

# **AGROMINERAIS PARA O BRASIL**

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL  
RIO DE JANEIRO, 2010

# AGROMINERAIS PARA O BRASIL

## EDITORES

---

Francisco Rego Chaves Fernandes  
Adão Benvindo da Luz  
Zuleica Carmen Castilhos

O conteúdo deste trabalho é de responsabilidade  
exclusiva do(s) autor(es)

**VERA LÚCIA DO ESPÍRITO SANTO SOUZA**  
Projeto Gráfico/Editoração Eletrônica

**GISELE ROSE DA SILVA**  
Assistente de Pesquisa

Foto Agrominerais: Verdete, Silanito, Fonolito, Amazonita, Verdete britado  
(da esquerda para a direita) – Sílvia Cristina Alves França e Gisele Rose da Silva.  
Agrícolas: milho, soja, feijão, arroz e cana-de-açúcar.

Centro de Tecnologia Mineral

Agrominerais para o Brasil/Eds. Francisco R. C. Fernandes, Adão B. da Luz,  
Zuleica C. Castilhos. - Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

380 p.: il.

1. Fertilizantes. 2. Agrominerais. 3. Agroindústria. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Fernandes, Francisco R.C. (Ed.). III. Luz, Adão B. (Ed.). III. Castilhos, Zuleica C. (Ed.).

ISBN 978-85-61121-61-7

CDD 668.62

# APRESENTAÇÃO

Com a edição deste livro conclui-se o Projeto AGROMINERAIS, coordenado pelo CETEM com financiamentos do CT-Mineral e FINEP.

No decorrer dos últimos 18 meses foi realizada intensa atividade de interação entre pesquisadores e professores das mais importantes instituições brasileiras. Foram realizadas Oficinas Temáticas muito concorridas, envolvendo a comunidade acadêmica, tecnológica, empresarial e organizações sociais. Ainda foram produzidos estudos prospectivos por especialistas renomados, nacionais e também internacionais das diferentes áreas do conhecimento envolvidas no tema. Destes últimos, foram elaborados quinze distintos capítulos para o atual livro sobre Agrominerais.

Acreditamos que com a edição deste livro e a sua divulgação simultânea na internet e no site do CETEM, estamos dando uma positiva contribuição à importante questão dos Agrominerais no Brasil.

Rio de Janeiro, Julho de 2010.

José Farias de Oliveira  
Diretor do CETEM



# SUMÁRIO

PREFÁCIO	<i>Francisco Rego Chaves Fernandes, Adão Benvindo da Luz e Zuleica Carmen Castilhos</i>	
CAPÍTULO 1	PANORAMA DOS AGROMINERAIS NO BRASIL: ATUALIDADE E PERSPECTIVAS <i>Yara Kulaif e Francisco Rego Chaves Fernandes</i>	01
CAPÍTULO 2	AGROMINERAIS: RECURSOS E RESERVAS <i>Antonio Fernando da Silva Rodrigues, David Siqueira Fonseca, Mathias Hider Ricardo Eudes Parahyba e Vanessa M. M. Cavalcante</i>	23
CAPÍTULO 3	ROTAS TECNOLÓGICAS CONVENCIONAIS E ALTERNATIVAS PARA A OBTENÇÃO DE FERTILIZANTES <i>Arthur Pinto Chaves</i>	45
CAPÍTULO 4	ROCHAS, MINERAIS E ROTAS TECNOLÓGICAS PARA A PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES ALTERNATIVOS <i>Adão Benvindo da Luz, Francisco E. Lapido-Loureiro, João Alves Sampaio, Zuleica Carmen Castilhos e Marcelo Soares Bezerra</i>	61
CAPÍTULO 5	MATERIAIS SILICÁTICOS COMO FONTES REGIONAIS DE NUTRIENTES E CONDICIONADORES DE SOLOS <i>Éder de Souza Martins, Álvaro Vilela de Resende, Claudinei Gouveia de Oliveira e Antonio Eduardo Furtini Neto</i>	89
CAPÍTULO 6	O MEIO AMBIENTE NA PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES FOSFATADOS NO BRASIL <i>Elvira Gabriela Dias e Roberto D. Lajolo</i>	105
CAPÍTULO 7	FOSFOGESSO: GERAÇÃO, DESTINO E DESAFIOS <i>Roberto Mattioli Silva e Marco Giuliatti</i>	125
CAPÍTULO 8	A INDÚSTRIA BRASILEIRA DE FERTILIZANTES (CADEIA NPK, ENXOFRE, ROCHA FOSFÁTICA E POTÁSSIO) - PROJEÇÕES DE 2010 A 2030 <i>Eduardo Soares Ogasawara, Yara Kulaif e Francisco Rego Chaves Fernandes</i>	145
CAPÍTULO 9	UM ESTUDO DAS PRINCIPAIS LAVOURAS PARA A PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS <i>Maria Helena M. Rocha Lima e Nilo da Silva Teixeira</i>	169
CAPÍTULO 10	O USO DA BIOMASSA COMO NOVA FONTE ENERGÉTICA MUNDIAL <i>Ângelo Bressan Filho</i>	189
CAPÍTULO 11	POLÍTICAS GOVERNAMENTAIS PARA OS BIOCOMBUSTÍVEIS <i>Ricardo Borges Gomide</i>	203

CAPÍTULO 12	INVENTÁRIO E CARTOGRAFIA DE RECURSOS AGROMINERAIS CONVENCIONAIS E ALTERNATIVOS DO TERRITÓRIO BRASILEIRO	
	<i>Gerson Manoel Muniz de Matos e Ivan Sérgio de Cavalcante Mello</i>	227
CAPÍTULO 13	ROCHAS E MINERAIS COMO FERTILIZANTES ALTERNATIVOS NA AGRICULTURA: UMA EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL	
	<i>Peter Van Straaten</i>	235
CAPÍTULO 14	BIOCOMBUSTÍVEIS NOS ESTADOS UNIDOS EM CONTEXTO DE MUDANÇA	
	<i>Joaquim Ramos Silva</i>	265
CAPÍTULO 15	A SITUAÇÃO ENERGÉTICA DA UNIÃO EUROPEIA E O CASO PARTICULAR DOS BIOCOMBUSTÍVEIS: DIAGNÓSTICO ACTUAL E PERSPECTIVAS	
	<i>Carla Guapo Costa</i>	277

# PREFÁCIO

Francisco Rego Chaves Fernandes  
Adão Benvindo da Luz  
Zuleica Carmen Castilhos

Este livro "Agrominerais para o Brasil" é um livro editado pelo Projeto Agrominerais coordenado pelo CETEM - Centro de Tecnologia Mineral do MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia, para atender a dois objetivos principais:

- abordar aprofundadamente o vasto conjunto de temas pertinentes aos Agrominerais com um enfoque centrado no Brasil;
- apresentar sugestões de linhas de ação, uma Agenda de Prioridades, para o desenvolvimento científico-tecnológico brasileiro sustentável.

