

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**FERTILIZANTES ORGANO-FOSFATADOS PRODUZIDOS PELO PROCESSO  
HUMIFERT: ESTUDO DAS TRANSFORMAÇÕES E CARACTERIZAÇÃO DOS  
PRODUTOS**

**Aline Carneiro Silverol**

**Orientadora: Profa. Dra. M. Cristina Motta de Toledo**

**TESE DE DOUTORADO**

**Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica**

**SÃO PAULO**

**2010**

## Resumo

O processo Humifert de produção de fertilizantes pode constituir-se em uma nova alternativa de aproveitamento desses materiais, pois fabrica compostos a partir de minérios inadequados aos processos industriais atualmente em uso, e ainda utiliza material orgânico, favorecendo e ampliando o uso de resíduos orgânicos. Além disso, os compostos organo-fosfatados podem apresentar características mais apropriadas ao clima tropical, com liberação mais lenta de  $P_2O_5$  e ainda, acrescentando matéria orgânica nos solos, melhorando suas características físico-químicas e possibilitando um aumento de produtividade.

Assim, os objetivos principais desta tese foram a (1) fabricação de fertilizantes organo-fosfatados a partir do minério fosfático de Angico dos Dias, (BA) e de dois tipos de lodo de esgoto doméstico (biossólido) antes e depois das alterações realizadas no reator, para avaliar se as mudanças promoveram modificações nos compostos; e a (2) caracterização dos compostos obtidos por métodos químicos (pH, Análise Elementar, Fracionamento Seqüencial do P e Solubilidade do P); mineralógicos (DRX, MEV/EDS e TG); e espectroscópicos (FTIR, FIL e RPE).

Os resultados obtidos indicaram que as alterações realizadas no reator promoveram significativas mudanças nas características químicas dos compostos, especialmente na solubilidade do P. A caracterização dos compostos Humifert mostrou que o processo foi capaz de modificar tanto a rocha fosfática quanto a matéria orgânica, transformando as formas menos solúveis presentes nesses materiais para formas mais solúveis. A disponibilização do P da rocha fosfática e a possível formação de *humic-like substances* devido à degradação da matéria orgânica promovida pelo ataque ácido permitiram a formação de complexos humato – fosfato, que resultaram na precipitação de *brushite-like*.

## Introdução

Os solos brasileiros, de uma maneira geral, possuem grandes restrições com relação à produção agrícola, já que são intensamente lixiviados, em virtude da predominância do clima tropical em sua formação. É importante salientar também que o esgotamento da fertilidade do solo em países de clima tropical é ocasionado não somente pelos agentes naturais, como a lixiviação, mas também do uso agrícola intensivo. Assim, para a viabilização da produção, é necessária a aplicação de fertilizantes para suprir o solo de macro e micronutrientes, indispensáveis ao desenvolvimento das plantas.

Por outro lado, o manejo aplicado na maioria das áreas agricultáveis no Brasil é inadequado e pouco eficiente, pois são utilizados fertilizantes químicos não apropriados para o tipo de solo e clima brasileiros, pois sua alta solubilidade facilita tanto os processos de indisponibilização, através da adsorção pelos minerais do solo, bem como sua lixiviação devido ao clima tropical (Van Straaden, 2006). As formulações mais utilizadas no Brasil são fabricadas com tecnologia importada de países com clima, mineralogia e dinâmica do solo bem diferentes das encontradas no Brasil.

O fósforo é um dos principais problemas relacionados à fertilização dos solos, devido ao seu comportamento biogeoquímico complexo e à sua baixa abundância no solo. Haygarth *et al.* (2005) alertam que, devido a problemática da presença do P no solo, são realizadas aplicações maciças de fertilizante químico fosfatado (20 e 50 kg por hectare/ano) sendo que a planta utiliza de imediato cerca de 8% desse total, e o restante fica disponível para ser adsorvido pelos minerais do solo e lixiviado pelas águas superficiais e pelos processos erosivos (Quinton *et al.* 2010).

A grande maioria dos fertilizantes fosfatados produzidos no Brasil origina-se principalmente do tratamento sulfúrico de concentrados de apatita, que requer, nos concentrados de minério, teores de 34 a 37% de  $P_2O_5$  e baixos teores de  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$  e  $Al_2O_3$ . A obtenção de concentrados que atendam às especificações de mercado, com no mínimo 25% de  $P_2O_5$ , inviabiliza a exploração mineira de muitos depósitos de rochas fosfáticas, já que boa parte desses depósitos, além de apresentarem problemas com relação ao teor ideal

de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, também apresentam impurezas que encarecem os processos de beneficiamento (Gharabaghi *et al.* 2010). Além disso, o tratamento dos minérios para obtenção dos concentrados resulta em grandes perdas de fósforo durante os rigorosos processos industriais. Ou seja, grandes volumes de matérias primas minerais deixam de constituir jazidas, sendo considerados estéreis ou minérios marginais e porções significativas do material lavrado são desprezadas como rejeitos de beneficiamento.

A matéria prima nacional para os fertilizantes fosfatados tem baixos teores (5 a 7% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em minérios lateríticos formados por intemperismo de complexos carbonatíticos principalmente, quando os grandes exportadores de minério fosfático têm jazidas de origem em fosforitos, com 20 a 30% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e constituição complexa, com variedade mineralógica que encarece a separação dos minerais de ganga. Por outro lado, os solos tropicais são pobres em nutrientes e em matéria orgânica, além de apresentar a característica de alta fixação de P em seus minerais típicos (caolinita e oxihidróxidos de Fe), necessitando, para uma alta produção agrícola, da aplicação de doses maciças de fertilizantes químicos.

A situação é agravada pelas indústrias brasileiras de fertilizantes fosfatados, que exigem certo grau de solubilidade (inadequado ao clima tropical, em que chove muito e a maior parte do P é solubilizado e ou fixado pelos minerais ou lixiviado, sem aproveitamento pelas plantas), além de certo grau de pureza, o que é inócuo pois há impurezas que não prejudicam a eficiência agrônômica, mas necessitam de tratamentos caros e complexos para separação e eliminação do produto final.

