



MATERIAIS SILICÁTICOS COMO FONTES REGIONAIS DE NUTRIENTES E CONDICIONADORES DE SOLOS

EDER DE SOUZA MARTINS¹, ÁLVARO VILELA DE RESENDE², CLAUDINEI GOUVEIA DE OLIVEIRA³,
ANTONIO EDUARDO FURTINI NETO⁴

Introdução

O Brasil apresenta uma dependência de fertilizantes que limita a sustentabilidade de sua agricultura (Lapido-Loureiro e Nascimento, 2003; Lapido-Loureiro *et al.*, 2009). Os dados mostram que 70% do total dos fertilizantes produzidos no país são derivados de Fontes Convencionais de Nutrientes (FCN) importadas, compostas essencialmente de variantes de NPK, de elevada concentração e alta solubilidade (Rodrigues, 2009, 2010). De forma específica, a utilização destas fontes importadas na produção de biocombustíveis líquidos compete com a produção de alimentos (Sparovek *et al.*, 2008). A crise relacionada com o aumento de preço das matérias primas em 2008 também agravou este quadro em relação aos aspectos econômicos (Rodrigues, 2010).

Estes fatos fragilizam o posicionamento do Brasil em relação à sustentabilidade de seu programa de produção de biocombustíveis líquidos em substituição às fontes de energia fóssil (Sparovek *et al.*, 2008) e coloca um desafio na prospecção de soluções alternativas neste setor (Lapido-Loureiro *et al.*, 2009). Várias opções estão sendo avaliadas em relação à viabilidade agrônômica e econômica, considerando-se as seguintes abordagens: manejo de fertilizantes; desenvolvimento de tecnologia de fertilizantes com controle de solubilidade de FCN; e desenvolvimento de Fontes Alternativas de Nutrientes (FAN).

O manejo de fertilizantes é uma das alternativas fundamentais para o uso racional das FCN (Dibb, 2000). Vários estudos mostram que a utilização dos fertilizantes no Brasil não é feita de forma racional, geralmente com uso excessivo de alguns e falta em outros nutrientes (Ceretta *et al.*, 2007; Prado *et al.*, 2007, 2008). A própria calagem não é utilizada em quantidade e de forma correta. Os principais motivos para o uso incorreto dos fertilizantes estão relacionados com a falta de transferência de tecnologia e a aspectos culturais da prática do produtor agrícola. O sucesso desta abordagem depende de um programa a ser desenvolvido como política pública para a avaliação e o monitoramento da fertilidade atual dos solos agrícolas, assim como de uma assistência técnica efetiva ao produtor agrícola em relação às indicações de adubação.

O avanço da tecnologia de fertilizantes mostra um potencial de modificação das matrizes das FCN a partir de materiais redutores de cinética e da integração com fontes de material orgânico. O desenvolvimento tecnológico dos materiais redutores de cinética ainda está na fase mais básica (Shaviv, 2001), mas constitui um caminho promissor para o uso racional das FCN em condições tropicais (Bernardi *et al.*, 2004, 2007). A integração das FCN com material orgânico apresenta maior viabilidade para aplicações em curto prazo, especialmente pela maior simplicidade dos processos de produção (Benedito *et al.*, 2010; Benites, 2009).

As FAN, que geralmente são os materiais silicáticos e os orgânicos com uso potencial na agricultura, apresentam características e atributos em geral bem diferenciados em relação às FCN (Leonardos *et al.*, 1987, 2000; Martins *et al.*, 2008; Martins e Theodoro, 2010; Resende *et al.*, 2006a). O uso mais generalizado das FAN sempre foi limitado pelo conceito de fertilização que privilegia fontes solúveis e de elevada concentração, além dos baixos custos das FCN antes da crise de 2008. O quadro atual de custos elevados coloca

¹ D.Sc. Universidade de Brasília (UnB). Embrapa Cerrados. E-mail: eder@cpac.embrapa.br

² D.Sc. Universidade Federal de Lavras (UFLA). Embrapa Milho e Sorgo. E-mail: alvaro@cnpmc.embrapa.br

³ D.Sc. Universidade de Brasília (UnB). Universidade de Brasília – UnB. E-mail: gouveia@unb.br

⁴ D.Sc. Universidade Federal de Viçosa (UFV). Universidade Federal de Lavras (UFLA). E-mail: afurtini@dcs.ufla.br

uma oportunidade para discussão do paradigma ainda vigente de uso exclusivo das FCN na fertilização de solos.

De forma específica, os materiais silicáticos apresentam potencial como fonte de nutrientes minerais e como condicionador do solo (Stewart, 1975; Straaten, 2006, 2007). Os macronutrientes mais importantes encontrados nestes materiais são o potássio e o fósforo. Ocorrem também nutrientes secundários essenciais, como o cálcio, magnésio, o silício e o enxofre (Straaten, 2006, 2007; Luz *et al.*, 2010). Os micronutrientes ocorrem nos materiais silicáticos em proporções geralmente equilibradas (Leonardos *et al.*, 1987). Estes materiais são fontes de liberação controlada e este processo gera minerais que melhoram a qualidade do solo (Straaten, 2010).

O presente capítulo discute o uso potencial de materiais silicáticos como FAN para a agricultura brasileira, em especial na sustentabilidade da produção de biocombustíveis líquidos.

Paradigmas na utilização de fertilizantes

O paradigma atual preconiza a utilização das FCN em função das altas concentrações e à elevada solubilidade dos nutrientes. As altas concentrações permitem o transporte a baixo custo em distâncias intercontinentais. A elevada solubilidade das FCN favorece a disponibilidade dos macronutrientes para as plantas cultivadas. Este conceito foi empregado com sucesso na variante brasileira da Revolução Verde (Paterniani, 2001), que possibilitou a produção agrícola em solos tropicais profundos e muito pobres em nutrientes, em especial no Bioma Cerrado a partir da década de 1970 (Shiki *et al.*, 1997), aliado ao uso do calcário agrícola na correção da acidez e na diminuição da saturação por alumínio (Goedert, 1989).

Outro fator importante que compõe este paradigma e que perdurou até o início da década de 2000, foi o baixo custo destas matérias primas (Rodrigues, 2009; Manning, 2010a, b). A crise de 2008 marcou uma ruptura dos custos das FCN, que mesmo depois da fase aguda retornaram acima dos valores históricos e sem perspectivas de alterações (Manning, 2010a). Somente a partir desta crise existe uma prospecção efetiva de alternativas a este modelo. A principal explicação para esta mudança brusca nos custos das FCN estão relacionadas a elevação de demanda dos fertilizantes (Rodrigues, 2009, 2010), além da concentração das empresas detentoras da produção e comercialização no mundo (Benetti, 2002, 2004; Kulaif, 1997, 1999). No Brasil, a situação é mais grave devido a impossibilidade de aumento no curto prazo da produção de FCN a partir de novas jazidas brasileiras de gás natural (N), de fosfato (P) e de potássio (K), apesar de seu potencial mineral (Rodrigues, 2010).

Aliado a estes fatores econômicos e de disponibilidade de matérias-primas, as FCN apresentam algumas desvantagens em seu comportamento em clima tropical relacionadas às elevadas temperaturas e precipitação pluviométrica, além das características intrínsecas dos solos (Fyfe *et al.*, 2006; Leonardos *et al.*, 1987, 2000). O nitrogênio na forma de uréia apresenta grandes perdas por volatilização (Bernardi *et al.*, 2004, 2007). O potássio na forma de cloreto apresenta elevada mobilidade química e física por movimentação em solução e por erosão (Bertol *et al.*, 2007; Hernani *et al.*, 1999; Izidorio *et al.*, 2005), com maiores agravantes em solos arenosos e de textura média (Rosolem *et al.*, 2005). Os fosfatos solúveis são parcialmente adsorvidos em óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, abundantes em solos tropicais (Fontes e Weed, 1996; Novais e Smyth, 1999; Valladares *et al.*, 2003).

