Ab	2,14 Bb	1,61 Ab	1,59 Ab
----- Teor de P acumulado nas raízes (mg.vaso^{-1}) -----				
SFT	1,33Aa	2,06Ba	1,87ABa	1,79Aba
FNR	1,11Aa	3,05Cb	2,12Ba	1,26Ab

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Letras maiúsculas nas linhas compararam as doses de substância húmica para cada fonte de P e as letras minúsculas em negrito nas colunas compararam as fontes de P.

Analizando o valor da MSPA e MSR para a fonte de alta solubilidade (Tabela 8), nota-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos que receberam SH, porém todos estes tratamentos foram superiores ao tratamento sem adição de SH. Para a fonte de baixa solubilidade a maior dose de substância húmica (400 kg.ha^{-1}) não diferiu estatisticamente da testemunha.

O tratamento 2 também se mostrou o mais eficiente em relação ao acúmulo de P na parte aérea e raízes das plantas de milho, tanto para o SFT quanto para o FNR. Esses resultados sugerem que a dose do produto comercial a base de SH de maior eficiência para esse tipo de solo é a de 100 kg.ha^{-1} .

A quantidade e mineralogia das argilas que confere maior capacidade de adsorção de P do solo, afetam a eficiência dos ácidos húmicos em competir com o P pelos sítios de adsorção (Violante et al., 1996). Neste trabalho foi possível observar duas realidades, o comportamento da SH em um solo com alto teor de argila, onde a maior resposta de disponibilidade de P, P acumulado na planta e produção de matéria seca foi obtida com a maior dose do produto (400 kg.ha^{-1}), ou seja, a maior dose do produto se mostrou mais eficiente em ocupar o grande número de sítios de adsorção de P presente neste solo (LV). Diferentemente, no NQ a alta disponibilidade de SH em um solo com baixo teor de argila, ou seja, um solo com uma menor quantidade de sítios de adsorção de P, levou a formação de pontes metálicas entre o P e o composto orgânico, podendo explicar a redução das variáveis avaliadas com a utilização das duas maiores doses (200 e

400 kg.ha⁻¹). A Eficiência agronômica relativa (EAR) das fontes de P em função das doses de substância húmica encontra-se na Tabela 10. A adição de SH aumentou a EAR das fontes de P (SFT e FNR) para os dois solos avaliados.

Tabela 10. Eficiência agronômica relativa (EAR) das fontes de P dentro de cada dose de substância húmica e solo, com base na produção de massa seca da parte aérea, massa seca das raízes e quantidade de P acumulados nas plantas de milho.

Doses de SH	Eficiência Agronômica Relativa (EAR)			
	LV ¹		NQ ²	
	Fontes de P	Fontes de P	SFT ³	FNR ⁴
----- Massa seca da parte aérea (g.vaso ⁻¹) -----				
0	100	13	100	12
100	113	13	113	19
200	115	17	113	19
400	120	25	111	15
----- Massa seca das raízes (g.vaso ⁻¹) -----				
0	100	50	100	43
100	112	67	122	82
200	129	73	120	75
400	137	124	116	47
----- P acumulado na parte aérea (mg.vaso ⁻¹) -----				
0	100	8	100	17
100	112	11	123	27
200	122	14	124	19
400	132	21	122	19
----- P acumulado nas raízes (mg.vaso ⁻¹) -----				
0	100	53	100	82
100	115	79	155	230
200	180	102	141	159
400	205	225	134	95

¹LV: Latossolo Vermelho; ²NQ: Neossolo Quartzarênico e ³SFT: Superfosfato triplo; ⁴FNR: Fosfato natural reativo.

Para o solo altamente argiloso (LV) a EAR das fontes de P aumentam à medida que se eleva a dose de SH aplicada no solo. Esse resultado mostra que a capacidade de adsorção de P deste solo é alta e que é necessária a maior dose de SH para se ligar a estes sítios de adsorção, resultando aumento dos valores das variáveis avaliadas. Já para o solo arenoso (NQ) observa-se o aumento da EAR das fontes de P com a adição de 100 kg.ha⁻¹ da SH e a sua redução a partir da adição das doses mais elevadas. Provavelmente a formação de pontes metálicas entre a SH e o P seja responsável pela redução das variáveis avaliadas.

Comparando as fontes de P é possível verificar que de modo geral, a EAR é maior com a utilização do SFT. Esse efeito pode ser explicado devido à alta solubilidade desta fonte em relação ao FNR.