Righi *et al.* (2005) enfatizam, do ponto de vista ambiental, a importância da utilização de processos alternativos aos normalmente usados na produção de fertilizantes fosfatados, para melhor aproveitamento das jazidas. Esses autores mostraram que a rota nítrica, ou seja, o ataque do minério fosfático por HNO<sub>3</sub> ao invés de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, gera como produtos da reação Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> e H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, que permanecem no fertilizante. Desse modo, além de se obter um fertilizante complexo (com nitrogênio e fósforo), ainda evita-se a produção de fosfogesso, produto residual do processo químico, que pode conter quantidade significativa

de elementos como urânio, tório e cádmio, e constitui uma das principais causas de poluição radioativa tanto na produção de fertilizantes quanto nos locais onde são armazenados os rejeitos.

Existem, ainda, outros problemas que aumentaram à medida que a população ficou cada vez mais numerosa e urbanizada. Além da maior demanda por alimentos e biocombustíveis, e, conseqüentemente, fertilizantes, há, também, a maior produção de resíduos, como o lodo de esgoto doméstico, conhecido como biossólido. Os biossólidos são um produto inevitável do tratamento de esgoto, e seu manejo e armazenamento constituem-se em uma das fases mais dispendiosas do tratamento desses resíduos (Sumner, 2000; Huang *et al.* 2008). Com isso, aumentam-se a cada dia o interesse e as pesquisas relacionadas a utilização desse material, que, a longo prazo, e com os devidos cuidados, especialmente com metais pesados e patógenos que podem estar presentes nesses materiais, podem constituir-se em uma importante fonte de matéria orgânica para os sistemas agrícolas (Sumner, 2000).

Assim, a busca por novas formas de utilização dos materiais fosfáticos, por meio de novos processos de beneficiamento, e estudos sobre o aproveitamento de jazidas com baixo teor em P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e dos fosfatos não apatíticos, muito freqüentes na maioria dos complexos carbonatíticos brasileiros, tem sido valorizada e estimulada. Da mesma forma, deve ser valorizada e pesquisada a oportunidade de utilização de rejeitos como lodo de esgoto, que enriquece ainda mais os insumos alternativos para fertilização, pois são bem conhecidos os benefícios de adição de matéria orgânica no solo.

Nesse contexto, o processo Humifert (Sternicha, 1988) representa uma alternativa para o aproveitamento dos materiais fosfáticos não aproveitados para a produção de compostos fertilizantes e de matéria orgânica. O processo baseia-se em uma série de reações químicas envolvendo NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, materiais fosfáticos e orgânicos. Na fase final das reações, o ácido nítrico formado ataca a apatita presente no material fosfático, liberando total ou parcialmente o fósforo, formando novos compostos fosfáticos associados aos materiais orgânicos. Esses compostos possuem como vantagem uma liberação mais lenta do P neles contido, podendo ser utilizados não só como alternativa aos

fertilizantes químicos convencionais, em certas situações específicas, como também para a valorização dos materiais fosfáticos de baixo teor, de difícil aproveitamento ou de rejeito de minas e usinas de beneficiamento. A possibilidade de aproveitamento desses materiais fosfatados não considerados como minério viável significaria aumento nas reservas e na vida útil das jazidas e a exploração mais racional do bem mineral, causando redução dos custos de produção, estocagem e a quantidade destes rejeitos a ter interação físico-química com o ambiente.

A utilização de matéria orgânica para a fabricação dos compostos também constitui um benefício ambiental, já que abre mais um campo de utilização de materiais como lodo de esgoto e resíduos agro-industriais, diminuindo assim os gastos e as preocupações com estocagem e as interações físico-químicas que podem ocorrer. Portanto, o processo Humifert pode constituir em uma alternativa promissora no campo de fertilizantes alternativos, pois os compostos formados, além de envolverem rejeitos de minérios fosfáticos e matéria orgânica, são mais apropriados para nossos solos, devido à sua solubilidade mais baixa.

Existe, no entanto, uma grande lacuna com relação à compreensão das transformações que ocorrem durante o ataque ácido com o fósforo “liberado” da rocha fosfática e suas interações com a matéria orgânica, que são de grande importância para o entendimento do comportamento do fertilizante no solo e o seu melhor aproveitamento pelas plantas.

Assim, os principais objetivos dessa tese de doutorado foram:

✓ Fabricar os compostos Humifert antes e depois das modificações no reator original utilizado desde 2003 no Brasil, a partir dos mesmos materiais (minério fosfático de Angico dos Dias e lodo de esgoto) e avaliar se as modificações realizadas no reator promoveram melhoria nos resultados, com a comparação dos resultados obtidos pelos compostos fabricados na primeira etapa (antes das modificações) e na segunda etapa, (após as modificações) através das análises de solubilidade do P;

- ✓ Caracterizar as transformações (1) químicas, por meio da avaliação do pH, Fracionamento Seqüencial do P, Análise Elementar (C, N e H) e solubilidade do P em água, ácido cítrico 2% e citrato neutro de amônio; (2) mineralógicas, por meio da Difração de Raios X (DRX), Microscopia Eletrônica de Varredura com analisador EDS (MEV/EDS) e Termogravimetria (TG); e (3) espectroscópicas, através da Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR),
  
- ✓ Ressonância Paramagnética Eletrônica (RPE) e Fluorescência Induzida a Laser (FIL).

## Considerações Finais

Este trabalho apresentou como objetivos a (1) fabricação de compostos Humifert antes (ADLS1 e ADLC1) e depois (ADLS2 e ADLC2) das modificações no reator original utilizado desde 2003 no Brasil, a partir do minério fosfático de Angico dos Dias e de dois tipos de biossólido, para avaliar se as modificações realizadas no reator promoveram melhoria nos resultados e a (2) caracterização das transformações químicas, mineralógicas e espectroscópicas dos compostos produzidos antes e depois das modificações, através da utilização de diversas técnicas analíticas.

As alterações realizadas no reator indicaram uma significativa mudança no comportamento dos compostos, que se refletiram nos resultados de solubilidade do P. A maior solubilidade dos compostos produzidos na segunda etapa (ADLS 2 e ADLC2) em ácido cítrico, enquanto os compostos fabricados na primeira etapa (ADLS1 e ADLC1) apresentaram maior solubilidade em citrato neutro de amônio (CNA), sugerem que as mudanças realizadas no equipamento promoveram um ataque mais intenso na mistura, resultando em compostos com maior solubilidade, o que pode ter influenciado na precipitação de *brushite-like*.