Estas características negativas dos fertilizantes solúveis foram percebidas e diversas linhas de pesquisa são desenvolvidas para a adaptação às condições tropicais, relacionadas especialmente ao manejo racional dos fertilizantes nos sistemas agrícolas, além de processos para controlar a taxa de liberação para adaptar às condições tropicais (Bernardi *et al.*, 2004, 2007; Monte *et al.*, 2009). O manejo racional de fertilizantes geralmente não é aplicado plenamente pelo agricultor, apesar da disponibilidade tecnológica (Lopes *et al.*, 1998; Ceretta *et al.*, 2007; Sousa e Rein, 2009) e os processos para a liberação controlada de nutrientes apresentam custos ainda muito elevados (Blaylock *et al.*, 2005; Shaviv, 2001). Destaca-se uma grande inovação realizada na agricultura brasileira que foi a diminuição da demanda de N, especialmente na cultura da soja, pela inoculação de microrganismos fixadores deste nutriente (Hungria *et al.*, 2001).

Pesquisas recentes buscam alternativas semelhantes para a cultura da cana-de-açúcar *canuto *et al.*, 2003; Reis Jr. *et al.*, 2000)

Outra limitação importante das fontes solúveis é a ausência de outros nutrientes minerais em sua composição (Fyfe *et al.*, 2006; Leonardos *et al.*, 2000). Várias culturas apresentam desequilíbrios nutricionais e maior sensibilidade ao ataque de pragas e doenças por este motivo. Aliado aos desequilíbrios nutricionais, pode ocorrer o “consumo de luxo” das culturas, pois neste modelo de fertilização pode ocorrer o acúmulo dos nutrientes na planta sem refletir em aumento de produção (Bataglia, 2005; Kaminski *et al.*, 2007; Rende *et al.*, 2006b).

Uma solução para esta crise é a substituição, pelo menos das FCN para as FAN. Neste caso, ocorre uma mudança radical nos conceitos do novo paradigma (Fyfe *et al.*, 2006). Na prática, a principal delas é a transição do uso de matérias primas globalizadas (FCN) para matérias primas regionais (FAN).

No novo paradigma, as características das FAN apresentam vantagens relativas ao modelo anterior das FCN:

- a grande abundância e a ocorrência bem distribuída no território nacional permitem a utilização regional das FAN, da mesma forma que o calcário agrícola.
- a baixa solubilidade das FAN racionaliza o uso dos nutrientes pelas plantas e diminui no médio e longo prazo a necessidade de utilização de nutrientes solúveis pelo aumento sustentável da fertilidade do solo e o efeito residual.
- o baixo custo de produção e a simplicidade do processo produtivo permitem o desenvolvimento de uma mineração de pequeno porte, da mesma forma que as produtoras de calcário agrícola.
- a elevada complexidade composicional é caracterizada por uma diversidade de minerais em diferentes proporções e permite a recuperação gradual da fertilidade do solo pelo intemperismo destes mesmos minerais.
- o efeito condicionador do solo é produto da formação de novas fases minerais com elevada superfície específica e carga superficial, derivadas do intemperismo dos minerais primários.

As desvantagens aparentes oriundas das baixas concentrações e solubilidade de nutrientes, na realidade constituem vantagens em condições tropicais. Os solos tropicais lixiviados e de baixa fertilidade são pobres tanto nos nutrientes, como em minerais de argila de elevada CTC (Kronberg *et al.*, 1979; Marques *et al.*, 2004; Sousa e Rein, 2009). As rochas com potencial para uso na agricultura apresentam uma complexidade composicional presente nos solos de elevada fertilidade (Leonardos *et al.*, 1987; Straaten, 2007). A simples moagem destas rochas pode ser suficiente para viabilizar sua utilização nos sistemas agrícolas (Martins *et al.*, 2008). O intemperismo gradual das FAN nos solos tropicais gera argilas com elevada CTC (Gadd, 2007). Desta forma, além de fornecer nutrientes, os resíduos da transformação mineral pelo intemperismo das FAN têm um papel condicionador dos solos (Straaten, 2007).

Do ponto de vista econômico esta limitação logística obriga a formação de uma indústria mineral de pequeno porte e uma cadeia produtiva regional de matérias primas. Além dos benefícios econômicos regionais, estas características diminuem a possibilidade de concentração em poucos grupos produtores destas matérias primas. Ocorre exatamente o oposto com as FCN, onde a oligopolização é um fenômeno mundial (Benetti, 2002, 2004; Kulaif, 1997, 1999).

Entende-se que o processo de mudança de paradigma deve ser gradual (Fyfe *et al.*, 2006) e a utilização das FCN deve prosseguir em diversos níveis em associação com as FAN, dependendo do estágio de conversão dos sistemas de manejo da fertilidade dos solos agrícolas e das condições regionais.

Materiais silicáticos

Os materiais silicáticos com uso potencial na agricultura podem ter diferentes origens e processos de produção (Luz *et al.*, 2010). Do ponto de vista industrial estes materiais podem ser primários ou secundários. Os materiais primários são extraídos diretamente da natureza, como é o caso do calcário. Os materiais secundários geralmente são formados por subprodutos de outros processos industriais, como é o caso de resíduos de mineração (Martins *et al.*, 2008) e os formados, por exemplo, na produção do aço (Anderson, 1991; Korndörfer *et al.*, 2004; Savant *et al.*, 1999).

Os materiais primários podem passar por processos de beneficiamento de diversos tipos. A moagem é o processo fundamental necessário para uso na agricultura. A pulverização da rocha permite o aumento da superfície de contato entre os minerais da rocha com o solo e a água para promover o intemperismo, a liberação de nutrientes e formação de novas fases minerais (Luz *et al.*, 2010).

Outros processos podem ser utilizados, mas geralmente apresentam limitações devido ao custo energético elevado, como são os processos térmicos e a acidificação (Cekinski *et al.*, 1996; Eichler, 1983; Freitas *et al.*, 2007; Fujimori, 1984; Leite, 1985; Pini e Chaves, 2001; Vallarelli e Guardani, 1981; Vallarelli *et al.*, 1993). O uso destes processos tem o objetivo de modificar os minerais primários para aumentar a disponibilidade de nutrientes e o efeito condicionador do solo (Nascimento e Lapido-Loureiro, 2004). A concentração e o aumento da solubilidade de nutrientes por processos industriais é possível, mas sua utilização é restrita devido ao elevado custo energético e a ausência de tecnologia sustentável. Entretanto, os elevados custos das FCN pós-2008 podem viabilizar alguns destes processos.

A utilização da energia de processos metalúrgicos, por exemplo, pode ser uma das rotas sustentáveis de processos de transformação das FAN. Os processos biológicos podem também ser utilizados na produção de fertilizantes organominerais a partir de silicatos (Badr *et al.*, 2006; Bigham *et al.*, 2001; Calvaruso *et al.*, 2006; Dalcin, 2008; Lopes-Assad *et al.*, 2006). Uma terceira rota é a utilização de misturas de FCN e FAN, tanto com processos biológicos, químicos e/ou físicos (Benedito *et al.*, 2010; Oba *et al.*, 2000). Em todas estas rotas é possível diminuir a demanda de nutrientes a partir de FCN (Chaves e Oba, 2004; Chaves, 2010).

Os silicatos, além de disponibilizar nutrientes minerais e melhorar as características físico-químicas como condicionadores de solo, também disponibilizam silício, muito importantes no desenvolvimento de diversas culturas de gramíneas, entre elas a cana-de-açúcar (Korndörfer *et al.*, 2004; Pereira *et al.*, 2007; Ramos *et al.*, 2006). Outros efeitos positivos dos silicatos também estão relacionados com as interações silício-fósforo, favorecendo o melhor aproveitamento de fósforo (Carvalho *et al.*, 2001).

MATERIAIS POTÁSSICOS

Os materiais potássicos mais importantes derivados de rochas silicáticas são formados pelos seguintes minerais (Luz *et al.*, 2010; Manning, 2010a, b): feldspato, muscovita, glauconita, flogopita, biotita, feldspatóides, e zeólitas. Estes minerais podem ser fontes de potássio e silício. A flogopita e a biotita também podem disponibilizar magnésio, especialmente durante o processo de liberação de potássio (Martins, 2001).

O feldspato potássico, a glauconita e a muscovita apresentam cinética de dissolução muito baixa (Blum e Stillings, 1995). A flogopita e a biotita apresentam cinética de dissolução moderada, enquanto os feldspatóides apresentam cinética de dissolução elevada (Martins *et al.*, 2004).