4.4 CONCLUSÃO

A aplicação de substância húmica aumenta a produção de massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes(MSR) e P acumulado nas plantas de milho nos dois tipos de solos.

Os maiores valores dos parâmetros avaliados (MSPA, MSR e P acumulado) no Latossolo Vermelho foram obtidos com a utilização da dose de 400 kg.ha⁻¹ do produto comercial à base de substância húmica. No Neossolo Quartzarênico os resultados superiores das variáveis avaliadas (MSPA, MSR e P acumulado) foram obtidos utilizando a dose de 100 kg.ha⁻¹.

A Eficiência Agronômica Relativa das fontes de P é maior após a adição de substância húmica nos solos.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEONI, L. R. F. **Disciplina LSN 5877: Química de solos com carga variável. Pós-graduação em solos e nutrição de plantas.** Piracicaba: ESALQ, 2003. 50 p.
- ALMEIDA JÚNIOR, A. B.; NASCIMENTO, C. W. A.; SOBRAL, M. F.; SILVA, F. B. V.; GOMES, W. A. **Fertilidade do solo e absorção de nutrientes em cana-de-açúcar fertilizada com torta de filtro.** Campina Grande: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v15n10/v15n10a03.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2013.
- ANDRADE, F. V. **Ácidos orgânicos e sua relação com adsorção, fluxo difusivo e disponibilidade de fósforo em solos para plantas.** 2005. 123 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa, 2005.
- ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. H.; NOVAIS, R. F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.1003-1011, 2003.
- ARAÚJO, L. G. **Frações de fósforo em latossolo do Cerrado sob sistemas de manejo, fontes e modos de aplicação de adubo fosfatado.** Brasília: UNB/ Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2013. 61 p. Disponível em: <<http://www.bdm.bce.unb.br/>>. Acesso em: 15 abr. 2013.
- BALDOTTO, L. E. B.; BALDOTTO, M. A.; GIRO, V. A.; CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; SMITH, R. B. Desempenho do abacaxizeiro -Vitória- em resposta à aplicação de ácidos húmicos durante a aclimatação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.979-990, 2009.
- BASTOS, A. L.; COSTA, J. P. V. DA; SILVA, I. DE F. DA; RAPOSO, R. W. C.; OLIVEIRA, F DE A.; ALBUQUERQUE, A. W. de. Resposta do milho a doses de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.5, p.485-491, 2010.
- BELDROCK, C. N.; CHESHIRE, M. V.; SHAND, C. A. The involvement of iron and aluminum in the bonding of phosphorus to soil humic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 28, p. 961-971, 1997.
- BENITES, V. M.; POLIDORO, J. C.; MENEZES, C. C. O. **Aplicação foliar de fertilizante organo mineral e soluções de ácido húmico em soja sob plantio direto.** Comunicado Técnico Embrapa Solos, Rio de Janeiro, n° 35, 2006. 6p.

BERNARDES, J. M.; REIS, J. M. R.; RODRIGUES, J. F. Efeito da Aplicação de substância húmica em mudas de tomateiro. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 4, n. 3, p. 92-99, set/dez. 2011.

BHATTI, J. S.; COMEFORD, N. B.; JOHNSTON, C.T. Influence of oxalate and soil organic matter on sorption and desorption of phosphate onto a Spodic horizon. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.62, p.1089-1095, 1998.

BOLAN, N. S.; WHITE, R. E.; HEDLEY, M. J. A review of the use of phosphate rocks as fertilizers for direct application in Australia and New Zealand. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 30, p. 297-313, 1990.

BRAGA, G. Eficiência de fosfatos com solubilidade variável em água em solos com capacidade de fixação de fósforo induzida. 2006. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas)- Escola Superior de Agricultura Ó Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, v. 21, p. 73-85, 1974.

CACCO, G.; ATTINÀ, E.; GELSOMINO, A.; SIDARI, M. Effect of nitrate and humic substances of different molecular size on kinetic parameters of nitrate uptake in wheat seedlings. **Journal of Plant Nutritionand Soil Science**, Temuco, v. 163, p.313-320, 2000.

CANELAS, L. C. & SANTOS, G. A. **Humosfera: Tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. Campos dos Goytacazes, 2005. 309p.

COELHO, A.; M.; ALVES, V.; M.; C. Adubação fosfatada na cultura do milho. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003. Piracicaba. Anais... Piracicaba: Potafos/Anda, 2003. 31p. CD-ROM

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos safra 2012/2013**, sétimo levantamento, abril 2013. Brasília: CONAB, 2013. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_04_09_10_27_26_boletim_graos_abril_2013.pdf>. Acesso em: 23 de abril de 2013.