Na caracterização química, o pH e a Análise Elementar indicaram algumas similaridades quando os compostos Humifert foram comparados com materiais orgânicos que foram submetidos a compostagem tradicional. Entretanto, esses resultados divergem dos dados obtidos por Espectroscopia de Infravermelho (FTIR), onde não foram observadas bandas características de materiais compostados. Isso demonstra a complexidade na caracterização dos compostos Humifert, que pode ser justificado pela instabilidade na produção dos óxidos de nitrogênio, o que ocasiona um diferente ataque a cada composto, dificultando as comparações.

Os resultados obtidos no Fracionamento Seqüencial do P e na solubilidade do P em água, ácido cítrico e citrato neutro de amônio (CNA) mostraram que o aumento da solubilidade esteve relacionado ao tempo de exposição ao processo Humifert, ou seja, quanto maior foi o tempo de reação, maior foi a



solubilidade. No entanto, os resultados não apresentaram uma evolução contínua da solubilidade, sugerindo que, além do ataque não ser igual devido a instabilidade do reator, gerando diferentes ataques e conseqüentemente diferentes produtos, a natureza da matéria orgânica também pode ter influenciado no processo. O lodo de esgoto é um material extremamente heterogêneo, sujeito a variação diária na sua composição, o que também pode ter influenciado nos diferentes comportamentos dos compostos.

Na caracterização mineralógica, as análises por DRX dos produtos Humifert indicaram a presença de picos que podem pertencer a brushita (7.57, 4.24, 3.05, 2.92 e 2.62 Å), além da diminuição de intensidade dos picos da apatita. Esses resultados sugerem que houve o consumo de apatita e a transformação do P disponibilizado em outra fase mineral.

As observações ao MEV mostraram grãos de apatita com feições de dissolução, que podem ter sido promovidas pelo ataque ácido do processo Humifert, o que pode ter favorecido a liberação do P para as outras fases. Além disso, as análises microlocalizadas feitas por EDS mostraram que os aglomerados de matéria orgânica apresentam uma composição química variada, com a presença de P e outros elementos como C, Al, Fe, Mn, etc. Ainda, foi possível observar a presença de uma fase neoformada nos produtos Humifert, confirmando os resultados obtidos pela DRX. A fase neoformada apresentou uma morfologia similar à observada por Fernandes (2007), que caracterizou monetita precipitada em laboratório por MEV. Levando-se em consideração que a brushita ( $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) pode ser uma monetita ( $\text{CaHPO}_4$ ) hidratada, podemos sugerir que o material precipitado nos produtos Humifert pode ser *brushite-like*.

Na caracterização espectroscópica, os espectros obtidos por FTIR indicaram a presença de uma fase neoformada, que pode ter dado origem ao pico 1384  $\text{cm}^{-1}$ , que só aparece nos produtos Humifert. Além disso, a região de absorção entre 1200 – 900  $\text{cm}^{-1}$ , que também pode ser caracterizada como a região de absorção do  $\text{PO}_4^{3-}$ , não mostrou diminuição da intensidade quando foram comparados o composto inicial (0h) com os produtos Humifert. Isso pode sugerir que houve contribuição de outros grupos funcionais para manter essa

banda, como a fase neoformada (*brushite-like*), bem como os complexos humato – fosfato (P orgânico) formados durante e/ou após o processo Humifert, no período de maturação.

As técnicas de RPE, FIL e TG foram utilizadas de modo exploratório, para avaliar a potencialidade do uso dessas técnicas em compostos organo-minerais submetidos ao processo Humifert. Entretanto, devido a problemas tanto dos materiais que compunham o composto (presença de Fe) quanto à ausência de trabalhos sobre materiais similares aos compostos Humifert, a interpretação bem embasada dos espectros ficou comprometida. Contudo, com a criação de compostos “padrão” e calibração das técnicas, será possível extrair ao máximo todas as informações que essas técnicas podem oferecer.

O conjunto de resultados obtidos mostrou um significativo avanço na compreensão dos compostos Humifert, pois foi possível identificar com mais precisão a existência de uma fase neoformada, o que não foi possível nos trabalhos anteriores (Oba, 2000; Passos, 2005; Toledo *et al.* 2005; Silverol, 2006; Silverol *et al.* 2007).

Além disso, ficou ainda mais claro o papel-chave da matéria orgânica no processo Humifert, já que a degradação promovida pelo ataque ácido pode formar *humic-like substances*, que se associam ao grupo fosfato liberado tanto da matéria orgânica (P orgânico) quanto pela apatita, originando os complexos humato – fosfato, que podem ser os precursores da *brushite-like*.

As dificuldades encontradas na caracterização dos compostos devem-se a própria complexidade da matéria orgânica e das reações entre sua própria fase orgânica e a fase mineral (rocha fosfática) presente no composto. O lodo de esgoto apresenta uma composição química muito variada, além das variações composicionais devido ao local de origem. Assim, devido às variabilidades do próprio reator, além da heterogeneidade da rocha fosfática e da matéria orgânica, avaliamos que o lodo de esgoto não é o material mais adequado quando ainda não existe total conhecimento das reações envolvidas e das interações entre o ácido da reação, matéria orgânica e rocha fosfática. Isso pode ter impedido um maior avanço na caracterização dos compostos, pois

não se conseguiu criar um padrão de possíveis reações entre matéria orgânica e rocha fosfática, e conseqüentemente das fases que podem se formar.

Portanto, apesar das dificuldades encontradas e dos resultados ainda não conclusivos, podemos destacar que o processo Humifert de fabricação de fertilizantes fosfatados pode ser um método muito eficiente de obtenção de fertilizantes alternativos. O ataque ácido promovido pelo processo foi capaz de promover a liberação do P presente na apatita para se associar a outras fases, e tornar-se mais solúvel; ainda, o processo realiza uma importante degradação da matéria orgânica, possibilitando a formação de *humic-like substances* e assim formar complexos humato – fosfato, que podem ser muito interessantes do ponto de vista agrônômico.