O aproveitamento agrônomico do potássio a partir de materiais de baixa cinética de dissolução, ricos em feldspato, glauconita e/ou muscovita pode ser viabilizado por meio de processos de beneficiamento físicos, biológicos ou químicos. A moagem ultrafina (80% < 400 mesh, ou < 0,038 mm) de fonolitos, ricos em feldspato potássico, apresenta eficiência agrônomico para culturas anuais (Cortes *et al.*, 2010). Processos térmicos de fusão (> 1.000° C) ou hidrotermais por soluções salinas sobre feldspatos potássicos também

umentam a solubilidade dos produtos pela transformação mineralógica e formação de novas fases mais solúveis, como a kalsilita (Vilela e Sousa, 1986).

Os processos térmicos (Eichler, 1983; Leite, 1985) e os biológicos (Dalcin, 2008) são os mais indicados para os materiais ricos em glauconita (Lapido-Loureiro *et al.*, 2010). Os estudos agrônômicos indicaram um aumento da disponibilidade a partir de 800° C (Leite, 1985). Os processos biológicos de compostagem e de bioextração também são eficientes (Lapido-Loureiro *et al.*, 2010; Lopes-Assad *et al.*, 2006, 2009).

Os experimentos agrônômicos com os materiais ricos em biotita e flogopita como fonte de potássio apresentam uma elevada eficiência agrônômica e efeito residual em culturas anuais (Martins *et al.*, 2008; Resende *et al.*, 2006a). O único processo de beneficiamento, neste caso, é a moagem, sendo que não é necessário uma granulometria muito fina (100% < 2 mm, 50% < 0,3 mm). A quantidade de potássio aproveitada no primeiro cultivo varia dependendo da granulometria dos minerais, do tipo de solo e da cultura estudada (Resende *et al.*, 2006a).

Os feldspatóides, como a kalsilita, apresentam a mais elevada disponibilidade de potássio entre os minerais silicáticos (Silva e Ritchey, 1982). Entretanto, a ocorrência natural destes minerais está associada a rochas alcalinas especiais, do tipo kamafugito, e é muito rara devido à elevada alterabilidade deste mineral em clima tropical (Manning, 2010b). Um dos processos industriais de beneficiamento hidrotermal de rochas potássicas transforma o feldspato potássico em kalsilita e aumenta, desta forma, a disponibilidade de potássio (Silva e Ritchey, 1982; Vilela e Sousa, 1986).

Os minerais do grupo da zeólita podem apresentar potássio em sua composição (Manning, 2010b). No entanto, estes minerais são aplicados usualmente em sistemas agrônômicos como condicionador de solo e controlador de cinética de liberação de FCN, especialmente do nitrogênio (Bernardi *et al.*, 2010).

Todos estes processos de beneficiamento agregam valor às FAN derivadas destes materiais silicáticos potássicos, mas promovem um aumento de custo de produção. Um análise econômica e energética deve ser desenvolvida para avaliar a viabilidade destes produtos.

Por outro lado, os resíduos dos processos de liberação do potássio geram novas fases minerais com elevada superfície específica e carga superficial. Este é o caso da formação de vermiculita a partir da biotita ou flogopita (Martins *et al.*, 2004). Estas novas fases melhoram as características físico-químicas do solo e da CTC, aumentando, inclusive, o aproveitamento de fontes solúveis.

MATERIAIS MAGNESIANOS

Os silicatos de magnésio principais são os seguintes (Luz *et al.*, 2010): olivina (Mg_2SiO_4), enstatita ($MgSiO_3$), serpentina ($Mg_3Si_2O_5(OH)_4$), talco ($Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$) e clorita ($Mg_5Al(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$). Estes minerais são típicos de rochas ultramáficas. Estes minerais apresentam potencial como corretivo de acidez e fornecedor de silício e magnésio (Pereira *et al.*, 2007; Ramos *et al.*, 2006; Santos *et al.*, 2009).

Estes estudos geralmente indicam uma cinética de liberação do silício e do magnésio inferior aos silicatos de cálcio (Pereira *et al.*, 2007; Ramos *et al.*, 2006), mas os efeitos no controle de doenças apresentam resultados similares entre os dois tipos de silicatos (Santos *et al.*, 2009).

MATERIAIS CÁLCICOS

Os silicatos de cálcio mais importante utilizados na agricultura são os minerais com estrutura e composição da wollastonita ($CaSiO_3$), o extremo cálcico do grupo dos piroxênios (Costa e Girardi, 2004). Este é um tipo de mineral que ocorre em rochas metamórficas em ambientes naturais (Moraes *et al.*, 2007). Em processos industriais são formados na produção de aço (Korndörfer *et al.*, 2004). Estes materiais são utilizados como corretivo de acidez do solo e fornecedor de cálcio e de silício (Pereira *et al.*, 2007; Prado e Fonseca, 2010).

Recentemente foi comprovada a existência de uma jazida de wollastonita na região de Goianira (GO), de elevada qualidade (45% de CaO e 49% de SiO₂) e com reserva estimada em torno de 5,5 milhões de toneladas (Bittar e Silva, 2009).

MATERIAIS SILICÁTICOS CARBONOSOS

Os materiais silicáticos carbonosos com maior importância agrônômica atualmente são os folhelhos pirobetuminosos da Formação Irati. As camadas desta Formação ocorrem nas bordas da Bacia do Paraná, abrangendo os estados do Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, além do Paraguai e Argentina (Araújo *et al.*, 2000).

O aproveitamento deste folhelho na produção de petróleo na região de São Mateus do Sul (PR) pela Petrobras gera resíduos com potencial de utilização na agricultura, como condicionadores de solo (Messias *et al.*, 2010), fornecedores de nutrientes (Gardin *et al.*, 2010), corretivos de acidez (Ferreira *et al.*, 2010; Silveira *et al.*, 2010), no controle de doenças e promotores de crescimento de plantas (Gardin *et al.*, 2010).

Nas outras regiões, os calcários associados aos folhelhos são utilizados como corretivos de acidez do solo, especialmente no Sudoeste Goiano e no Mato Grosso. Estes materiais silicáticos carbonosos apresentam grande potencial como condicionadores de solo, especialmente no aumento da CTC (Pereira *et al.*, 2003). Também podem ter seu uso viabilizado como fonte de magnésio e de silício.