CORREIA, J. B.; REATTO, A.; SPERA, S. T. Solos e suas relações com o uso e o manejo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubaçao**. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. cap. 1, p. 29-61.

COSTA, C.N. **Efeitos das substâncias húmicas no desenvolvimento radicular da cebola, *Allium cepa L.*, e na cinética de absorção de fósforo e potássio**. Pelotas, Universidade Federal de Pelotas, 2001. 51p. (Tese de Mestrado).

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. M.; CANELLAS, L. P.; NOVOTNY, E. H.; MOUTTA, R. O.; TROMPOWSKY, P. M.; SANTOS, G. A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte a antrópico da amazônia (Terra Preta). **Acta Amazônica**, Manaus v.37, n.1, p. 91-98, 2007.

- DELGADO, A.; MADRID, A.; KASSEM, S.; ANDREU, L.; CAMPILLO, M. C. Phosphorus fertilizer recovery from calcareous soils amended with humic and fulvic acids. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 245, p. 277-286, 2002.
- DEMÉTRIO, R. **Efeitos da aplicação de matéria orgânica sobre a biomassa ó C microbiana do solo e o crescimento e absorção de nitrogênio em milho (Zea mays L.).** 1988. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Ó Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí, RJ. 1988.
- DUENHAS, L. H. **Cultivo orgânico de melão: aplicação de esterco e de biofertilizantes e substâncias húmicas via fertirrigação.** 2004. 73 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura Ó Luiz de Queirozó, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- EBERHARDT, D. N.; VENDRAME, P. R. S.; BECQUER, T.; GUIMARÃES, M. F. Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção do fósforo em Latossolos sob pastagens no cerrado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. Viçosa, v. 32, n. 3, p.1009-1016, 2008.
- FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000. São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.
- FONTANA, A; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; CUNHA, T. J. F.; SALTON, J. C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Revista Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 847-853, maio 2006.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; NASCIMENTO, G.B.; ANJOS, L.H.C. dos; EBELING, A.G. Frações da matéria orgânica e fertilidade de solos de Tabuleiro sob diferentes coberturas vegetais no norte fluminense - RJ. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRRJ, 11., 2001, Seropédica. **Anais**. Seropédica: UFRRJ, 2001. p.3-6.
- FONTES, M. R.; WEED, S. B.; BOWEN, L. H. Association of microcrystalline goethite and humic acid in some Oxisols from Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, p. 982-990, 1992.
- FORTUN, C.; RAPSCH, S.; ASCASO, C. Action of humic acid preparations on leaf development, mineral elements contents and chloroplast ultrastructure of ryegrass plants. **Photosynthetica**, Prague, v. 19, n. 3, p. 294-299, 1985.
- GEELHOED, J. S.; VAN RIEMSDIJK, W. H.; FINDENEGG, G. R. Simulation of the effect of citrate exudation from roots on the plant availability of phosphate adsorbed on goethite for extensor. **European Journal of Soil Science**, Bedforshire, v. 50, p. 379-390, 1999.
- GOEDERT, W. J.; REIN, T. A.; SOUZA, D. M. G. Eficiência agronômica de fosfatos naturais, fosfatos parcialmente acidulados e termofosfatos em solos de cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 25, n. 4, p. 521-530, 1988.

GOVINDASAMY, R.; CHANDRASEKARAN, S. Effect of humic acids on the growth, yield and nutrient content of sugarcane. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 117-118, p. 575-581, 1992.

GUPPY, C. N.; MENZIES, N. W.; MOODY, P. W.; BLAMEY, F. P. C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 43, p. 189-192, 2005.

HEDLEY, M. J.; HUSSIN, A.; BOLAN, N. S. New approaches to phosphorus fertilization. In: Symposium of phosphorus requirements for sustainable agriculture in Asia and Oceania, 1, 1990. Los Banos. Proceedingsí Manila: IRRI. 1990. p. 125-142.

HENG, L. C. Influence of some humic substances on P-sorption in some Malaysian soils under rubber. **Journal Nature Rubber Research**, Hevea, v.4, p.186-194, 1989.

HUE, N. V. Effects of organic acids/anions on P sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies. **Soil Science**, New Brunswick, v. 152, p. 463-471, 1991.

KANOVA, M. M. **Matéria orgânica Del suelo; su natureza, propriedades y métodos de investigación**. Barcelona, Oikos-tau, 365p. 1982.