Finalmente, devemos destacar que todos os problemas encontrados no desenvolvimento desse trabalho relacionam-se a pontos que devem ser aprofundados em pesquisas futuras, com o objetivo de (1) entender o que de fato acontece com a matéria orgânica durante o processo Humifert, utilizando um material orgânico com pouca variação composicional e realizando o ataque somente na matéria orgânica, (2) compreender o grau de degradação que o processo Humifert realiza na matéria orgânica, e assim encontrar um material orgânico ideal (mais lábil ou mais recalcitrante) para as condições de ataque do reator, (3) identificar os grupos funcionais de P dos materiais iniciais e transformados para investigar as modificações e as implicações agrônômicas dessas mudanças, como o aumento da solubilidade dos compostos, formação de complexos e precipitação de fases neoformadas e (4) investigar o comportamento do composto Humifert no solo e na disponibilização do P para a planta, e a interface solo – composto.

## Referências Bibliográficas

ABOUZEID, A-Z. M. (2008) Physical and thermal treatment of phosphate ores: an overview. *International Journal of Mineral Processing*, 85, 59 – 84.

ALVAREZ, R.; EVANS, L. A.; MILHAM, P. J.; WILSON, M. A. 2004. Effects of humic material on the precipitation of calcium phosphate. *Geoderma* 118, 245 – 260.

AMIR, S.; JOURAIPHY, A.; MEDDICH, A.; EL GHAROUS, M.; WINTERTON, P.; HAFIDI, M. (2010) Structural study of humic acids during composting of activated sludge-green. *Journal of Hazardous Materials*, 177, 524 – 529.

AMOROS, B. (1987) *Interactions entre des composés humiques et les phosphates monocalcique et dicalcique*. 191p. Thèse de doctorat, L'Institut National Polytechnique de Toulouse.

ARCAND, M. M.; SCHNEIDER, K. D. (2006) Plant and microbial-based to improve the agronomic effectiveness of phosphate rock: a review. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78, 792-807.

BARROS, A.J.M.; SANTOS, J.C.O; PRASAD, S.; LEITE, V.D.; SOUZA, A.G.; SOLEDADE, L.E.B.; DUARTE, M.S.B.; SANTOS, V.D. dos (2006) Thermal decomposition study of sewage sludge and of organic waste used in the sorption of metals. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 83, 291 – 295.

BENEDITO, D. da S. (2007) Eficiência agrônômica de fontes alternativas de fósforo e modelo de predição do uso de fosfatos naturais. Tese (Doutorado). 150p. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, São Paulo.

BENEDITO, D. da S; PROCHNOW, L.I.; SILVEROL, A. C.; TOLEDO, M.C.M. (2010). Eficiência agrônômica de compostos organo-fosfatados obtidos pelo processo Humifert. *Bragantia*, 69, 191-199.

BIDEGAIN, R. (1995). *Composition d'un amendement organo-phosphate obtenu par traitement aux oxydes d'azote de composés ligno-cellulosiques*.

*Valeur agronomique comparée à un compost*. 201p. Thèse de doctorat, L'Institut National Polytechnique de Toulouse.

BIDEGAIN, R.A.; KAEMMERER, M.; GUIRESSE, M.; HAFIDII, M.; REY, F.; MORARD, P.; REVEL, J.C. (2000). Effects of humic substances from composted or chemically decomposed poplar sawdust on mineral nutrition of ryegrass. *Journal of Agricultural Science*. 134, 259-267.

BISWAS D.R., NARAYANASAMY G. (2006). Rock phosphate enriched compost: An approach to improve low-grade Indian rock phosphate. *Bioresource Technology*. 97, 2243–2251.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais. Brasília, Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, 1982. 104 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos. Brasília, Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, 2007. 141 p.

BRUNETTI, G.; PLAZA, C.; CLAPP, C.E.; SENESI, N. (2007). Compositional and functional features of humic acids from organic amendments and amended soils in Minnesota, USA. *Soil Biology & Biochemistry*, 39, 1355-1365.

CADE-MENUN, B.J. (2005). Characterizing phosphorus in environmental and agricultural samples by <sup>31</sup>P Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy. *Talanta*, 66, 359-371.

CONDRON, L.M. ; FROSSARD, E.; TIESSEN, H.; NEWMAN, R.H.; STEWART, J.W.B. (1990). Chemical nature of organic phosphorus in cultivated and uncultivated soils under different environmental conditions. *Journal of Soil Science*, 41, 41-50.

CONDRON, L.M. (2004) Phosphorus: surplus and deficiency. *In* Managing soil quality: challenges in modern agriculture. (Eds. SCHJONNING, P.; ELMHOLT, S.; CHRISTENSEN, B.T.) pp. 69-84 (CABI Publishing: New York USA).

CONDON, L.M.; TURNER, B.L.; CADE-MENUN, B.J. (2005). Chemistry and dynamics of soil organic phosphorus. *In Phosphorus: Agriculture and the Environment* (Eds SIMS, J.T. & Sharpley, A.N.) v. 46 pp. 87-121 (Publishing: Soil Science Society of America: Madison, WI, USA).

CONTE, P.; PICCOLO, A. (1999). Conformational arrangement of dissolved humic substances. Influence of solution composition on association of humic molecules. *Environmental Science & Technology*, 33, 1682-1690.

COOPERBAND, L.R.; GOOD, L.W. (2002) Biogenic phosphate minerals in manure: implications for phosphorus loss to surface waters. *Environmental Science Technology*, 36, 5075 – 5082.

CORDELL, D.; DRANGERT, J-T., WHITE, S. (2009) The history of phosphorus: global food security and food for thought. *Global Environmental Change*, 19, 292-305.

COSTA JÚNIOR, C. N. da. (2002). *Dissolução química e bioquímica de apatita magmática*. 196p. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Distrito Federal.

DELL'ABATE, M.T.; CANALI, S.; TRINCHERA, A.; BENEDETTI, A.; SEQUI, P. (1998) Thermal analysis in the evaluation of compost stability: a comparison with humification parameters. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 51, 217 – 224.

DELL'ABATE, M.T.; BENEDETTI, A.; SEQUI, P. (2000) Thermal methods of organic matter maturation monitoring during a composting process. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 61, 389 – 396.

ESTELA, J.M.; CERDÀ, V. (2005). Flow analysis for phosphorus: an overview. *Talanta*, 66, 307-331.

EVANS, J.; PRICE, A. (2009) Influence of rates of reactive phosphate rock and sulphur on potentially available phosphorus in organically managed soils in the south-eastern near-Mediterranean cropping region of Australia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 84, 105–118.