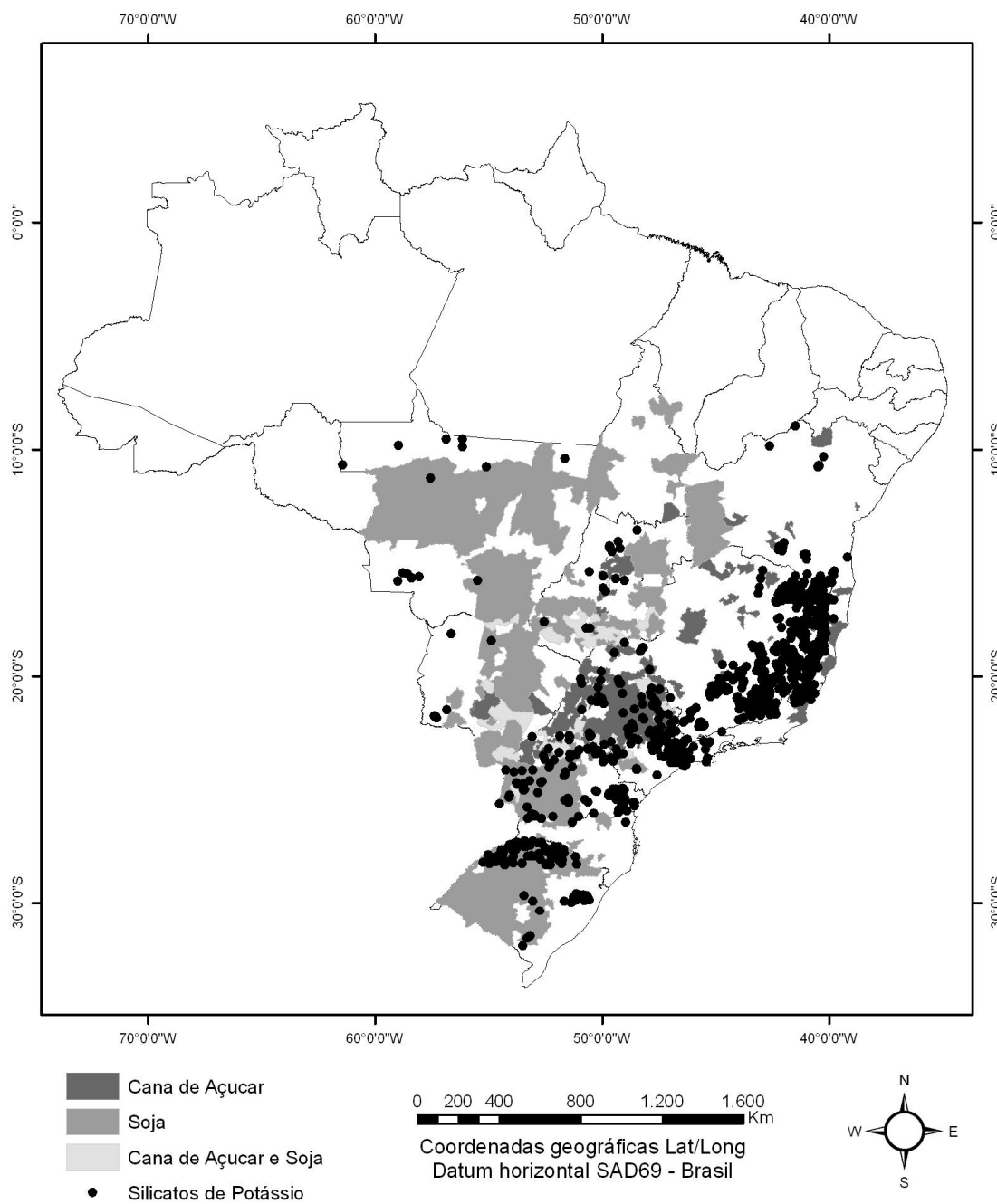
Ocorrências de fontes de materiais silicáticos no Brasil

Vários trabalhos mostram o potencial de materiais silicáticos como fontes de nutrientes e de condicionadores de solo (Martins *et al.*, 2008; Resende *et al.*, 2006a), mas praticamente não existem estudos sistematizados mostrando as ocorrências destas fontes.

Em busca realizada no banco de dados GEOBANK da CPRM (Dantas e Leão Neto, 2007), nas entradas de ocorrências de recursos minerais (veja: <http://geobank.sa.cprm.gov.br/>), especialmente para a região Centro-Sul do país, obtiveram-se algumas informações.

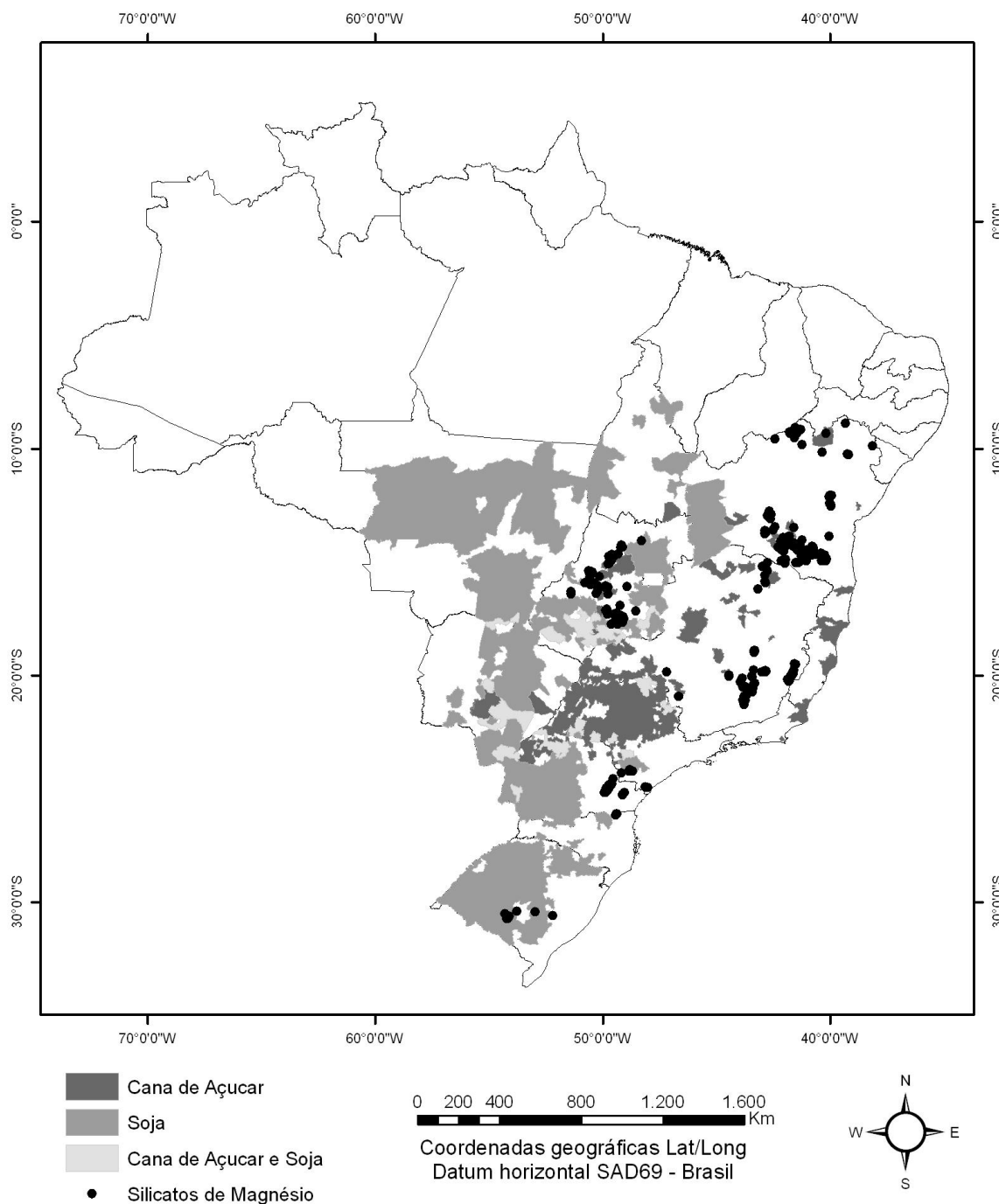
Os recursos minerais estão listados por substância mineral, localização e associação litológica. As entradas podem ser ocorrências ou minas ativas. A busca foi realizada para as seguintes fontes de materiais silicáticos: potássicos, magnesianos e condicionadores de solo (zeólita e materiais silicáticos carbonosos).

A estas ocorrências foram associadas as áreas de produção de cana-de-açúcar e de soja para a região Centro-Sul do país. Observa-se a grande abrangência das ocorrências de materiais silicáticos potássicos (Fig. 1), magnesianos (Fig. 2) e os condicionadores de solo (Fig. 3). As ocorrências de calcário (Fig. 4) indicam que a logística dos materiais silicáticos é viável para o seu aproveitamento regional. (Rocha e Teixeira, 2010).