Apresenta os principais resultados do Projeto "Estudo Prospectivo Relativo aos Agrominerais e Seus Usos na Produção de Biocombustíveis Líquidos com Visão de Longo Prazo (2035)", resultante de Oficinas temáticas que foram realizadas envolvendo algumas centenas de participantes. O projeto foi apoiado pelo CT-Mineral/Fundo Setorial Mineral e pela FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos, tem como coordenador o CETEM e como instituições co-executoras, a UFSCar/Rede Inter-universitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA), a Embrapa Cerrados/Rede de Pesquisa de Rochas Silicatadas de Fonte de Potássio, a CPRM-Serviço Geológico do Brasil (SGB) e o Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM/MME).

Agrominerais (tais como enxofre, minerais de potássio, rocha fosfática, calcário e turfa) é matéria-prima de origem mineral sendo insumo absolutamente indispensável para viabilizar a agricultura e a pecuária brasileiras, ou seja, é parte integrante da alimentação dos cidadãos brasileiros, da viabilização do agronegócio externo, e ainda, alavancando o nascente e pujante setor dos biocombustíveis.

O tema do livro foi desdobrado pelos editores, em quinze capítulos, cada um deles a cargo de um especialista de renomado conhecimento.

Inicia-se o livro "Agrominerais para o Brasil" com dois capítulos dedicados às Fontes Convencionais de Nutrientes (FCN). O primeiro, "*Panorama dos agrominerais no Brasil: atualidade e perspectivas*" traça um atualizado perfil dos fertilizantes convencionais (NPK): - uma complexa cadeia de múltiplos produtos e mercados; - uma caracterização geral desta indústria no Brasil e no mundo e um histórico deste setor industrial no Brasil, desde a sua fundação, destacando-se as consequências da sua privatização há dez anos. Finalmente, a atualidade, a qual apresenta grandes desafios, em que a oferta tem elevadíssima dependência das importações, atinge cerca de 80% do total dos nutrientes consumidos pelo Brasil e a especulação financeira se faz fortemente presente.

Logo em seguida: "*Agrominerais: recursos e reservas*" aprofunda o tema dos Agrominerais (minerais de potássio, fosfato, enxofre e calcário) no Brasil no segmento da pesquisa e lavra de recursos minerais, incluindo uma minuciosa apresentação da disponibilidade primária (ocorrências e jazidas minerais) em todo o território nacional. É também analisado para cada um dos recursos agrominerais, os aspectos de mercado e as relações de dependência e sustentabilidade entre o agronegócio e o mineralnegócio.

Um capítulo crítico: "*Rotas tecnológicas convencionais e alternativas para a obtenção de fertilizantes*", apresenta os diferentes produtos oferecidos no mercado brasileiro, tanto oriundos das Fontes Convencionais de Nutrientes (FCN) - os de alta solubilidade e concentração - como das Fontes Alternativas de Nutrientes (FAN) - rocha, termofosfatos e outros -, questionando-se aprofundadamente as vantagens e desvantagens de sua utilização no clima e solos tropicais brasileiros. Em conclusão, defende o autor, ser

altamente desejável o fortalecimento da pesquisa e desenvolvimento tecnológico das diferentes fontes alternativas de fertilizantes fosfatados, para atender às demandas crescentes, com o aproveitamento de quantidades enormes de minérios marginais inacessíveis pela tecnologia atual, mas que são: de interesse industrial, de conservação de recursos minerais e de minimização do impacto ambiental.

Dois capítulos são dedicados às Fontes Alternativas de Nutrientes (FAN). O primeiro "*Rochas, minerais e rotas tecnológicas para a produção de fertilizantes alternativos*" aprofunda a rochagem, ou seja, as técnicas de aplicação direta na agricultura de rochas moídas ou contendo finos naturais, como material fertilizante. Os autores realizaram uma detalhada busca, em todo o extenso território brasileiro, identificando e localizando as rochas e materiais fertilizantes alternativos, nos colocando ainda a par do estado da arte dos estudos tecnológicos visando o seu aproveitamento. No final sugerem uma agenda de prioridades para futuras pesquisas de desenvolvimento científico e tecnológico. Na continuação do tema, um novo capítulo, "*Materiais silicáticos como fontes regionais de nutrientes e condicionadores de solos*", destacando um novo paradigma, com a mudança de uso de matérias primas convencionais globalizadas para matérias primas alternativas regionais. Localiza também estes materiais (primários e secundários) abundantes no Brasil, justapõe as suas ocorrências com a localização das produções de cana-de-açúcar e soja, que são as duas principais fontes dos biocombustíveis, mostrando a ampla viabilidade do seu aproveitamento regional e finaliza elencando ainda um conjunto de vantagens decorrentes da sua utilização.

Dois capítulos são totalmente dedicados ao meio ambiente, que apresentam, no seu final, um elenco de sugestões, uma agenda de prioridades para implementação. O primeiro "*O meio ambiente na produção de fertilizantes fosfatados no Brasil*" dá-nos uma aprofundada e ilustrativa panorâmica dos diferentes e múltiplos impactos negativos no meio ambiente associados à cadeia produtiva dos fertilizantes fosfatados, que obrigatoriamente devem ser levados em consideração, no planejamento da ampliação da produção de agrominerais. A esperada ocorrência de tais impactos nos futuros empreendimentos torna necessário identificar as ações e medidas que, se implementadas, poderão atenuar este efeito, seja na lavra ou no beneficiamento dos minerais fosfáticos. Estes processos produtivos encontram-se todos no campo dos conflitos, seja pelo uso da terra ou da água e integrados no desenvolvimento sustentável no binômio: conservação e desenvolvimento econômico. Já na etapa de industrialização, o fosfogesso destaca-se como um importante problema, pois: "*constitui significativo passivo ambiental que, mantidas as atuais circunstâncias, deve continuar a crescer na razão direta da expansão da produção, em virtude da rota tecnológica adotada*". Os autores concluem que: "*o papel do desenvolvimento científico e tecnológico pode ser muito mais decisivo na solução dos problemas (...) deve ser tratado de modo amplo e transparente, envolvendo todos os atores interessados – empresas, instituições de ciência e tecnologia, organismos de governo, entidades não governamentais, sociedade civil – e incorporar como pressupostos os princípios de prevenção e precaução*".

O segundo capítulo: "*Fosfogesso: geração, destino, desafios*", centra e desenvolve o tema do rejeito complexo gerado na produção de ácido fosfórico, produto essencial na cadeia NPK dos fertilizantes, mas contendo, entre outros, metais pesados e minerais radiativos. A sua produção no Brasil iniciou-se em 1950 e para cada tonelada de ácido fosfórico geram-se seis toneladas de rejeito, o fosfogesso, gerando atualmente uma produção anual de 5 milhões de toneladas a sua produção anual. Os autores mostram que já atinge 50% a parcela do fosfogesso gerado no Brasil que é descartada no ambiente empurrado pelas empresas produtoras de ácido fosfórico, utilizado principalmente com finalidade agrícola. Neste particular, sem que haja uma avaliação do potencial impacto radiológico na população consumidora dos produtos agrícolas e sem provas da sua eficácia como fertilizante. Mostram ainda que existem pressões dobradas para a ampliação do seu descarte, como material de construção (por exemplo, para a população de baixa renda, ao abrigo do PAC do governo federal), sem que se aplique, nem o princípio da precaução, com seu consequente banimento, nem a proposição, pelos órgãos brasileiros competentes, de padrões e limites quantitativos das mensurações de risco principalmente quanto às emissões radiativas. Em contraste, no resto do mundo desenvolvido, nos Estados Unidos, União Europeia e Japão, os autores referem-se à rejeição deste material, para estradas junto de centros urbanos e habitados devido ao teor de radionuclídeos. Destaca-se nos EUA o banimento do uso do fosfogesso, feito pela *United States Environmental Protection*



Agency (USEPA) em 1992 citando a demolição de conjuntos habitacionais na Flórida, construídos nos anos 60.