FANG, M.; WONG, J.W.C. (1999) Effects of lime amendment on availability of heavy metals and maturation in sewage sludge composting. *Environmental Pollution*, 106 83 – 89.

FAKHARELINE, N.; EL HAJJOUJI, H.; AIT BADDI, G.; REVEL, J.C.; HAFIDI, M. (2006). Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformation during aerobic digestion of olive-mill waste-waters. *Process Biochemistry*, 41, 398–404.

FAO (2008) Current world fertilizer trends and outlook to 2011/12. Global information and early warning system on food and agriculture, FAO, Rome.

FERNANDES, A.J.D. (2007) Fosfatos de cálcio modificados organicamente com mercaptopropil – síntese, caracterização e aplicação. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba. 91p.

FIALHO, L.L. (2007) Caracterização da matéria orgânica em processo de compostagem por métodos convencionais e espectrocópicos. Tese (Doutorado). Instituto de Química de São Carlos, USP. 170p.

FIALHO, L.L.; SILVA, W.T.L. da; MILORI, D.M.B.P.; SIMOES, M.L.; MARTIN-NETO, L. (2010) Characterization of organic matter from composting of different residues by physicochemical and spectroscopic methods. *Bioresource Technology*, 101, 1927-1934.

FILIPPELLI, G. M. (2002) The global phosphorus cycle. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 48, 391 – 421.

FOLLM, K.B. (1996) The phosphorus cycle, phosphogenesis and marine phosphate-rich deposits. *Earth Science Review*, 40, 55 – 124.

GHARABAGHI, M.; IRANNAJAD, M.; NOAPARAST, M. (2010) A review of the beneficiation of calcareous phosphate ores using organic acid leaching. *Hydrometallurgy*, 103, 96 – 107.

GILBERT, N. (2009) The disappearing nutrient. *Nature*, 46, 716-718.

GONZALEZ-PEREZ, M.; MARTIN-NETO, L.; SAAB, S.C.; NOVOTNY, E.H.; MILORI, D.M.B.P.; BAGNATO, V.S.; COLNAGO, L.A.; MELO, W.T.; KNICKER, H. (2004) Characterization of humic substances from a Brazilian Oxisol under

different tillage systems by EPR, <sup>13</sup>C NMR, FTIR and Fluorescence spectroscopy. *Geoderma*, 118, 181-190.

GUPPY C.N., MENZIES N.W., MOODY P.W., BLAMEY, F.P.C. (2005). Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. *Australian Journal of Soil Research*, 43,189-202.

HANRAHAN, G.; SALMASSI, T.M.; KHACHIKIAN, C.S.; FOSTER, K.L. (2005). Reduced inorganic phosphorus in the natural environment: significance, speciation and determination. *Talanta*, 66, 435-444.

HART, M.R.; QUIN, B.F.; NGUYEN, M.L. (2004) Phosphorus runoff from agricultural land and direct fertilizer effects: a review. *Journal of Environmental Quality*, 33, 1954 – 1972.

HATCHER, P.G.; DRIA, K.J.; KIM, S.; FRAZIER, S.W. (2001). Modern analytical studies of humic substances. *Soil Science*, 166, 770-794.

HAVLIN J.L.; BEATON J.D.; TISDALE S.L.; NELSON W.L. (2005). *Soil Fertility and Fertilizers*. 7ed. New Jersey: Prentice Hall.

HAYES, M.H.B.; CLAPP, C.E. (2001). Humic substances: considerations of compositions, aspects of structure, and environmental influences. *Soil Science*, 166, 723-737.

HAYGARTH, P.M.; CONRON, L.M.; HEATHWAITE, A.L.; TURNER, B.L.; HARRIS, G.P. (2005). The phosphorus transfer continuum: linking source to impact with an interdisciplinary and multi-scaled approach. *Science of the Total Environment*, 344, 5-14.

HE, Z.; HONEYCUTT, W.; XING, B.; McDOWELL, R.W.; PELLECHIA, P.J.; ZHANG, T. (2007) Solid-state Fourier transform infrared and <sup>31</sup>P Nuclear Magnetic Resonance spectral features of phosphate compounds. *Soil Science*, 172, 501 – 515.

HEREDIA, O.S.; CIRELLI, A.F. (2007) Environmental risks of increasing phosphorus addition in relation to soil sorption capacity. *Geoderma*, 137, 426 – 431.



HSU, J-H; LO, S-L. (1999). Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformations during composting of pig manure. *Environmental Pollution*, 104, 189-196.

HUANG, X.L.; CHEN, Y.; SHENKER, M. (2008) Chemical fractionation of phosphorus in stabilized biosolids. *Journal of Environmental Quality* 37, 1949–1958.

HUANG, X.L.; SHEKER, M. (2004) Water-soluble and solid-state speciation of phosphorus in stabilized sewage sludge. *Journal of Environmental Quality*, 33, 1895 – 1903.

JAMA, B., VAN STRAATEN, P. (2006). Potential of East African phosphate rock deposits in integrated nutrient management strategies. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78, 781-790.

JORGE J. A. (1983). *Solo: manejo e adubação*. 2 ed. São Paulo: Nobel.

KANTAR, C. (2007). Heterogeneous process affecting metal ion transport in the presence of organic ligands: reactive transport modeling. *Earth Science Reviews*, 81, 175-198.

KHAN, M.S.; ZAIDI, A.; WANI, P.A. (2007) Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture – a review. *Agronomic Sustainable Development*, 27, 29-43.

KPOMBLEKOU-A K., TABATABAI M.A. (2003). Effect of low molecular weight organic acids on phosphorus release and phytoavailability of phosphorus in phosphate rocks added to soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 100, 275-284.

KUMAR, R.R.; WANG, M. (2001) Biomimetic deposition of hydroxyapatite on brushite single crystals grown by the gel technique. *Materials Letters*, 49, 15 – 19.

LAL, R. (2008) Soils and sustainable agriculture – a review. *Agronomic Sustainable Development*, 28, 57-64.

LEPSCH I. F. (2002). *Formação e conservação dos solos*. São Paulo: Oficina de textos.

MacCARTHY, P. (2001). The principles of Humic Substances. *Soil Science*, 166, 738-751.