KIRK, G. J. D. A model of phosphate solubilization by organic anion excretion from plant roots. **European Journal of Soil Science**, Bedforshire, v. 50, p. 369-378, 1999.

KORNDORFER, G.H.; LARA-CABEZAS, W.A.; HOROWITZ, N. Agronomic efficiency of reactive rock phosphates for corn production in Brazil. **Scientia agricola**, Piracicaba, v. 56, n.2, 1999.

KRENCHINSKI, F. H.; PLACIDO, H. F.; ALBRECHT, L. P.; DE MORAIS, M. F.; BARBOSA, A. P.; KRENCHINSKI, L. R.; TESSELE, A.; ALBRECHT, A. J. P. Efeito de Bioestimulante organomineral no tratamento de Sementes de Milho cultivado em safrinha no Oeste do Paraná. In:CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., 2012, Águas de Lindóia, SP. **Resumos...** Sete Lagoas, MG: ABMS, 2012. p. 1588-1594.

LEAL, J. R.; VELLOSO, A. C. X. Adsorção de fosfato em latossolos sob vegetação de cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 8, p. 91-98, 1973.

LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região centro oeste. In: OLIVEIRA, J. de; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W. J. (Ed.). **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília: Embrapa-DID, 1982. p. 201-239.

MACEDO, J. Os solos da região dos Cerrados. In: ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F., (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. UFV: SBCS. 1996. p. 135-155.

MATIAS, G. C. S. **Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados em solos com diferentes capacidades de adsorção de fósforo e teores de matéria orgânica**. 2010. 174

f. Tese (Doutorado em Ciências: Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura õLuiz de Queirozõ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

MENDONZA, H.N.S.; LIMA, E.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, L.A.; CEDDIA, M.B.; ANTUNES, M.V.M. Propriedades químicas e biológicas de solo de Tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 201-207, 2000.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Aspectos fisioquímicos envolvidos na fixação do fósforo no solo. In: Encontro Nacional de Rocha Fosfática, 5, 1991. São Paulo. **Anais...** São Paulo: 1991. p. 133-177.

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

NZIGUHEBA, G.; PALM, C. A.; BERESH, R. J.; SMITHSON, P. C. Soil phosphorus fractions and adsorption as affected by organic and inorganic sources. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 198, p. 159-168, 1998.

OBIHARA, C. H.; RUSSELL, E. W. Specific adsorption of silicate and phosphate by soils. **Journal of Soil Science**, New Brunswick, v. 23, p. 105-117, 1972.

OLIVEIRA, E. A. B. **Avaliação de método alternativo para extração e fracionamento de substâncias húmicas em fertilizantes orgânicos**. 2011. 48 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical: Tecnologia da Produção Agrícola)óInstituto Agronômico de Campinas, São Paulo, 2011.

OLIVEIRA JUNIOR, A.; PROCHNOW, L. I.; KLEPKER, D. Eficiência agronômica de fosfato natural reativo na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 5, p. 623-631, maio 2008.

PINTO, F. A. **Sorção e dessorção de fósforo em solos de cerrado**. 2012. 46 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal)-Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí, 2012.

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, Sergipe, v. 5, n. 7, p. 1-13, maio 2011.

QUAGGIOTTI, S.; RUPERT, B.; PIZZEGHELLO, D.; FRANCIOSO, O.; TUGNOLI, V.; NARDI, S. Effect of low molecular size humic substances on nitrate uptake and expression of genes involved in nitrate transport in maize (*Zea mays* L.). **J. Experimental Botany**, Oxford, n. 55, p. 803-813, 2004.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001. 284 p.

RAIJ, B. van. Métodos de diagnose de fósforo no solo em uso no Brasil. In: YAMADA, T. & ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**, Piracicaba, Potafos, 2004. p.563-582.

RAYLE, D. L. & CLELAND, R. E. The acid growth theory of auxin-induced cell elongation is alive and well. **Plant Physiology**, Rockville, v. 99, p. 1271-1274, 1992.

RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; FAQUIN, N. C. V.; KIMPARA, D. I.; SANTOS, J. Z. L.; CARNEIRO, L. F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 453-466, 2006.

RODDA, M.R.C.; CANELLAS, L.P.; FAÇANHA, A.R.; ZANDONADI, D.B.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L. & SANTOS, G.A. Estímulo no crescimento e na hidrólise de ATP em raízes de alface tratadas com humatos de vermicomposto. I - Efeito da concentração. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.30, p.649-656, 2006.