Em "A indústria brasileira de fertilizantes (cadeia NPK, enxofre, rocha fosfática e potássio) - projeções de 2010 a 2030" é feito um exercício econométrico - rigoroso, através de sofisticada e adequada metodologia - onde são apresentados resultados de um exercício de projeção de longo prazo, das principais variáveis do mercado de fertilizantes minerais NPK do Brasil. Mostra a necessidade até 2030 de ampla ampliação da capacidade produtiva nacional da indústria do NPK, em todos os seus segmentos produtivos, para atender a um forte crescimento esperado do PIB brasileiro. Há uma expectativa de crescimento pujante do *agrobusiness*, o que significa a necessidade de novos empreendimentos agrominerais em grandes proporções, significando também vultosos investimentos, que até ao presente momento, a iniciativa privada ou estatal está longe de viabilizar. Comparados estes resultados com os obtidos num estudo da ANDA realizado em 2009, verifica-se que são muito semelhantes, apontando as necessidades adicionais em mais 50% da capacidade produtiva atual brasileira.

O tema de agrocombustíveis vem logo em seguida, desenvolvido em três capítulos concatenados: o primeiro trata da agricultura brasileira no que se refere às duas maiores produções direcionadas para biocombustíveis, a cana-de-açúcar e a soja; o segundo, sobre as políticas governamentais brasileiras para os biocombustíveis e, finalmente, o terceiro versa sobre o uso da biomassa como nova fonte energética mundial.

O capítulo "*Um estudo das principais lavouras para a produção de biocombustíveis*", é um texto positivo e afirmativo:

- o Brasil poderá expandir suas plantações tanto para a indústria de alimentos quanto de biocombustíveis (...) confirmando em 2030 um futuro promissor para os agentes envolvidos tanto com a cadeia produtiva do etanol
- o atual sucesso do carro *flex* é fruto dessa experiência adquirida desde a década de 70, com o lançamento do PROÁLCOOL, que incentivou o uso do álcool anidro misturado à gasolina até surgimento dos veículos *flex* em 2003.
- o grande desafio do Brasil é consolidar a liderança na utilização da bioenergia como combustível automotivo.

No decorrer deste capítulo é-nos dado conhecer, tanto para a cana-de-açúcar como para a soja, estatísticas atualizadas e detalhadas sobre a área plantada - nacional e regional - , a estrutura industrial, as esperadas expansões da produção projetadas principalmente para os biocombustíveis, com a incorporação de novas áreas e ainda, os mercados para estes produtos.

O conhecimento referente às "*Políticas governamentais para biocombustíveis*" é de grande interesse e, neste capítulo, nos é dado conhecer as medidas governamentais, baseadas na plena convicção que existem externalidades positivas dos biocombustíveis em relação aos outros combustíveis fósseis, para consolidar a sua produção e uso no Brasil, baseada em suporte à agricultura e à instalação de unidades industriais de produção, à estruturação da cadeia logística e de abastecimento, à definição de normas e padrões de comercialização, ao consumo e à fabricação de veículos. Os diferentes instrumentos de política são também explanados, tal como a definição de mandatos para uso compulsório, políticas fiscais, creditícias e tributárias. Em seguida, listam-se as principais instituições do governo federal relativas aos biocombustíveis. Finalmente, em sua conclusão, o autor afirma que: "*É nítida a relevância da cana-de-açúcar como bem energético e estratégico para o país. Essa posição, conquistada ao longo de anos, serve como modelo para a consolidação do biodiesel no mercado brasileiro, assim como para o desenvolvimento de futuros biocombustíveis, a exemplo do bioquerosene e do biogás, ou mesmos de novas gerações tecnológicas*".

"O uso da biomassa como nova fonte energética mundial" trata intensivamente do uso de biomassa, dissecando o etanol como um novo produto para o mundo, a natureza do funcionamento da cadeia de produção sucroalcooleira no Brasil e a competição entre a produção de matérias-primas agrícolas e energéticas. Em relação a este último item, observa o autor que a utilização de matérias-primas agrícolas,

convencionais ou não, para a produção de combustível em grandes volumes traz, para os países que iniciam este tipo de programa, algumas consequências que não podem ser ignoradas. Observa ainda que: o atendimento deste novo tipo de demanda tende a provocar fortes desequilíbrios, que podem ser globais ou domésticos, nas relações econômicas, ambientais e sociais, que não podem ser desconsideradas pelas autoridades responsáveis pela gestão do novo programa. O autor apresenta uma visão otimista mas contendo algumas advertências em sua análise como mostra o subtítulo final do capítulo: O uso da biomassa como fonte energética é um movimento irreversível e de consequências imprevisíveis!

Um capítulo inteiro fecha o conjunto de capítulos que trata especificamente do Brasil e é dedicado ao "Inventário e cartografia de recursos agrominerais convencionais e alternativos do território brasileiro", com a produção de dois mapas do Brasil que podem ser consultados na internet e/ou em encarte de folha dupla no próprio livro. Os mapas versam sobre: - *Ambientes geológicos favoráveis para agrominerais fontes de P, K, Ca e Mg, direcionado à cartografia das fontes minerais convencionais para produção destes macronutrientes e - Insumos alternativos para a agricultura: rochas, minerais e turfa voltado para a cartografia de fontes alternativas, tais como rochas, minerais e substância húmica (turfa), para aplicação direta na agricultura, com destaque para os insumos utilizados na rochagem.*

Finalmente, três capítulos são inteiramente dedicados a estudos internacionais e foram diretamente encomendados a especialistas estrangeiros O primeiro sobre "*Rochas e minerais como fertilizantes alternativos na agricultura: uma experiência internacional*", onde o autor disserta sobre três fatores básicos que pesam no desempenho dos cultivos, além das características físico-químicas, (o fator rocha), existem as propriedades químicas e físicas dos solos (o fator solo) e finalmente as exigências e necessidades de nutrientes dos plantios (o fator plantio). Atualiza o conhecimento sobre as rochas e os minerais alternativos fertilizantes e relata as aplicações alternativas em um conjunto grande de países do mundo. Os outros dois capítulos são dedicados às questões que se prendem mais com a matriz energética e a produção de biocombustíveis na União Europeia e nos Estados Unidos. No capítulo dedicado à UE: "*A situação energética da União Europeia e o caso particular dos biocombustíveis: diagnóstico actual e perspectivas*", destaca-se que a par das controvérsias quanto à produção de biocombustíveis, no que se refere à segurança alimentar e à questão ambiental, existe uma grande dependência da UE em relação às principais importações das principais fontes de energias não-renováveis e perspectiva do seu agravamento no futuro, o que obrigou a um grande programa de reversão da matriz energética, através do incentivo às energias renováveis, com ênfase nos biocombustíveis, acompanhada de grande esforço de pesquisa e desenvolvimento, existindo aprofundada apresentação de sua meta e resultados parciais. Com "*Biocombustíveis nos Estados Unidos em contexto de mudança*", mostra-se a insustentabilidade do modelo energético dominante desde 1970, apoiado em fontes não-renováveis, como os combustíveis fósseis e o atual dilema dos EUA, o principal produtor e consumidor mundial. Para a transição para um novo modelo, que está em marcha desde o final da primeira década do século XXI, a transição para o uso maior de fontes renováveis como os biocombustíveis, exige-se pesados desafios de natureza tecnológica e de uma contribuição ativa para o combate ao aquecimento global ou a sua atenuação, diminuindo a emissão de gases do efeito estufa. O autor aponta que, no estágio atual da pesquisa tecnológica, a nascente indústria norte-americana de biocombustíveis baseado no milho não é competitiva, só sobrevive por barreiras à concorrência externa e subsídios aos seus produtores. Os biocombustíveis competitivos existem apenas em outros países que não os EUA (predominantemente no Brasil), mas a quebra das barreiras internas e as importações acabariam com o principal pilar da política energética deste país que é a independência energética.