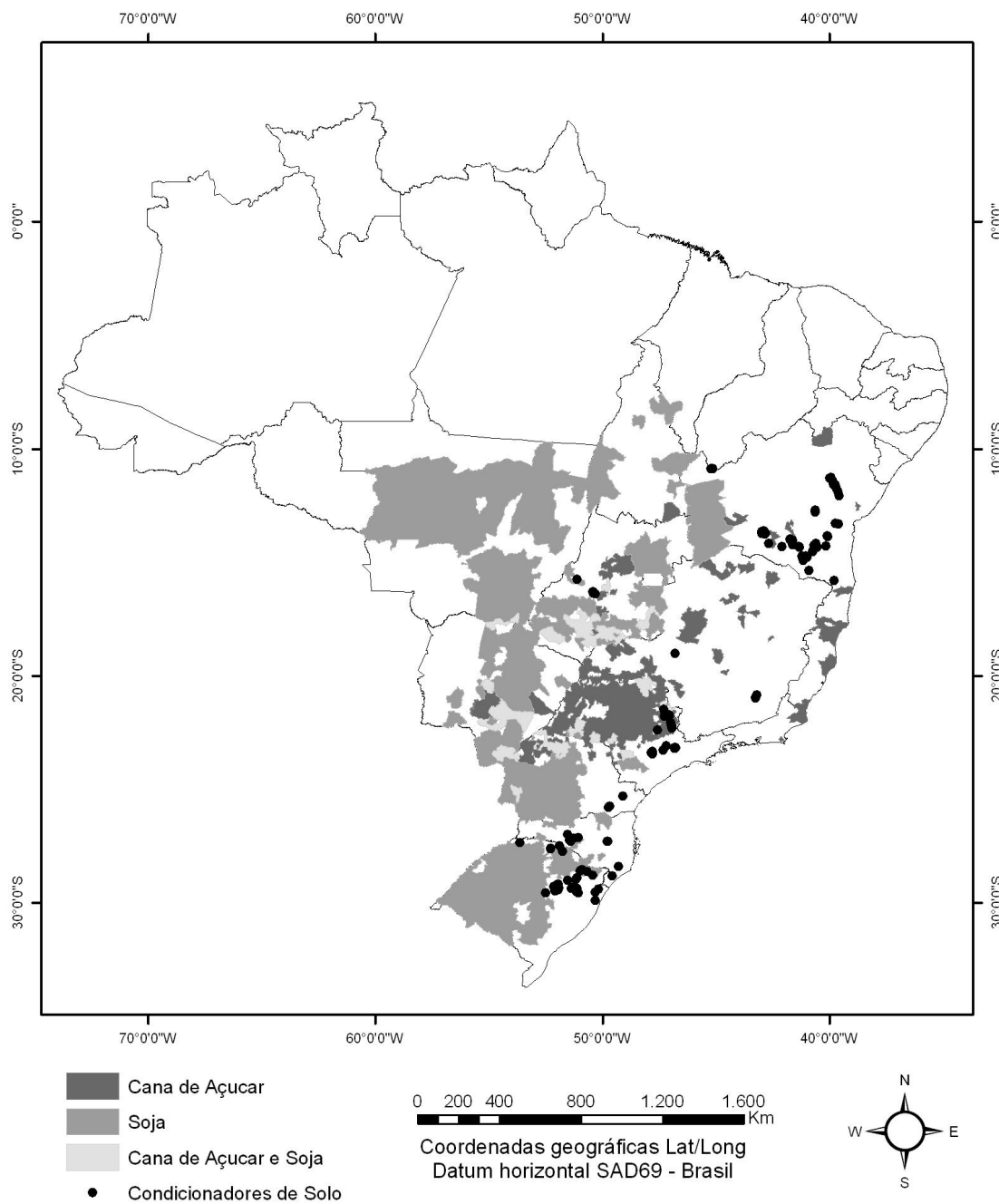
Fontes: ocorrências minerais (GEOBANK, CPRM); áreas de plantios (IBGE).

Figura 1 – Ocorrências minerais associadas a silicatos de potássio e sua relação com as áreas produtoras de soja e cana-de-açúcar.



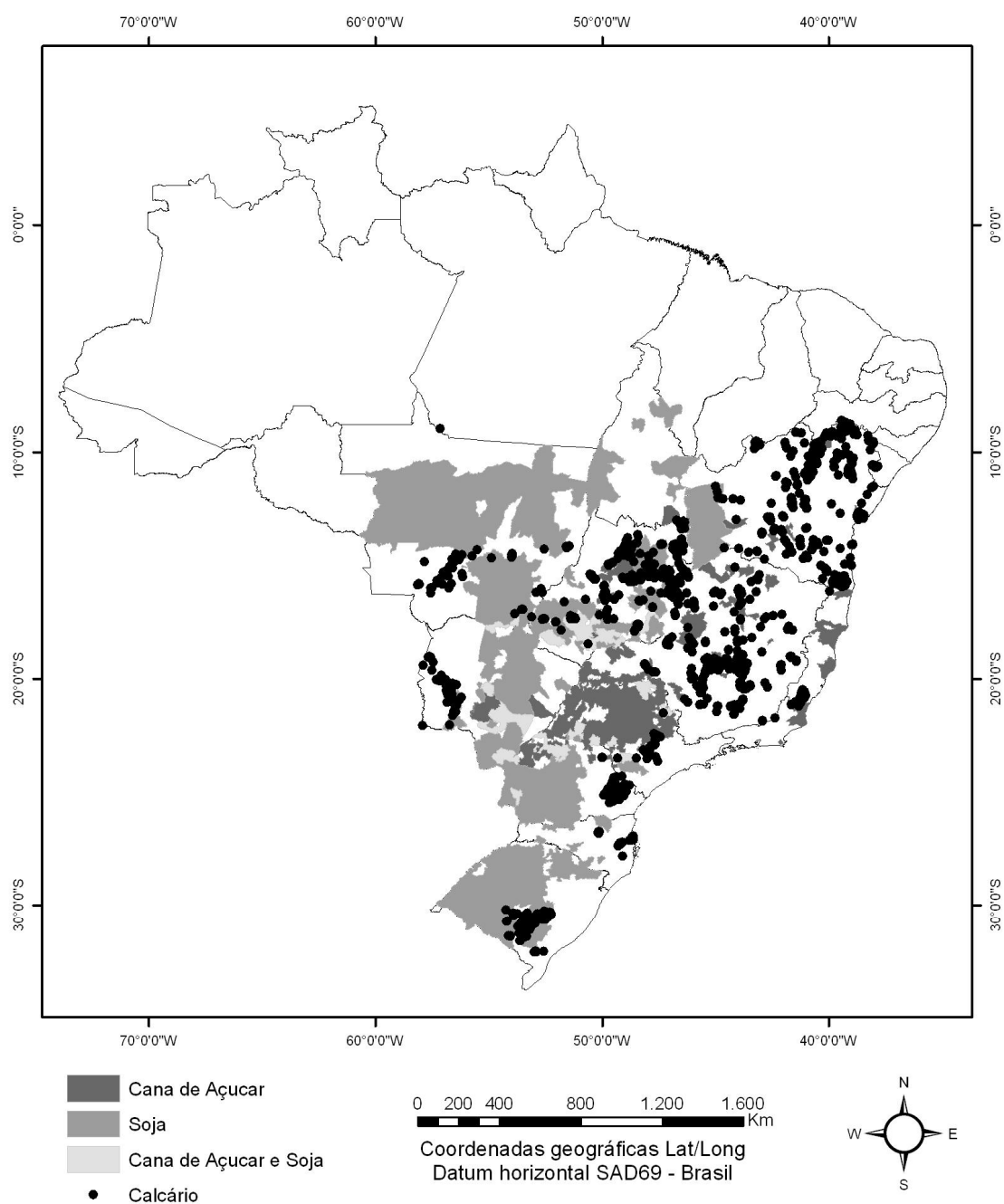
Fontes: ocorrências minerais (GEOBANK, CPRM); áreas de plantios (IBGE).

Figura 2 – Ocorrências minerais associadas a silicatos de magnésio e sua relação com as áreas produtoras de soja e cana-de-açúcar.



Fontes: ocorrências minerais (GEOBANK, CPRM); áreas de plantios (IBGE).

Figura 3 – Ocorrências minerais associadas a condicionadores de solo e sua relação com as áreas produtoras de soja e cana-de-açúcar.



Fontes: ocorrências minerais (GEOBANK, CPRM); áreas de plantios (IBGE).

Figura 4 – Ocorrências minerais associadas a calcários e sua relação com as áreas produtoras de soja e cana-de-açúcar.

As FAN apresentam uma lógica de mercado similar ao calcário. O aproveitamento do calcário como corretivo de acidez do solo é possível apenas até um limite econômico de distância da jazida até a área produtiva, geralmente inferior a 350 km (Pereira, 2007).

As ocorrências das FAN indicam que este conceito pode ser utilizado para diminuir a necessidade de FCN e aumentar a sustentabilidade, ainda que parcial da produção de biocombustíveis líquidos no Brasil.