MAGID, J.; TIESSEN, H.; CONDRON, L.M. (1996) Dynamics of organic phosphorus in soil under natural and agricultural ecosystems. *In: Humic substances in Terrestrial Ecosystems* (ed. Piccolo, A.). Publishing: Elsevier.

MAKAROV, M.I.; MALYSHEVA, T.I.; HAUMAIER, L.; ALT, H.G.; ZECH, W. (1997) The forms of phosphorus in humic and fulvic acids of a toposequence of alpine soils in the northern Caucasus. *Geoderma*, 80, 61 – 73.

MANDEL, S.; TAS, A.C. (2010) Brushite ( $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) to octacalcium phosphate ( $\text{Ca}_8(\text{HPO}_4)_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) transformation in DMEM solutions at  $36.5^\circ\text{C}$ . *Materials Science and Engineering C*, 30, 245 – 254.

MANNING, D.A.C. (2008) Phosphate minerals, environmental pollution and sustainable agriculture. *Elements*, 4, 105 – 108.

MARTIN-NETO, L.; NASCIMENTO, O.R.; TALAMONI, J.; POPPI, N.R. (1991) EPR of micronutrients-humic substance complexes extracted from Brazilian soil. *Soil Science*, 151, 369 – 376.

MARTIN-NETO, L.; ROSSEL, R.; SPOSITO, G. (1998) Correlation of spectroscopic indicators of humification with mean annual rainfall along a temperate grassland climosequence. *Geoderma*, 81, 305 – 311.

MENGEL, K. (1997) Agronomic measures for better utilization of soil and fertilizer phosphates. *Perspectives for Agronomy - Adopting Ecological Principles and Managing Resource Use*, 277 – 289.

MILORI, D. M. B. P.; MARTIN-NETO, L.; BAYER, C. (2002). Fluorescência induzida por laser para análise da matéria orgânica de solos intactos. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 18 p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 3).

MILORI, D. M. B. P.; GALETI, H. V. A.; MARTIN-NETO, L.; DIECKOW, J.; GONZALÉZ-PEREZ, M.; BAYER, C.; SALTON, J. (2006). Organic matter study of whole samples using laser-induced fluorescence spectroscopy. *Soil Science Society of American Journal*, 70, 57-63.

MURPHY, J.; RILEY, J.P. (1962) A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta* 27, 31 – 36.

NAIDJA, A.; HUANG, P.M.; ANDERSON, D.W.;VAN KESSEL, C. (2002). Fourier Transform Infrared, UV-Visible, and X-ray Diffraction Analyses of Organic Matter in Humin, Humic Acid, and Fulvic Acid Fractions in Soil Exposed to Elevated CO<sub>2</sub> and N Fertilization. *Applied Spectroscopy*, 56, 318-324.

NEGASSA, W.; LEINWEBER, P.(2009) How does the Hedley sequential phosphorus fractionation reflect impacts of land use and management on soil phosphorus: A review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172, 305 – 325.

NOVOTNY E.T. (2002). *Estudos espectroscópicos e cromatográficos de substâncias húmicas de solos sob diferentes sistemas de preparo*. 215p. Tese (Doutorado) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.

OBA, C.A.I. (2000). *Aproveitamento de materiais fosfáticos marginais para a produção de fertilizantes organo-fosfatados*. 173p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

OBA, C.A.I. (2002). *Caracterização mineralógica, micromorfológica e cristalquímica de um fertilizante alternativo – estudo da aplicabilidade deste novo processo em fosfatos brasileiros, principalmente o fosfato da jazida metassedimentar de Patos de Minas (MG)*. 56p. Relatório de pós-doutoramento, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ODONGO, N. E., HYOUNG-HO, K., HEE-CHUL, C., VAN STRAATEN, P., MCBRIDE, B. W., ROMNEY, D. L. (2007). Improving rock phosphate availability through feeding, mixing and processing with composting manure. *Bioresource Technology*, 98, 2911-2918.

OELKERS, E.H. ; VALSAMI-JONES, E. (2009) Phosphate mineral reactivity and global sustainability. *Elements*, 4, 83-87.

OUAHMANE, L.; REVEL, J.C.; HAFIDI, M.; THIOULOUSE, J.; PRIN, Y.; GALIANA, A.; DREYFUS, B.; DUPONNOIS, R. (2009) Responses of *Pinus halepensis* growth, soil microbial catabolic functions and phosphate-solubilizing bacteria after rock phosphate amendment and ectomycorrhizal inoculation. *Plant and Soil*, 320, 169 – 179.

PAJACZKOWSKA, J.; SULKOWSKA, A.; SULKOWSKI, W.W.; JEDRZEJCZYK, M. (2003) Spectroscopy study of the humification process during sewage sludge treatment. *Journal of Molecular Structure*, 651-65, 141-149.

PARSONS, S.A.; SMITH, J.A. (2008) Phosphorus removal recovery from municipal wastewaters. *Elements*, 4, 109 – 112.

PASSOS, C. M. (2005). *Caracterização mineralógica, micromorfológica e geoquímica da fase fosfática de compostos organo-fosfatados obtidos pelo processo Humifert*. 145p. Dissertação (Mestrado) IGc, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PAVINATO, P.S.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C.A. (2008) Organic compounds from plant extracts and their effect on soil phosphorus availability. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43, 1379 – 1388.

PEDRA, F., POLO, A., RIBEIRO, A., DOMINGUES, H. (2007). Effects of municipal solid waste compost and sewage sludge on mineralization of soil organic matter. *Soil Biology & Biochemistry*, 39, 1375-1382.

PICCOLO, A. (2001). The supramolecular structure of humic substances. *Soil Science*, 166, 810-832.

PIERZYNSKI G. M. ; MCDOWELL, R.W.; SIMS, J. T (2005). Chemistry, cycling and the potential movement of inorganic phosphorus in soils. *In Phosphorus: Agriculture and the Environment* (Eds Sims, J.T. & Sharpley, A. N.) v. 46 pp. 53-86 (Publishing: Soil Science Society of America: Madison, WI, USA).

PLANTE, A.L.; FERNANDEZ, J.M.; LEIFELD, J. (2009) Application of thermal techniques in soil science. *Geoderma*, 153, 1 – 10.