O Brasil requer urgentes e vultosos investimentos industriais em todos os setores da cadeia produtiva dos Agrominerais, de forma que a demanda, incluindo a segurança alimentar brasileira, o programa de exportações do agronegócio e o acelerado desenvolvimento dos biocombustíveis não sejam inviabilizados. Hoje em dia, as decisões empresariais estão nas mãos da Vale e da Petrobrás, que detêm uma participação majoritária na cadeia convencional de NPK, após recentes aquisições das participações dos grupos multinacionais que dominaram a indústria brasileira no último decênio.

Acreditamos que terão uma excelente leitura todos aqueles que tenham acesso a este livro, especialistas do tema, alunos e professores, profissionais e leitores em geral, interessados em aprender ou aprofundar seus conhecimentos sobre os Agrominerais.

## ROCHAS, MINERAIS E ROTAS TECNOLÓGICAS PARA A PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES ALTERNATIVOS

ADÃO BENVINDO DA LUZ<sup>1</sup>; FRANCISCO E. LAPIDO-LOUREIRO<sup>2</sup>; JOÃO ALVES SAMPAIO<sup>3</sup>; ZULEICA CARMEN CASTILHOS<sup>4</sup> E MARCELO SOARES BEZERRA<sup>5</sup>

### Introdução

Recorrer à biomassa, em grande escala, como fonte de energia, é um caminho irreversível, com grandes vantagens ambientais e sócio-econômicas. Por outro lado, pode trazer problemas tais como o uso inadequado do solo com cultivos de baixo rendimento energético e a ocupação de espaços agrícolas, em detrimento da produção de alimentos.

Os biocombustíveis poderão transformar-se numa fonte moderna de energia, se for produzida com base em cultivos que ofereçam rendimento energético satisfatório, como é o caso da cana-de-açúcar, e melhorados/otimizados os processos de conversão. Refira-se que, nesse sentido, a FAO organizou uma *Plataforma Internacional de Bioenergia - IBEP*, com a finalidade de oferecer um instrumento que facilite a transição para um futuro de energia sustentável (FAO, 2007).

Atualmente, a energia proveniente da biomassa contribui com cerca de 10%, no fornecimento total da energia primária em todo o mundo, todavia, nos países em desenvolvimento é da ordem de 22%. Na Índia, esse índice é 37% e na África 49% (UN- Energy).

No Brasil, metade das propriedades agrícolas tem menos de 10 ha, 90% menos de 100 ha e mais de 60% das organizações agropecuárias não empregam qualquer tipo de fertilizante. Por outro lado, mais de 50% dos fertilizantes consumidos no País são importados, ressaltando-se que a importação de potássio atinge cerca de 90%. Por último, porém não menos importante, é preciso considerar que a agroindústria, nos moldes atuais, é responsável por cerca de 30% das emissões de gases de efeito estufa.

No caso das duas principais fontes de biomassa, cana-de-açúcar e oleaginosas, a produtividade e o rendimento dependem, entre outros fatores, dos fertilizantes e do adequado balanceamento dos nutrientes necessários ao bom desenvolvimento dos cultivos.

A FAO e o IFA (2002) indicam, para a cana-de-açúcar, os valores de extração dos macronutrientes principais, em função do rendimento (kg/ha), reproduzidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Consumo (kg/ha) de nutrientes no cultivo da cana-de-açúcar em função da produtividade (t/ha).

Produtividade (t/ha)	Nutrientes (kg/ha)		
	Nitrogênio	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Cana-de-açúcar			
50	60	50	22
100	110	90	39
(N.A) <sup>(a)</sup>	143	43	209
Alta Colheita <sup>(b)</sup>	130	90	340

Notas: (a) VITTI, 2006; (b) IPI, 1994

<sup>1</sup> Engenheiro de Minas D.Sc. (USP). Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT). E-mail: adaobluz@cetem.gov.br

<sup>2</sup> Geólogo D.Sc. Universidade de Lisboa (UL). Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT) E-mail: flapido@cetem.gov.br

<sup>3</sup> Engenheiro de Minas D.Sc. (UFRJ). Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT). E-mail: jsampaio@cetem.gov.br

<sup>4</sup> Geoquímica Ambiental D.Sc. (UFF). Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT). E-mail: zcastilhos@cetem.gov.br

<sup>5</sup> Engenheiro de Minas (UFPE). Consultor. E-mail: marcelosbezerra@yahoo.com.br

Para evitar o empobrecimento do solo agrícola, haverá necessidade de repô-los. Cabe lembrar que, o aumento da fertilidade do solo não consiste apenas na simples aplicação de fertilizante. É necessário corrigir a sua acidez que, se excessiva, restringe a absorção dos nutrientes pelas plantas. Para este problema, a melhor solução é a calagem do solo.

Rochagem (*rock for crops*) é um termo que deriva de rocha e significa a aplicação direta, na agricultura, de rochas moídas ou contendo finos naturais, como material fertilizante de aplicação direta. É um processo de fertilização do solo, também designado por petrofertilização.

A prática da rochagem inspirou-se na técnica de calagem de solos – aplicação direta de calcário para redução da acidez dos solos - ou na técnica de gessagem, aplicação de gesso no solo, cada vez mais usado na agricultura, como fonte de S e Ca.

Misturas de adubos de origem animal com rocha moída foram os primeiros fertilizantes usados na agricultura. Esses materiais contêm elementos essenciais para o equilíbrio nutricional das plantas. O plantio direto e a rochagem, como fonte de macro e micronutrientes, inclusive a agricultura orgânica, como fonte de nitrogênio e de outros nutrientes, possuem importância socioeconômica na produção sustentável de alimentos, principalmente na agricultura familiar e/ou de pequenas propriedades e na agricultura de qualidade.

Ainda, a globalização da economia, associada ao agronegócio, leva a uma obsessiva política de aumento constante da produtividade na agricultura, apoiada nos fertilizantes, defensivos agrícolas e nos organismos geneticamente modificados (OGMs), com a consequente diminuição do conteúdo de matéria orgânica nos solos. Assim, os avanços tecnológicos impulsionaram o emprego da rochagem como fonte de nutrientes alternativos (Lapido e Nascimento, 2009a).

A composição química e mineralógica é fator determinante para seleção do material mais adequado à rochagem. As rochas ígneas, por exemplo, apresentam diferenças sensíveis, como pode observar-se na Figura 1 e Tabela 2.