Conclusões

Os estudos recentes indicam a necessidade da assimilação do novo paradigma dos fertilizantes e condicionadores de solo baseados em FAN, em substituição progressiva ao modelo das fontes solúveis e de elevada concentração. As dimensões econômica e ambiental são muito evidentes, especialmente após a crise de 2008.

Os materiais silicáticos primários e, ou secundários mostram grande potencial no desenvolvimento de fontes de nutrientes e condicionadores de solo. A distribuição das fontes no território brasileiro indica seu elevado potencial regional, especialmente para a produção de biocombustíveis líquidos.

Ações estratégicas da indústria e do estado podem utilizar este potencial para desenvolver uma produção de biocombustíveis sustentável, com a diminuição da dependência de insumos importados. Além disso, a cadeia produtiva regional possibilita a geração de novos negócios e empregos.

Referências bibliográficas

- ANDERSON, D.L. (1991). Soil and leaf nutrient interations following application of calcium silicate slag to sugarcane. **Fertilizer Research**, 30(1):9-18.
- ARAÚJO, L.M.; TRIGÜIS, J.A.; CERQUEIRA, J.R.; FREITAS, C.S. (2000). The atypical Permian petroleum system of the Paraná Basin, Brazil. In: M.R. Mello e B.J. Kats (eds.), **Petroleum system of South Atlantic margins**. AAPG Memoir, 73:377-402.
- BADR, M.A.; SHAFEI, A.M.; EL-DEEN, S.H.S. (2006). The dissolution of K and P-bearing minerals by silicate dissolving bacteria and their effect on sorghum growth. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, 2(1):5-11.
- BATAGLIA, O.C. (2005). Métodos diagnósticos da nutrição potássica com ênfase no DRIS. In: T. Yamada; T. Roberts (eds.), **Simpósio sobre Potássio na Agricultura Brasileira**, 2, São Pedro, SP, Anais ..., Piracicaba: POTAFOS, p. 321-341.
- BENEDITO, D.S; PROCHNOW, L.I.; SILVEROL, A.C.; TOLEDO, M.C.M. (2010). Eficiência agrônômica de compostos organominerais obtidos pelo processo Humifert. **Bragantia**, Campinas, 69(1):191-199.
- BENETTI, M.D. (2002). Reestruturação das indústrias de suprimentos agrícolas no Brasil, nos anos 90: concentração e desnacionalização. **Indicadores Econômicos FEE**, Porto Alegre, 30(1):137-166.
- BENETTI, M.D. (2004). Globalização e desnacionalização do agronegócio brasileiro no pós 1990. Porto Alegre: Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser, **Documentos FEE**, 61, 173 p.
- BENITES, V.M. (coord.) (2009). **Produção de fertilizantes organominerais granulados a partir de resíduos de suinocultura no Sudoeste Goiano**. Embrapa, Projeto de Pesquisa, Macroprograma 3.
- BERNARDI, A.; MONTE, M.; POLIDORO, J.C.; SOUZA-BARROS, F. (2010). Potencial de uso de zeolitas na agropecuária. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **Congresso Brasileiro de Rochagem**, I, Anais ..., Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 21, p. 191-196.
- BERNARDI, A.C.C.; WERNECK, C.G.; HAIM, P.G.; REZENDE, N.G.A.M.; AMORIM, H.S.; SOUZA-BARROS, F.; PAIVA, R.P.P.; MONTE, M.B.M. (2004). Avaliação agrônômica de substratos contendo zeólita enriquecida com nitrogênio, fósforo e potássio. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 57.
- BERNARDI, A.C.C.; WERNECK, C.G.; HAIM, P.G.; BOTREL, N.; OIANO NETO, J.; MONTE, M.B.M.; VERRUMA-BERNARDI, M.R. (2007). Produção e qualidade de frutos de tomateiro cultivado em substrato com zeólita. **Horticultura Brasileira**, 25:306-311.

- BERTOL, I.; COGO, N.P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J.C.; AMARAL, A.J. (2007). Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 31:133-142.
- BIGHAM, J.M.; BHATTI, T.M.; VUORINEN, A.; TUOVINEN, O.H. (2001). Dissolution and structural alteration of phlogopite mediated by proton attack and bacterial oxidation of ferrous iron. **Hydrometallurgy**, 59(2-3):301-309.
- BITTAR, N.; SILVA, H.H. (2009). Wollastonita de Goianira- Goiás. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **Congresso Brasileiro de Rochagem**, I, livro de resumos, Brasília, DF.
- BLAYLOCK, A.D.; KAUFNABB, J.; DOWBENKO, R.D. (2005). Nitrogen fertilizer technologies. **Western Nutrient Management Conference**, Salt Lake City, 6:8-13.
- BLUM, A.E.; STILLINGS, L.L. (1995). Feldspar dissolution kinetics. In: Eds. A.F. White e S. L. Brantley, Chemical weathering rates of silicate minerals, **Reviews in Mineralogy**, 31:291-351.
- CALVARUSO, C.; TURPAULT, M-P.; FREY-KLETT, P. (2006). Root-associated bacteria contribute to mineral weathering and to mineral nutrition in trees: a budgeting analysis. **Applied and Environmental Microbiology**, 72:1258-1266.
- CANUTO, E.L.; OLIVEIRA, A.L.M.; REIS, V.M.; BALDANI, J.I. (2003). Evaluation of the biological nitrogen fixation contribution in sugarcane plants originated from seeds and inoculated with nitrogen-fixing endophytes. **Brazilian Journal of Microbiology**, 34(supl.1): 62-64.
- CARVALHO, R.; FURTINI NETO, A.E.; SANTOS, C.D.; FERNANDES, L.A.; CURI, N.; RODRIGUES, D.C. (2001). Interações silício-fósforo em solos cultivados com eucalipto em casa de vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 36:557-565.
- CEKINSKI, E.; PEREIRA, S.C.C.; GUARDANI, R.; GIULIETTI, M. (1986). Aspectos gerais da produção de termo-fosfatos. **Encontro Nacional de Rocha Fosfática**, III. São Paulo, Ibrafos, 1986.
- CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; PAVINATO, A. (2007). Manejo da adubação. In: R. F. Novais, *et al.* (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 851-872.
- CHAVES, A.P. (2010). Rotas tecnológicas convencionais e alternativas para a obtenção de fertilizantes. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **I Congresso Brasileiro de Rochagem**. Anais, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 40, p. 313-321.
- CHAVES, A.P.; OBA, C.A.I. (2004). Críticas ao modelo brasileiro de fertilizantes fosfatados de alta solubilidade. Rio de Janeiro: CETEM, **Série Estudos e Documentos**, 63, 25 p.
- CORTES, G.P.; FERREIRA, R.C.; CORTES, G.P.; RAMPAZZO, L. FERREIRA, L.C. (2010). Fonolito como substituto do cloreto de potássio e/ou outras fontes de potássio na agricultura e pecuária no Brasil. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **I Congresso Brasileiro de Rochagem**. Anais. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 8, p. 75-83.
- COSTA, P.C.C.; GIRARDI, V.A.V. (2004). Petrografia e química mineral dos diques máficos da região Crixás-Goiás, estado de Goiás. **Geol. USP**, Sér. cient. [online], 4(2):27-42.
- DALCIN, G. (2008). **Seleção de Microrganismos Promotores da Disponibilidade de Nutrientes Contidos em Rochas, Produtos e Rejeitos de Mineração**. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Dissertação de Mestrado, 95 p.
- DANTAS, A.S.L.; LEÃO NETO, R. (2007). Levantamentos geológicos no Serviço Geológico do Brasil – CPRM, como tecnologia social: A busca de novos paradigmas. In: F.R.C. Fernandes, G.M.M. Matos, Z.C. Castilhos, A.B. Luz (eds.), **Tendências Tecnológicas Brasil 2015 – Geociências e Tecnologia Mineral**, Rio de Janeiro: CETEM, Parte I, cap. 4, p. 57-77.
- DIBB, D.W. (2000). The mysteries (myths) of nutrient use efficiency. **Better Crops**, 84(3):3-5.