POGNANI, M.; BARRENA, R.; FONT, X.; SCAGLIA, B.; ADANI, F.; SANCHEZ, A. (2010) Monitoring the organic matter properties in a combined anaerobic/aerobic full-scale municipal source-separated waste treatment plant. *Bioresource Technology*, 101, 6873–6877

POLITO, W. L. (2006). The Trofobiose Teory and organic agriculture: the active mobilization of nutrients and the use of rock powder as a tool for sustentability. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78, 765-779.

PRAMANIK, P.; BHATTACHARYA, S.; BHATTACHARYYA, P. BANIK, P. (2009) Phosphorous solubilization from rock phosphate in presence of vermicomposts in Aqualfs. *Geoderma*, 152, 16 – 22.

QUINTON, J.N.; GOVERS, G.; van OOST, K.; BARDGETT, R.D. (2010) The impact of agricultural soil erosion on biogeochemical cycling. *Nature Geosciences*, 3, 311 – 314.

REVEILLE, V.; MANSUY, L.; JARDE, E. & GARNIER-SILLAM, E. (2003). Characterization of sewage sludge-derived organic matter: lipids and humic acids. *Organic Geochemistry*, 34, 615–627.

RICE, J.A. (2001). Humin. *Soil Science*, 166, 848-857.

RIGHI, S.; LUCIALLI, P. & BRUZZI, L. (2005). Health and environmental impacts of a fertilizer plant – Part I: Assessment of radioactive pollution. *Journal of Environmental Radioactivity*, 82, 167 – 182.

RIVAIE, A.A.; LOGANATHAN, P.; GRAHAM, J.D.; TILLMAN, R.W.; PAYN, T.W. (2008) Effect of phosphate rock and triple superphosphate on soil phosphorus fractions and their plant-availability and downward movement in two volcanic ash soils under *Pinus radiata* plantations in New Zealand. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 82, 75 – 88.

RODRIGUES, V. L. (2010) Dissertação de mestrado (no prelo) Engenharia Química, USP.

ROUQUET, N. (1989). *Rôle des composés humiques sur la dissolution et la cristallisation du phosphate dicalcique dihydrate (brushite)*. 145p. Thèse Doctorat, L'Institut National Polytechnique de Toulouse.

RUSSEL, J.D.; FRASER, A.R. (1994) Infrared Methods. *In: Clay Mineralogy: spectroscopy and chemical determinative methods* (ed. WILSON, M.J). Publishing: Chapman & Hall, Abredeen, UK.

RUTTENBERG, K.C. (2003) The global phosphorus cycle. *In: Treatise on Geochemistry* (Eds W. H. Schlesinger, H.D. Holland and K.K. Turekian) v.8 pp.585-643. (Publishing: Elsevier).

SANNIGRAHI, P.; INGALL, E. D.; BENNER, R. (2006). Nature and dynamics of phosphorus-containing components of marine dissolved and particulate organic matter. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70, 5868-5882.

SANTOS, C. N. 2001. *Micromorfologia, geoquímica e aspectos tecnológicos da apatita da associação alcalino-carbonatítica pré-cambriana de Angico dos Dias, BA*. Dissertação (Mestrado) IGc, Universidade de São Paulo, 131f.

SANTOS, L.M. dos (2006). *Dinâmica da matéria orgânica e destino de metais pesados em dois solos submetidos à adição de lodo de esgoto*. 129p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SAUCHELLI, V. (1965) *Phosphates in Agriculture*. New York: Reinhold.

SCHEFE, C.R.; PATTI, A.F.; CLUNE, T.S.; JACKSON, W.R. (2008) Organic amendment addition enhances phosphate fertiliser uptake and wheat growth in an acid soil. *Australian Journal of Soil Research*, 46, 686 – 693.

SCHULTEN H.R.; SCHNITZER, M. (1997). Chemical model structures for soil organic matter and soils. *Soil Science*, 162, 115-130.

SCHULTEN H.R.; LEINWEBER P. (2000). New insights into organic-mineral particles: composition, properties and models of molecular structures. *Biology and Fertility of Soil*, 30, 399- 432.

SENESI, N. (1990) Application of electron spin resonance (ESR) spectroscopy in soil chemistry. *Advances in Soil Science* 14, 77-130.

SENESI, N.; PLAZA, C.; BRUNETTI, G.; POLO, A. (2007). A comparative survey of recent results on humic-like fractions in organic amendments and

effects on native soil humic substances. *Soil Biology & Biochemistry*, 39, 1244-1262.

SILVA, A. B., LIBERAL, G. S., GROSSI-SAD, J. H., ISSA FILHO, A., RODRIGUES, C.S.; RIFFEL, B.F. 1988. Geologia e petrologia do Complexo Angico dos Dias (BA), uma associação carbonatítica pré-cambriana. *Geochimica Brasiliensis*, 2(1): 81-108.

SILVEROL, A.C. (2006). *Processo Humifert para fertilizantes alternativos organo-fosfatados: obtenção a partir do minério de Angico dos Dias, caracterização dos compostos e avaliação da eficiência agrônômica*. 179p. Dissertação (Mestrado) IGc, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SILVEROL, A. C.; TOLEDO, M.C.M. de; BENEDITO, D. da S. & PROCHNOW, L.I. (2007). Compostos organo-fosfatados obtidos pelo Processo Humifert. *Geochimica Brasiliensis*, 21, 86-98.

SILVERSTEIN, R.M.; WEBSTER (2000) *Spectroscopic Identification of Organic Compounds*. 6ed. Publishing: Wiley, New York.

SIMPSON, A. (2002). Determining the molecular weight, aggregation, structures and interactions of natural organic matter using diffusion ordered spectroscopy. *Magnetic Resonance in Chemistry*, 40, 72-80.

SINGH, C.P.; RUHAL, D.S.; SINGH, M. (1983) Solubilisation of Low Grade Rock Phosphate by Composting with a Farm Waste, PeaRI-Millet Boobla. *Agricultural Wastes*, 8, 17 – 25.

SMIL (2000) Phosphorus in the environment: natural flows and human interferences. *Annuary Review in Energy and Environment*, 25, 53 – 88.

SOUZA, K. E. (1998). *Contribution a la valorization de la bagasse par transformations biologique et chimique. Valeur agronomique des composts et propriétés suppressives vis-à-vis du champignon phytopathogène Fusarium solani*. 260p. Thèse Doctorat, L'Institut National Polytechnique de Toulouse.