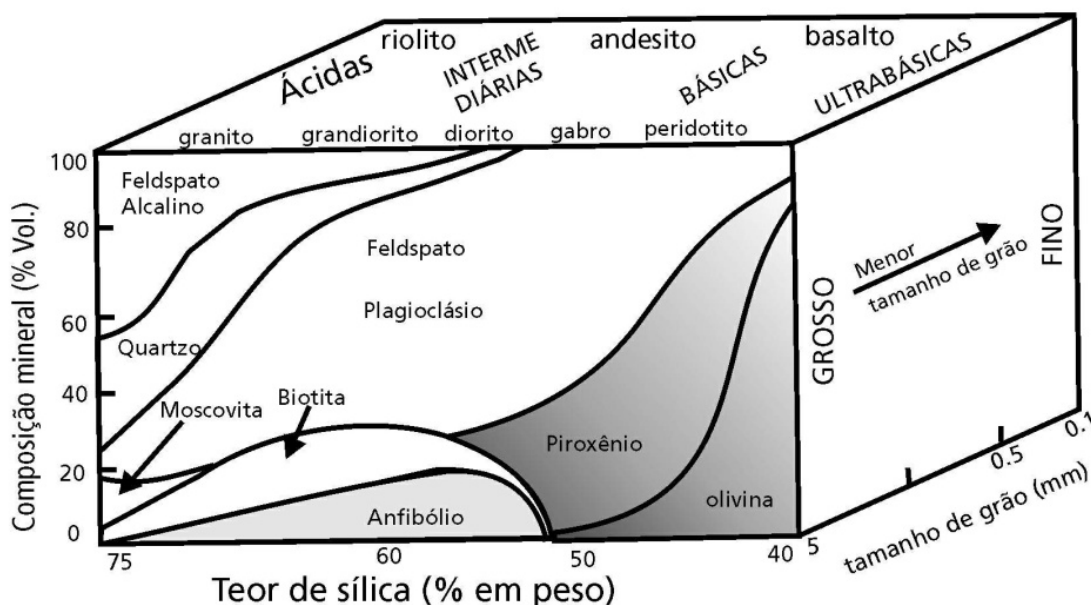


Figura 1 - Classificação de rochas com ênfase no índice de cor, composição mineralógica e granulometria (Adaptado de Thorp & Brown, 1982).

Tabela 2 – Exemplos de composições médias de rochas ígneas.

Óxido	Granito	Andesito <sup>(a)</sup>	Basalto	Fonolito <sup>(a)</sup>	Saprolito <sup>(b)</sup>
SiO <sub>2</sub>	72,08	54,20	50,83	56,08	51,85
TiO <sub>2</sub>	0,37	1,31	2,03	0,47	0,56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,86	17,17	14,07	22,71	27,72
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,86	3,48	2,88	2,73 <sup>(c)</sup>	2,21 <sup>(c)</sup>
FeO	1,67	5,49	9,05	-	-
MnO	0,06	0,15	0,18	0,01	0,03
MgO	0,52	4,36	6,34	0,04	0,08
CaO	1,33	7,92	10,42	0,05	0,01
Na <sub>2</sub> O	3,08	3,67	2,23	0,60	0,23
K <sub>2</sub> O	5,46	1,11	0,82	13,27	9,35
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,18	0,28	0,23	0,19	6,28
H <sub>2</sub> O	0,53	0,86	0,91	-	-

Notas <sup>(a)</sup> Poços de Caldas – médias de 53 análises; <sup>(b)</sup> Idem – 3 análises; <sup>(c)</sup> Fe total.

Fonte: Projeto Internacional: Brasil, Suécia, Suíça, Inglaterra.

A rochagem pode contribuir para a redução no consumo de fertilizantes industriais, que requerem quantidade elevada de energia para sua fabricação e, simultaneamente, ser um agente propulsor de produtividade e qualidade de muitos cultivares, incluindo os de cana-de-açúcar e oleaginosas, principalmente no âmbito do pequeno e médio agricultor.

## Objetivo

Identificar e localizar geograficamente, no Brasil, rochas e minerais alternativos como fontes de macronutrientes (K, P, Ca, Mg, S) e, eventualmente, de outros elementos (micronutrientes), para uso na produção agrícola de cana-de-açúcar e oleaginosa, com vistas à produção nacional de biocombustíveis líquidos.

Serão discutidas também sugestões para rotas tecnológicas alternativas com foco no seu aproveitamento.

Os efeitos das discussões e resultados validados neste trabalho serão úteis em um sistema de informação, elaborado pela CPRM, capaz de gerar ações temáticas sobre minerais, rochas, rejeitos, dentre outros, como fontes de fertilizantes alternativos no Brasil.

## Fontes de fertilizantes alternativos

À exceção do nitrogênio, todos os nutrientes necessários ao bom desenvolvimento das plantas são de origem mineral. Mesmo a agricultura orgânica ou biológica necessita de aditivos minerais, principalmente P e K. Entretanto, nas condições normais de clima, a desagregação natural e a alteração química não são capazes de disponibilizar os nutrientes das rochas ou minerais, para o crescimento das plantas, em compasso com os índices de produtividade exigidos pelo agronegócio. Assim, continua em ação o desenvolvimento de diversos estudos, com o propósito de modificar os minerais e rochas, tornando-os aproveitáveis como fertilizantes alternativos.

Há uma grande variedade de rochas susceptíveis de aplicação na remineralização de solos. Straaten (2007), citando Levinson (1974), apresenta os grupos de rochas com potencial elevado de concentração, não só de micronutrientes benéficos, mas também prejudiciais aos cultivares (Quadro 1).

No Quadro 2 estão relacionados alguns tipos de rochas e minerais como fontes de macronutrientes principais e secundários associados às suas respectivas fontes.

Quadro 1 – Exemplos de micronutrientes e contaminantes em alguns tipos de rocha.

Tipo de Rocha	Micronutrientes
Rochas ígneas ultramáficas	Cr, Co, Ni, Fe, Mn
Basaltos (rocha máfica)	Cu, Zn, Mn, Fe, Co, Ni, V
Granitos (rocha félsica)	Ba, Li, W, Rb, Mo, Cu, Zn, Cl, Si
Carbonatitos (*)	ETR, F, Nb
Xisto vermelho / arenito	U, V, Se, As, Mo, Pb, Cu
Xisto negro	Cu, Pb, Zn, Cd, U, Au, Se, Ni, Mo, V, Fe, B, etc

Notas: (\*) >50% de carbonatos; ETR-elementos de terras raras.

Fonte - Levinson, 1974.

Quadro 2 – Alguns tipos de rochas e minerais como fonte de macronutrientes principais e secundários.

Rochas e minerais	Macronutrientes
Rochas ultrabásicas alcalinas leucíticas	K, Mg, Ca, etc
Basalto/Gabro	Mg, Ca, etc
Carbonatito	Ca, Mg, P, K <sup>(a)</sup>
Kimberlito	K, Mg, etc.
Rochas silicáticas alcalinas (sienitos e nefelina sienitos <sup>(b)</sup> )	K e outros
Rochas ácidas (granitos e gnaisses)	K e outros
Gipsita e rejeitos industriais (principalmente fosfogesso)	S, Ca
Calcários (calcíticos e dolomíticos)	Ca, Mg

A rochagem, no sentido amplo do termo, pode traduzir as seguintes funções (Quadro 3):

- I. calagem,
- II. calagem associada à fertilização,
- III. fertilização (remineralização) em conjunção ou não, com produtos orgânicos naturais e
- IV. condicionamento de solos, que tem por função promover a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo).