SANCHES, P. A.; UHERA, G. Management considerations for acids soils with hight phosphorus fixation capacity. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J. The role of phosphorus in agriculture. Madison: ASA; CSSA; SSSA, 1980. chap. 17, p. 471-514.

SANTOS, A. A. do E.; LIMA, J. S.; CARVALHO, G. C. de. Técnicas de aplicação de composto orgânico, proveniente de resíduos urbanos domésticos, no desenvolvimento vegetal. In: Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 6., 2002, Vitória. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002.

SANTOS, D. H.; SILVA, M. A.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; ECHE, F. R. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 443-449, 2011.

SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Ed.Genesis, Porto alegre, 1999.

SANTOS, J. Z. L.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; CURI, N.; CARNEIRO, L. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 705-714, 2008.

SIBANDA, H.M. & YOUNG, S.D. Competitive adsorption of humic acids and phosphate on goethite, gibbsite and two tropical soils. **Journal of Soil Science**, Madrid, v. 37, p. 197-204, 1986.

SILVA, A. C.; MENDONÇA, E. S. Modelo fractal de substâncias húmicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n.5, p. 903-908, 2001.

SILVA, C. F. **Indicadores da qualidade do solo em áreas de agricultura tradicional no entorno do Parque Estadual da Serra do Mar em Ubatuba (SP).** 2005. 80f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2005.

SILVA FILHO, A. V.; SILVA, M. I. V. Uso de ácidos orgânicos na agricultura. In: SEMINÁRIO CODA DE NUTRIÇÃO VEGETAL, 1., Petrolina, 2002. **Anais.** Petrolina: Compañia de Agroquimicos S. A., 2002. p. 125-149.

SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A.O.; CERRETA, C.A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E.J. (Ed.). **Fundamentos de química do solo.** Porto Alegre: Gênesis, 2000a. 174p.

SILVA, R. M. da. **Produção e qualidade da alface hidropônica cultivada com adição de substâncias húmicas.** 2001. 166 f. Tese (Doutorado em Engenharia: Metalurgia Extrativa)-Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

SILVA, R. M. da; JABLONSKI. A.; SIEWERTDT, L.; SILVEIRA JÚNIOR, P. Crescimento da parte aérea e do sistema radicular do milho cultivado em solução nutritiva adicionada de substâncias húmicas. **Revista Brasileira de Agrociência,** Pelotas, v. 5, n. 2, p. 101-110, 1999.

SILVA, R. M. da; JABLONSKI. A.; SIEWERTDT, L.; SILVEIRA JÚNIOR, P.; SANTOS JÚNIOR, L. F. dos.; KROTH, P. L. Metais pesados, macro e micronutrientes determinados nas raízes do milheto (*Pennisetum glaucum*) cultivado com adição de substâncias húmicas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., 2000, Viçosa. **Anais...** Viçosa, MG: SMZ/UFV, 2000b.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado:** Correção do solo e adubação. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, 416 p.

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.** 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. cap. 6, p. 147-168.

STEVENSON, F. J. **Cycles of: Carbon, nitrogen, phosphorus, sulphur, micronutrients.** New York: John Wiley, 1986. 380 p.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: Genesis, composition, reactions.** 2 ed. John Wiley & Sons, Nova Iorque, 1994.

SWIFT, R.S. **Molecular weight, size, shape, and charge characteristics of humic substances:** some basic considerations (449-465). In: HAYES, M.H.B. **HumicSubstance II: In search of structure.** New York : John Wiley & Sons, 1989. 764p.

VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos Cerrados.** Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997, 524 p.

VASCONCELOS, A. C. F. de. **Uso de biestimulantes nas culturas de milho e soja.** 2006. 111 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura ãLuiz de Queirozö, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

VAUGHAN, D.; ORD, B.G. Uptake and incorporation of C14-labelled soil organic matter by roots of *Pisumsativum* L. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 32, p. 679-687, 1976.

VIOLANTE, A.; GIANFREDA, L. Competition in adsorption between phosphate and oxalate on aluminium hydroxide montmorillonite complex. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 57, p. 1235-1241, 1993.

VIOLANTE, A.; RAO, M. A.; DE CHIARA, A.; GIANFREDA, L. Sorption of phosphate and oxalate by a synthetic aluminum hydroxysulphate complex. **Europen Journal of Soil Science**, Bedfordshire, v. 47, p. 241-247, 1996.