- EICHLER, V. (1983). **Disponibilidade do potássio do verdete de abaeté calcinado com e sem calcário magnesiano para a cultura do milho (*Zea mays* L.), em solos de textura média e argilosa**. Lavras, MG: Universidade Federal de Lavras, UFLA, Dissertação de mestrado.
- FERREIRA, L.H.G.; SILVEIRA, C.A.P.; PILLON, C.N.; SANTOS, L.C. (2010). Efeito da combinação de calcário de xisto e calcário dolomítico com diferentes fontes de fósforo sobre a produtividade da cultura da soja. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **I Congresso Brasileiro de Rochagem**. Anais ..., Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 25, p. 219-224.
- FONTES, M.P.F.; WEED, S.B. (1996). Phosphate adsorption by clays from Brazilian Oxisols: relationships with specific surface area and mineralogy. **Geoderma**, 72:37-51.
- FREITAS, L.R.; NASCIMENTO, M.; ALMENDRA, E.R. (2007). PATENTE, PI 0602252-9: **Process for Recovery of Potassium Values Contained in Verdete Slates**. Companhia Vale Do Rio Doce.
- FUJIMORI, K. (1984). Desenvolvimento da tecnologia de produção do fertilizante potássico tipo kalsilita, próprio para agricultura tropical a partir das rochas potássicas. Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro – p. 4892-4902.
- FYFE, W.S.; LEONARDOS, O.H., THEODORO, S.H. (2006). Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 78:715-720.
- GADD, G.M. (2007). Geomycology: biogeochemical transformations of rocks, minerals, metals and radionuclides by fungi, bioweathering and bioremediation. **Mycological Research** 111: 3–49.
- GARDIN, J.P.P.; DOUMER, M.E.; MESSIAS, R.S.; FERREIRA, L.H.G.; SILVEIRA, C.A.P.; PILLON, C.N. (2010). Avaliação do efeito de fertilizantes foliares a bases de água de xisto na produtividade e na atividade enzimática na cultura do milho. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **Congresso Brasileiro de Rochagem**. Anais ..., Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 26, p. 225-232.
- GOEDERT, W.J. (1989). Região dos Cerrados: potencial agrícola e política para seu desenvolvimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 24(1):1-17, 1989.
- HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H.; SILVA W.M. (1999). Sistema de manejo de solos e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 23(1):145-54.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.U.; MENDES, I.C. (2001). Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja. **Circular Técnica**, Londrina: Embrapa Soja, 35, 48 p.
- IZIDORIO, R.; MARTINS FILHO, M.V.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z.M.; PEREIRA, G.T. (2005). Perdas de nutrientes por erosão e sua distribuição espacial em área de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, 25(3):660-670.
- KAMINSKI, J.; BRUNETTO, G.; MOTERLE, D.F.; RHEINHEIMER, D.S. (2007). Depleção de formas de potássio do solo afetada por cultivos sucessivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:1003-1010.
- KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; NOLLA, A. (2004). Análise de silício no solo, planta e fertilizante. **Boletim Técnico 02**, Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU. 50p.
- KRONBERG, B.I.; FYFE, W.S.; LEONARDOS, O.H.; SANTOS, A.M. (1979). The chemistry of some Brazilian soils: Element mobility during intense weathering. **Chemical Geology**, 24(3-4):211-229.
- KULAIF, Y. (1997). A evolução recente e a configuração atual da indústria brasileira de fertilizantes. **Minérios Minerais**, São Paulo, 220:35-39.
- KULAIF, Y. (1999). A nova configuração da indústria de fertilizantes fosfatados no Brasil. Rio de Janeiro: CETEM, **Série Estudos e Documentos**, 42, 244 p.
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (eds.) (2009). **Fertilizantes: Agroindústria e Sustentabilidade**. Rio de Janeiro, RJ: Centro de Tecnologia Mineral, CETEM/ PETROBRAS, 656 p.

- LAPIDO-LOUREIRO, F.E.; NASCIMENTO, M. (2003). Importância e função dos fertilizantes numa agricultura sustentável. Rio de Janeiro: CETEM, **Série Estudos e Documentos**, 53, 75 p.
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E.; NASCIMENTO, M.; NEUMANN, R.; RIZZO, A.C. (2010). Tecnologias de aplicação de glauconita como fonte de potássio na agricultura: O caso brasileiro e a experiência indiana. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **Congresso Brasileiro de Rochagem**, I, Anais, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 12, p. 111-119.
- LEITE, P.C. (1985). **Efeitos de tratamentos térmicos em misturas de verdete de Abaeté, fosfato de Araxá e calcário magnésiano**. Lavras, MG: Universidade Federal de Lavras, UFLA, Dissertação de Mestrado.
- LEONARDOS, O.H.; FYFE, W.S.; KRONBERG, B.I. (1987). The use of ground rocks in laterite systems – an improvement to the use of conventional soluble fertilizers. **Chemical Geology**, 60:361-370.
- LEONARDOS, O.H.; THEODORO, S.H.; ASSAD, M.L. (2000). Remineralization for sustainable agriculture: A tropical perspective from a Brazilian viewpoint. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 56:3-9.
- LOPES-ASSAD, M.L.; BRANDÃO, J.A.V.; ÁVILA, J.E.T. (2009) Biofertilizantes produzidos a partir de rochas potássicas e fosfatadas. In: D. Vilela; E.N. Fernandes; G.R. Carvalho; R.S. Verneque; C.E. Martins; R. Zoccal (orgs.). **Fórum das Américas: Leite e derivados**. 1 ed. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, v. 7, p. 155-170.
- LOPES-ASSAD, M.L.; ROSA, M.M.; ERLER, G.; CECCATO-ANTONINI, S.R. (2006). Solubilização de pó-de-rocha por *Aspergillus niger*. **Espaço & Geografia**, 9(1)1-17.
- LOPES, A.S.; ALCARDE, J.C.; GUIDOLIN, J.A. (1998) Os adubos e a eficiência das adubações. 3. ed., São Paulo: ANDA, **Boletim Técnico**, 3, 43 p.
- LUZ, A.B.; LAPIDO-LOUREIRO, F.E.; SAMPAIO, J.A.; CASTILHOS, Z.C.; BEZERRA, M.S. (2010). Rochas, minerais e rotas tecnológicas para produção de fertilizantes alternativos. (Nessa publicação).
- MANNING, D.A.C. (2010a). Mineral sources of potassium for plant nutrition: A review. **Agronomy for Sustainable Development**, 30(2):281-294.
- MANNING, D.A.C. (2010b). Stone meal as a source of plant nutrients, especially potash: a mineralogical approach. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro, **Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem**, cap. 5, p. 47-54.
- MARQUES, J.J.; SCHULZE, D.G.; CURI, N.; MERTZMAN, S.A. (2004). Major element geochemistry and geomorphological relationship in Brazilian Cerrado soils. **Geoderma**, 119:179-195.
- MARTINS, E.S., OLIVEIRA, C.G., RESENDE, A.V.; MATOS, M.S.F. (2008). Agrominerais – Rochas Silicáticas como Fontes Mineraias Alternativas de Potássio para a Agricultura. In: Adão B. Luz e Fernando Lins (eds.), **Rochas e Mineraias Industriais – Usos e Especificações**, Rio de Janeiro: CETEM, p. 205-221.
- MARTINS, E.S.; THEODORO, S.H. (eds.) (2010). **Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 322 p.
- MARTINS, J.C. ; MARTINS, E.S. ; REATTO, A. (2004). Revisão sobre intemperismo de micas. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, **Série Documentos**, 164:1-42.
- MARTINS, J.C. (2001). **Cinética de dissolução de flogopita do Complexo Carbonatítico de Catalão I**. Brasília, DF: Universidade de Brasília, UnB, Instituto de Geociências, 227 p. Dissertação de Mestrado.
- MESSIAS, R.; SILVA, S.D.A.; PAGEL, I.; ARAÚJO, V.F.; SILVEIRA, C.A.P.; PILLON, C.N. (2010). Influência de formulações foliares a base de água de xisto (AX) no teor de óleo em duas cultivares de girassol (*Helianthus annuus L.*). In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **Congresso Brasileiro de Rochagem**. Anais, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 30, p. 255-258.
- MONTE, M.B.M.; MIDDEA, A.; PAIVA, P.R.P.; BERNARDI, A.C.C.; REZENDE, N.G.A.M.; BAPTISTA-FILHO, M.; SILVA, M.G.; VARGAS, H.; AMORIM, H.S.; SOUZA-BARROS, F. (2009). Nutrient Release by a Brazilian Sedimentary Zeolite. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 81(4):1-13.