Quadro 3 – Rochas, minerais e materiais diversos para rochagem.

Função	Tipo de Material	Nutrientes
Remineralização (Calagem e Nutrição)	Calcários calcíticos	Ca
	Calcários dolomíticos	Ca–Mg
	Carbonatitos (geoquímica e mineralogia muito variáveis)	Ca, Mg, K etc
	Gesso (CaSO <sub>4</sub> ) natural e industrial	Ca, S
Remineralização e condiciona- mento do solo	Gessos natural e industrial	S, Ca
	Rochas fosfáticas	P, Ca
	Carbonatitos	Ca, Mg, K etc.
	Rochas silicáticas vulcânicas: basalto, ugandito, fonolitos, traquitos etc	Mg, Ca, Si, Fe etc
	Rochas silicáticas granulares: granitos, sienitos, nefelina sienitos, arenitos etc	K e outros
	Minerais: feldspatos, argilominerais, piroxênios, anfibólios, vermiculita, biotita, zeólitas e outros	K e outros
	Rejeitos e resíduos de minas, de minerais não metálicos e de pedreiras	Variados

Um dos caminhos que poderia solucionar a carência de potássio fertilizante, no Brasil, seria produzi-lo à base de rochas ricas de feldspatos, o mineral mais abundante na natureza (o ortoclásio contém até 17% de  $K_2O$ ), ou de feldspatóides (leucita: 22% de  $K_2O$ ), por processos térmicos ou sob a forma de aplicação direta associada ou não à biolixiviação.

Os estados de Minas Gerais e Goiás são regiões com grande potencial para materiais fertilizantes alternativos como, por exemplo:

- as numerosas ocorrências de formações glauconíticas, dentre as quais se destaca o glauconito ("verdete") da Serra da Saudade (MG).
- as rochas ultrabásicas clásticas leucíticas (uganditos).
- os minérios pobres e outros materiais rejeitados das minas de fosfatos.
- os tufos e rochas vulcanoclásticas da formação Mata da Corda.
- os fonolitos e a "rocha feldspática" do complexo alcalino de Poços de Caldas.
- os kimberlitos.
- os arcósios (arenitos feldspáticos) da formação Três Marias do Grupo Bambuí, e muito provavelmente outros.

#### ROCHAS E MINERAIS ALTERNATIVOS PARA AGRICULTURA DE BIOCOMBUSTÍVEIS

Apesar de ser uma prática bastante antiga no Japão e Europa, só recentemente no Brasil intensificou-se o uso de rocha moída para a remineralização e manutenção da fertilidade do solo.

A Embrapa Cerrados e a Universidade de Brasília-UnB desenvolveram estudos de caracterização tecnológica de algumas rochas, objetivando a aplicação da rocha moída, como fonte de K para fins agrícolas. Foram estudados alguns tipos de rochas:

- biotita xisto e flogopitito, rejeitos de mineração de esmeralda de Nova Era e Itabira-MG e Campo Formoso, BA, respectivamente.
- brecha vulcânica alcalina (feldspatóide, zeólitas e vidro vulcânico), de Rio Verde, GO.
- carbonatito (flogopita e minerais ferro-magnesianos), da região de Catalão, GO; e ultramáficas alcalinas, rocha constituída de minerais ferromagnesianos (olivina, proxênio, plagioclásios e flogopita), de Lages-SC. (Martins *et al.*, 2008).

Segundo estes autores, estudos em casa de vegetação usando as rochas apenas moídas - brecha vulcânica alcalina, biotita-flogopita xisto e ultramáfica alcalina, como fontes de K para soja e milho, mostraram resultados promissores.

Xisto betuminoso explotado pela Petrobrás para extração de petróleo, na Formação Irati, que se prolonga desde Santa Catarina até o sul de Goiás, tem como subproduto um resíduo de excelente qualidade para ser usado como fertilizante (CANAL – Jornal de Bioenergia).

Há tempo, estudam-se estas rochas para usá-las como fertilizantes alternativos de baixo custo, com a vantagem de serem portadoras de diversos macro e micro nutrientes. Sua desvantagem é a lenta liberação dos nutrientes. As pesquisas procuram entender e desenvolver os processos químicos e biológicos que se processam no ciclo dos nutrientes, até as raízes das plantas.

Há diversas experiências bem sucedidas de aplicação de minerais alternativos na agricultura, em diversas partes do mundo. A rochagem destaca-se como a técnica mais promissora no uso desses minerais e rochas como fonte de nutrientes.

As pesquisas constataram que esta aplicação, em climas tropicais, atinge taxas elevadas de dissolução e melhor desempenho, em decorrência das altas temperaturas e umidade no solo, que favorecem os mecanismos de reação entre os minerais e a solução do solo. Indicam, ainda, que as rochas vulcânicas fonolíticas e os basaltos possuem as taxas de liberação mais elevadas, ao contrário dos granitos e que foram obtidos resultados positivos na liberação de nutrientes contidos em rochas silicatadas ferro magnesianas e em lavas e tufos potássicos (Aparecida da Silva *et al.*, 2008).

No Brasil são relatados os experimentos no uso de rochas naturais para o sustento da agricultura familiar em Minas Gerais, além de pesquisas da EMBRAPA, Universidade de Brasília e de outras instituições (Theodoro *et al.*, 2006; Fyfe *et al.*, 2006).

As rotas tecnológicas sugeridas para enfrentar o desafio destes fertilizantes são:

- moagem fina e acidulação, a exemplo dos experimentos com a rocha fosfática.
- biossolubilização – compostagem, mistura com enxofre ou gipsita, acidulação parcial.
- combinação de multinutrientes com resíduos orgânicos para obter um composto orgânico.
- estudos de laboratório em casa de vegetação, para testar rochas de alta capacidade de troca iônica e alto potencial de intemperização (feldspatóide, rocha máfica ultra potássica, rocha vulcânica rica em olivina).
- pesquisa na liberação de nutrientes induzida por ação microbiana para produzir fertilizante biologicamente melhorado.
- obtenção de produtos de K e P via processos térmicos.
- obtenção de produtos de K e P via acidulação.

Estudos realizados por Marcelo Bezerra (2009) apresentam 69 áreas com minerais e rochas potenciais na região nordestina, cobrindo os 9 (nove) estados, para testes como fertilizantes silicatados multinutrientes (Ver Anexo).

A seguir serão apresentados diversos exemplos de estudos da aplicação de rochas alternativas como fertilizantes e remineralizantes, no Brasil.

### **Aluminofosfato**

Nos municípios de Aurizona e São José, MA, há indícios da existência de depósito de fosfato, da ordem de 10 milhões de toneladas de rocha fosfática, com teor médio de 11,8 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Entretanto, os estudos tecnológicos, até então realizados para viabilizar o seu aproveitamento, tiveram apenas caráter preliminar. Os minérios desses dois depósitos são constituídos, essencialmente, de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, com 15% de perda ao fogo e baixa solubilidade cítrica. Por outro lado, a constituição mineralógica desses depósitos ainda é pouco conhecida.