STAMFORD, N. P.; SANTOS, P. R.; SANTOS, C. E. S.; FREITAS, A. D. S.; DIAS, S.H.L.; LIRA Jr, M.A. (2007). Agronomic effectiveness of biofertilizers with phosphate rock sulphur and *Acidithiobacillus* for yam bean grown on a Brazilian tableland acidic soil. *Bioresource Technology*, 98, 1311-1318.

STERNICHA, F. (1988). *Matière organique accroissant la proportion de phosphore assimilable dans les engrais chimiques classiques et dans les phosphates naturels*. Brevet no 87 13177.

STEVENSON, F.J. (1994). *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. 2 ed. New York: Wiley.

STEWART ET AL (2005)

STONE, K.C.; HUNT, P.G.; CANTRELL, K.B.; RO, K.S. (2010) The potential impacts of biomass feedstock production on water resource availability. *Bioresource Technology*, 10, 2014-2024.

STUART, B. (2004) *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. John Wiley & Sons

SUI, Y.; THOMPSON, M.L.; SHANG, C. (1999) Fractionation of phosphorus in a Mollisol amended with biosolids. *Soil Science Society of American Journal*, 63, 1174 – 1180.

SUMNER, M. (2000) Beneficial use of effluents, wastes and biosolids. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 31, 1701 – 1715.

SUVOROVA, E.I.; BUFFAT, P.A. (2001) Electron diffraction and high resolution transmission electron microscopy in the characterization of calcium phosphate precipitation from aqueous solutions under biomineralization conditions. *European Cells and Materials*, 1, 27 – 42.

SZILAS, C., SEMOKA, J.M.R., BORGGAARD, O.K. (2007). Can local Minjingu phosphate rock replace superphosphate on acid soils in Tanzânia? *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 77, 257-268.

TAKIGUCHI, N.; KISHINO, M.; KURODA, A.; KATO, J.; OHTAKE, H. (2007). Effect of mineral elements on phosphorus release from heated sewage sludge. *Bioresource Technology*, 98, 2533-2537.

TAN K. H. (1994). *Environmental Soil Science*. New York: Dekker.

TANG, J-C; MAIE, M.; TADA, Y.; KATAYAMA, A. (2006) Characterization of the maturing process of cattle manure compost. *Process Biochemistry*, 41, 380 – 389.



TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B.; COLE, C.V. (1984) Pathways of Phosphorus Transformations in Soils of Differing Pedogenesis. *Soil Science Society of American Journal*, 48, 853 – 858.

TOLEDO, M.C.M. de. (1999). *Mineralogia dos principais fosfatos do Maciço Alcalino-Carbonatítico de Catalão I (GO) e sua evolução no perfil laterítico*. 198 p. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese Livre Docência.

TOLEDO, M. C. M., OLIVEIRA, S. M. B., FONTAN, F., FERRARI, V. C., PARSEVAL, P.. (2004). Mineralogia, micromorfologia e cristalochimica da monazita em Catalão I (GO, Brasil). *Revista Brasileira de Geociências*, 34, 135-146.

TOLEDO, M.C.M.; PASSOS, C.M.; FERRARI, V.C. (2005). Caracterização mineralógica, micromorfológica e geoquímica da fase fosfática de compostos organo-fosfatados obtidos pelo processo Humifert. *Revista do Instituto Geológico*, 26, 31-44.

TSENG, D.Y.; VIR, R.; TRAINA, S.J; CHALMERS, J.J. (1996). A Fourier-Transform Infrared spectroscopy analysis of organic matter degradation in a bench-scale solid (composting) systems. *Biotechnology and Bioengineering*, 52, 661-671.

TURNER, B.L.; CADE-MENUN, B.J.; CONDRON, L.M.; NEWMAN, S. (2005). Extraction of organic soil phosphorus. *Talanta*, 66, 294-306.

VACCARI, D.A. (2009) Phosphorus: a looming. *Scientific American Journal*, June, 54 – 59.

VAN STRAADEN, P. (2006). Farming with rocks and mineral: challenges and opportunities. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78, 731-747.

VIEIRA, L. S. (1957). *Manual de Ciência do Solo*. 2. ed. São Paulo: Agronomia Ceres.

van RAIJ, B.;QUAGGIO, J.A. (1983) Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. *Boletim Técnico IAC*, 81, Instituto Agrônomo, Campinas. 31p.

von LUTZOW , M.; KOGEL-KNABNER, I. LUDWIG, B.; MATZNER, E.; FLESSA, H.; EKSCHMITT, K.; GUGGENBERGER, G.; MARSCHNER, B.; KALBITZ, K. (2008) Stabilization mechanisms of organic matter in four

temperate soils: Development and application of a conceptual model. *Journal of Plant and Nutrient Soil Science*, 171, 111 – 124.

von LUTZOW, M.; KOGEL-KNABNER, I. (2009) Temperature sensitivity of soil organic matter decomposition—what do we know? *Biology and Fertility of Soils*, 46, 1 – 15.

von WANDRUSZKA, R. (1998). The micellar model of humic acid: evidence from pyrene fluorescence measurements. *Soil Science*, 163, 921-930.

WANG, D., MARSCHNER, P., SOLAIMAN, Z., RENGEL, Z. (2007). Growth, P uptake and rhizosphere properties of intercropped wheat and chickpea in soil amended with iron phosphate or phytate. *Soil Biology & Biogeochemistry*, 39, 249-256.

WILLIAMS, Q. (1995) Infrared, Raman and Optical Spectroscopy of Earth Materials. *Mineral Physics and Crystallography*, 2, 291 – 302.

WILSON, M.J. (1994) Clay Mineralogy: spectroscopy and chemical determinative methods (ed. WILSON, M.J). Publishing: Chapman & Hall, Abredeen, UK.

YAMPRACHA, S., ATTANANDANA, T., SIDIBÉ-DIARRA, A., SRIVIHOK, A., YOST, R. S. (2006). Predicting the dissolution of four rock phosphates in flooded acid sulfate soils of Thailand. *Soil Science*, 171, 200-209.

ZACCHEO, P.; CABASSI, G.; RICCA, G. & CRIPPA, L. (2002). Decomposition of organic residues in soil: experimental technique and spectroscopic approach *Organic Geochemistry*, 33, 327–345.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T.M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. (1997) Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma*, 79, 117 – 161.