- MORAES, R.; FUCK, R.A.; BROWN, M.; PICCOLI, P.; BALDWIN, J.; DANTAS, E.L.; LAUX, J.H.; JUNGES, S.L. (2007). Wollastonite-scapolite-clinopyroxene marble of the Anápolis-Itaçu Complex, Goiás: more evidence of ultrahigh-temperature metamorphism. **Revista Brasileira de Geociências**, 37(4-suplemento):11-17.
- NASCIMENTO, M.; LAPIDO-LOUREIRO, F.E. (2004). Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira fontes e rotas alternativas. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. 66p. (**Série Estudos e Documentos**, 61).
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. (eds.) (1999). **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, DPS, 399 p.
- OBA, C.A.I.; LACOUT, J.L.; CHAVES, A.P. (2000). Novo fertilizante organo-fosfatado viabiliza materiais fosfatados marginais. **Brasil Mineral**, n. 183, p. 60-4.
- PATERNIANI, E. (2001). Agricultura sustentável nos trópicos. **Estudos Avançados**, São Paulo, 15(43):303-326.
- PEREIRA, C.M. (2007). **Política de uso de calcário agrícola e a sustentabilidade da agricultura no Brasil**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP, 316 p.
- PEREIRA, H.S.; BARBOSA, N.C.; CARNEIRO, M.A.C.; KORNDÖRFER, G.H. (2007). Avaliação de fontes e de extratores de silício no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 42(2):239-247.
- PEREIRA, H.S.; VITTI, G.C.; KORNDÖRFER, G.H. (2003). Comportamento de diferentes fontes de silício no solo e na cultura do tomateiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:101-108.
- PINI, R.A.; CHAVES, A.P. (2001). **Fabricação de termofosfato utilizando fosfogesso**. São Paulo, Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Minas, BT/PMI, 151.
- PRADO, R.B.; BENITES, V.M.; MACHADO, P.L.O.A.; POLIDORO, J.C.; DART, R.O.; NAUMOV, A. (2008). Mapping Potassium Availability from Limited Soil Profile Data in Brazil. In: A. E. Hartermink; A.B. Mc Bratney; M.L. Mendonça-Santos (orgs.). **Digital Soil Mapping with Limited Data**: Springer, p. 91-101.
- PRADO, R.B.; TURETTA, A.P.; POLIDORO, J.C.; BENITES, V.M.; BALIEIRO, F.C.; CHAVAGLIA FILHO, P.; FERREIRA, C.E.G. (2007) Mapeamento da disponibilidade de cálcio e magnésio em solos do Sudoeste Goiano. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 31, Anais, Gramado-RS, CD-Rom.
- PRADO, R.M.; FONSECA, I.M. (2010). Uso agrícola de resíduos minerais da siderurgia para produção de agroenergia: Resultados da UNESP com cana-de-açúcar. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **Congresso Brasileiro de Rochagem**, I, Anais, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 22, p. 197-205.
- RAMOS, L.A.; NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M.S. (2006). Reatividade de corretivos de acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:849-857.
- REIS JÚNIOR, F.B.; SILVA, L.G.; REIS, V.M.; DÖBEREINER, J. (2000). Ocorrência de bactérias diazotróficas em diferentes genótipos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 35(5); 985-994. RESENDE, A.V.; MACHADO, C.T.T.; MARTINS, E.S.; SENA, M.C.; NASCIMENTO, M.T.; SILVA, L.C.R.; LINHARES, N.W. (2006a) Rochas como fontes de potássio e outros nutrientes para culturas anuais. **Espaço & Geografia**, 9:135-161.
- RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; ALVES, V.M.C.; MUNIZ, J.A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPARA, D.I.; SANTOS, J.Z.L.; CARNEIRO, L.F. (2006b). Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da Região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:453-466.
- ROCHA LIMA, M. H. M. e TEIXEIRA, N. SILVA (2010). Um estudo das principais lavouras para a produção de biocombustíveis. (Nessa publicação)
- RODRIGUES, A.F.S. (2009). Agronegócio e Mineralnegócio: Relações de dependência e sustentabilidade. In: **Informe Mineral: Desenvolvimento e Economia Mineral**. Brasília: DNPM, v.7, p. 28-47.

- RODRIGUES, A.F.S. (2010). Mineração para o Agronegócio. In: A. F. S. Rodrigues (coord.), **Economia Mineral do Brasil**, Brasília: DNPM, 2009, cap. 7, p. 532-595.
- ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C.; FOLONI, J.S.S. (2005). Potassium leaching from millet straw as affected by rainfall and potassium rates. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 36:1063-1074.
- SANTOS, A.B; PRABHU, A.S; FERREIRA, E.; FAGERIA, N.K. (2009). Fertilização silicatada na severidade de brusone e na incidência de insetos-praga em arroz irrigado. | **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 13(5):537-543.
- SAVANT, N.K, KORNDÖRFER, G.H., DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. (1999). Silicon nutrition and sugarcane production: a review. **J. Plant Nutr.**, 22(12):1853-1903.
- SHAVIV, A. (2001). Advances in controlled-release fertilizers. In: D.L Sparks (org.), **Advances in Agronomy**, San Diego-CA: Elsevier, vol. 71, cap. 1, p. 1-49.
- SHIKI, S.; SILVA, J.G.; ORTEGA, A.C. (1997). **Agricultura, meio ambiente e sustentabilidade do Cerrado Brasileiro**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia.
- SILVA, J.E.; RITCHEY, K.D. (1982). Adução potássica em solos de Cerrado. In: Simpósio sobre Potássio na Agricultura Brasileira, 1982, Londrina. Potássio na Agricultura Brasileira: Anais, Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, p. 323-338.
- SILVEIRA, C.A.P.; FERRREIRA, L.H.G.; PILLON, C.N.; GIACOMINI, S.J.; SANTOS, L.C. (2010). Efeito da combinação de calcário de xisto e calcário dolomítico sobre a produtividade de grãos de dois sistemas de rotação de culturas. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **I Congresso Brasileiro de Rochagem**. Anais, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 24, p. 215-218.
- SOUSA, D.M.G., REIN, T.A. (2009). Manejo da fertilidade do solo para culturas anuais: Experiências no Cerrado. **Informações Agrônomicas**, São Paulo, 126:1-7.
- SPAROVEK, G.; MARTINS, S.P.; MAULE, R.F.; SMORIGO, J. (2008). Mercado mundial de biocombustíveis e oportunidade para a produção brasileira de etanol de cana-de-açúcar, sob perspectivas econômicas, ambientais e de segurança alimentar. Brasília: Universidade de Brasília, Centro de Estudos Avançados Multidisciplinares, Núcleo de Estudos Agrários, **Cadernos do CEAM**, 8(33):7-82.
- STEWART, B.A. (1975). **Soil Conditioners**. In: Soil Science Society of America – Special Publication, Madison, 7p. 186.
- STRAATEN, P. (2006). Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 78:731-747.
- STRAATEN, P. (2007). **Agrogeology – The use of Rocks for Crops**. Canadá: Universidade de Guelph, P. van Straaten., 440 p.
- STRAATEN, P.V. (2010). Geodiversity, biodiversity and the origin of crops. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 1, p. 13-22.
- VALARELLI, J.V., NOVAIS, R.F., MELO, M.T.V., LEAL, E.D. (1993). Ardósias “Verdete” de Cedro do Abaeté na produção de termofosfato potássico fundido e sua eficiência agrônômica. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 65(4):343-375.
- VALARELLI, J.V.; GUARDANI, R. (1981). Estudos Experimentais para utilização das rochas potássicas de Poços de Caldas como fertilizantes. **Fertilizantes**, 3(3):4-7.
- VALLADARES, G.S.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. (2003). Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. **Bragantia**, Campinas, 62(1):111-118.
- VILELA, L.; SOUSA, D.M.G.; (1986). Avaliação agrônômica de fontes de potássio para solos de cerrado. In: W.J. Goedert e F.A. Dias Filho (eds.), **Relatório Bial** (1984/1985). Brasília: Embrapa, Petrofertil, p. 131-134.