Nos estudos tecnológicos desses dois depósitos de Trauíra e Pirocaua, constatou-se a baixa solubilidade dos fosfatos e um alto teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Foram estudadas, em caráter preliminar, calcinação oxidante e redutora, separação magnética e lixiviação com soda cáustica. Desses estudos tecnológicos realizados, a calcinação redutora pode ser utilizada como rota de processo, todavia, há necessidade de uma avaliação técnica e econômico (Silva, Pinheiro e Luz, 1976).

### **Amazonito**

Esta rocha ocorre em Potiraguá, BA, coordenadas UTM: 422 395 E e 8256 856 N e é constituída, essencialmente, por uma variedade verde de microclínio K(AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>). A rocha amazonítica é constituída por microclínio, plagioclásio, quartzo, biotita e turmalina. Pesquisadores do CETEM (Adão B. Luz, Luiz Carlos Bertoli-



no e Silvia Cristina) estudaram a sua caracterização tecnológica com o propósito de utilizá-la como fertilizante de liberação lenta de K. Com amostras desta rocha, teor médio de 5,8% K<sub>2</sub>O, foram realizados ensaios de extração de K. Para tanto, utilizaram-se soluções extratoras de água destilada e HNO<sub>3</sub> 0,01 mol/L. Os estudos prosseguem e deverão ser comparados com produtos obtidos por calcinação da amazonita, seguida de *quenching* e ensaios de extração de potássio nos produtos obtidos.

### **Ardósia**

Em Ituporanga, SC, no Vale do Itajaí, utilizou-se a ardósia moída associada à adubação verde. Constatou-se um aumento na produção de cebola e uma redução na acidez do solo, supostamente, em decorrência do uso da ardósia moída como fertilizante alternativo.

### **Basaltos**

O basalto, pela sua composição química e abundância, é uma das rochas mais utilizadas em rochagem. As ocorrências de basalto, no Brasil, são numerosas, como no caso da Formação Serra Geral que vai do Sul até o centro leste do Brasil.

A Formação Serra Geral é constituída por um espesso pacote de rochas ígneas que cobre mais de 1,2 milhão de km<sup>2</sup>, correspondente a 75% da extensão da Bacia do Paraná, com espessura de 350 m nas bordas e mais de 1.000 m no centro da bacia.

Os resultados da análise química do basalto de Santa Catarina (amostra da Pedreira Ivo Kerber, Porto União, SC) revelaram a seguinte composição química: SiO<sub>2</sub> 53,62%; AlO<sub>3</sub> 13,47%; K<sub>2</sub>O 1,17%; MgO 4,83%; CaO 9,00%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,20%; S 139 mg/L; TiO<sub>2</sub> 1,19%; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 11,20%; Cu 71 mg/L; Zn 93 mg/L. Este tipo de material é usado na forma de rocha moída blendada com esterco de equinos, na adubação de mudas em viveiros, os quais implicam na necessidade de adubações frequentes, em razão da menor quantidade de substrato utilizado. Constatou-se, por meio da análise dos resultados, que mudas produzidas no substrato com basalto moído acumularam mais Ca, Mg, B, Cu e Fe nas folhas (Knapik, 2005).

Trabalhos, de longo prazo, com o cultivo da cana-de-açúcar no campo, citados por Leonardos et al. (1976), também obtiveram resultados positivos, com o custo de aplicação de 71 t/ha, pago, com o aumento da produção em quatro cortes, tornando o seu uso compensador, na época.

### **Brechas alcalinas e milonitos**

Os milonitos de Ipirá - situam-se no complexo de Ipirá, no estado da Bahia, distrito de Bonfim de Ipirá, a 200 km de Salvador (Sá, 2006). O complexo é formado por um grupamento de gnaisses aluminosos, rochas calcossilicáticas, metacarbonatos, quartzitos, gnaisses bandados, formações ferríferas e xistos grafitosos com metabasitos e metaultrabasitos associados, localmente.

A faixa mineralizada está intimamente associada aos corpos (veios) de rochas calcossilicatadas com apatita e possui uma largura da ordem de 35 m. As reservas medidas nas áreas pesquisadas e com relatório de pesquisa aprovado pelo DNPM ultrapassam a faixa de 25 milhões de toneladas.

O material, apatita piroxenito milonito, é friável e constituído por grãos de apatita, feldspatos, quartzo, vermiculita e outros minerais com teores anômalos de fósforo, magnésio, potássio, ferro e outros elementos.

### **Carbonatitos**

Os carbonatitos, pela sua composição química e mineralógica, podem ser utilizados como fertilizantes alternativos e calagem. Os grupos de carbonatitos descritos, a seguir, foram selecionados segundo critérios geológicos, geocronológicos e geográficos. São conhecidos 22 complexos carbonatíticos no Brasil que podem ser grupados em 6 conjuntos (Lapido-Loureiro, 1995):

- Amazônia (3) – Seis Lagos, Mutum e Maicuru (AM, PA).
- Nordeste (1) – Angico dos Dias (BA).
- Alto-Araguaia (3) – Morro do Engenho, Caiapó e Santo Antônio da Barra (Rio Verde-GO).
- Alto Paranaíba (6) – Catalão I e II, Serra Negra, Salitre I e II, Araxá e Tapira (GO, MG).
- Sudeste (7) – Ipanema, Itanhaém, Juquiá, Jacupiranga, Itapirapuã e Mato Preto (SP, PR).
- Sul (2) – Lages e Anitápolis (SC).

A mineralogia destes carbonatitos é bastante variável, estando presente com frequência, além da apatita, a flogopita, silicato de K e Mg, sendo K o nutriente estratégico no contexto deste estudo prospectivo.

Merecem destaque os trabalhos pioneiros da empresa MIBASA- Mineração Barreto S.A. (Arapiraca, AL), na produção e comercialização do MB-4. Trata-se de uma mistura de serpentinito e biotita xisto, que além de corrigir a acidez do solo, promove a liberação lenta de silicatos e micronutrientes, sempre recomendando a adição de matéria orgânica na sua aplicação. Segundo informações da empresa, este produto tem sido aplicado nas mais diversas culturas: algodão, fumo, cana-de-açúcar, soja, feijão, milho, sorgo, fruticultura e hortaliça.

### **Flogopitito**

É uma rocha constituída, essencialmente, de flogopita (mineral do grupo das micas), com cerca 8% de  $K_2O$ . Esta contém íons potássio nas posições interlamelares. Foram realizados, pelo CETEM/IQ-UFRJ (Soueiro da Silva, 2009), estudos de caracterização dessa rocha, proveniente de Carnaíba, BA, com o fim de utilizá-la como fertilizante de liberação lenta.

Foi estudada a cinética de liberação do potássio utilizando soluções ácidas (ácido nítrico, cítrico, oxálico, sulfúrico e solução Mehlich-1) e salinas (cloreto de sódio, cloreto de amônia, cloreto de cálcio, cloreto de ferro, sulfato de magnésio e tetrafenilborato). Os resultados indicam uma extração de potássio com um teor máximo de 1,8%, quando foi usada uma solução de  $H_2SO_4$  9,0 mol/L. Foram também realizados ensaios de alteração estrutural por meio de *quenching*, objetivando o aumento da taxa de extração do potássio. Assim, obteve-se uma extração de 5% dos íons  $K^+$  quando utilizada uma solução de  $H_2SO_4$  3,5 mol/L. O melhor desempenho para a extração de  $K^+$  foi obtido por meio do uso de solução de tetrafenilborato de sódio.

Não foram realizados ensaios de eficiência agrônômica, entretanto, constatou-se que o flogopitito pode ser aplicado como fertilizante alternativo em culturas que demandam o potássio (Soeiro da Silva, 2009).

### **Fonolitos**

São numerosas as ocorrências de fonolitos no País, associadas a complexos alcalinos. Entre as mais conhecidas e melhor estudadas figura a de Poços de Caldas –MG.

No município de Caldas-MG, a Mineração Curimbaba produz, a partir do fonolito, um pó-de-rocha com teor de 8,0 % de  $K_2O$ . Na Pedreira denominada Cabeça de Boi, na qual se produz brita para a construção civil, os finos gerados, abaixo de 4 mm, são processados num britador tipo Barmak, obtendo-se um produto comercializado para indústria cerâmica de revestimento. Os finos do peneiramento (80% < 400 malhas) a seco são coletados em filtros de manga e destinados a ensaios de eficiência agrônômica (UNESP de Botucatu) para o cultivo de café, milho e soja, com resultados promissores (Curimbaba, 2009).

### **Kimberlitos**

Os kimberlitos, rocha-mãe dos diamantes, pela sua mineralogia e composição química, são considerados rochas ultrapotássicas. Assim, estas são consideradas como fontes de fertilizantes alternativos.

Dividem-se em Grupo I (basáltico) e Grupo II (micáceo). Nos kimberlitos do Grupo I, ricos em  $\text{CO}_2$ , predominam olivina forsterítica, ilmenita magnésiana, piropo e flogopita. Os do grupo II são ricos em  $\text{H}_2\text{O}$ , com macro e mega cristalizações de flogopita, com a existência de micas e a olivina não é constituinte essencial (Barbosa, 2006).

Em termos de ocorrências diamantíferas, há 15 áreas conhecidas que se distribuem pelos estados de Roraima, Sul do Amazonas, Rondônia, Amapá, Pará, Maranhão, Piauí, Bahia, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e São Paulo, com potencial para uso como rocha alternativa para agricultura.

### **Riolitos e riolacitos**

No município de Guarapuava (PR) ocorre uma sucessão de derrames básicos e ácidos, estes correspondem aos riolacitos e riolitos do tipo Chapecó, enriquecidos em P e K. Estas rochas são explotadas em pedreiras, para a produção de brita e areia de brita, gerando um material fino como rejeito da britagem.

Estudos recentes mostram que esse material pode ser empregado na agricultura como fonte de P e K, com prévio tratamento biológico da rocha pulverizada, usando microorganismos selecionados que auxiliam a biodisponibilização desses nutrientes, resultando em fertilizante para a agricultura (Trazt *et al.*, 2008).

### **Rochas fosfáticas**

Citam-se algumas formações geológicas nos estados de MG, GO, MS, BA, TO e AM com fosfatos, pouco estudadas ou com ocorrências consideradas marginais para os processos industriais clássicos, mas passíveis, talvez, de aproveitamento em rochagem.

- Grupo Bambuí: Formações Lagoa do Jacaré, Sete Lagoas, Grupo Una e formação Irecê, Unidade Nova América (BA). São metassedimentos carbonáticos e pelito-carbonáticos, com esteiras de algas e estromatólitos ou margas com intercalações de fosforitos (nestes ambientes localizam-se as ocorrências/depósitos de Irecê – BA, Patos de Minas – MG, Cedro do Abaeté – MG e Campos Belos –GO. Os rítmitos fosfáticos da Serra da Saudade (sucessão rítmica de fácies sedimentares correspondem a depósitos clásticos ricos de grãos fosfáticos de apatita e fluorapatita, com teores elevados de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (Tabela 3).

Tabela 3 – Análises químicas de duas amostras de rítmico fosfático da Serra da Saudade (Lima, Uhlein & Britto, 2007).

Amostra	$\text{Al}_2\text{O}_3$	CaO	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{MnO}_2$	MgO	$\text{SiO}_2$	$\text{TiO}_2$
A	13,3	13,3	2,34	2,13	<b>18,64</b>	12,37	0,88	30,1	0,49
B	15,1	0,10	5,61	7,97	<b>10,62</b>	2,48	1,26	50,3	0,79

A Formação Serra da Saudade, do Grupo Bambuí, é representada na sua seção tipo, pelas litofácies: i) rítmico pelito-arenoso; ii) arenito fino; iii) carbonatos retrabalhados; iv) *rítmico pelito-arenoso verde (verdetes)*, com teores de  $\text{K}_2\text{O}$  entre 8,98 e 11,9%; v) *rítmico fosfático* com teores elevados de  $\text{P}_2\text{O}_5$  que, em alguns leitos mais intemperizados, podem atingir valores superiores a 25% (LIMA, UHLEIN & BRITTO, 2007).

Estudos geológicos realizados pela Petrobras, pelo Departamento de Geologia do Instituto de Geociências da UFMG e pelo CDTN/CNEN levaram a considerar os depósitos de fosfatos como fosforitos de tipo alóctone (*op. cit.*).

A Formação da Serra da Saudade possui enorme potencial, não só para aplicação direta ou produção industrial de sais de potássio, a partir do “verdete”, mas também como fonte de materiais para rochagem de fosfatos (direct application phosphate rock - DAPR, da sigla em inglês) ou de ‘rocha fosfática parcialmente acidulada’ (partial acidulation phosphate rock - PAPR – da sigla em inglês) ou, talvez ainda, de fosfatos super simples SSP (da sigla em inglês) a partir dos fosforitos com teores mais elevados de  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

- Grupo Corumbá, Formação Bocaina (MS): Sequência de metassedimentos marinhos, rasos, constituídos de calcários e dolomitos, com níveis de fosforito.
- Formação Pimenteiras: Sequência de sedimentos marinhos transgressivos, constituídos de arenitos, siltitos e folhelhos, com disseminações de fosfato criptocristalino (colofana), associado a anomalias radiométricas e à glauconita. São conhecidas rochas fosfáticas sedimentares, na formação Pimenteiras, encaixadas em siltitos e arenitos, com teores de  $P_2O_5$ , em amostras pontuais, variando entre 4 e 19% de  $P_2O_5$ .
- Grupo Beneficente (AM): Sequência de metassedimentos marinhos glauconíticos constituídos por siltitos com disseminações de fosfato criptocristalino (colofana) e arenitos com micronódulos de colofana.
- Na região NE de Goiás e SE de Tocantins, na divisa desses dois estados, ocorrem, nas porções inferiores do Grupo Bambuí, depósitos de rocha fosfática em siltitos (5%  $P_2O_5$ ) e fosforitos (18%  $P_2O_5$ ), nos municípios de Campos Belos-GO e Arraias-TO. A rocha natural moída (moinho de martelos) obtida do fosforito, pela empresa ITAFOS, foi testada no cultivo da soja, no município de Correntina-BA, com resultados superiores ao Superfosfato Simples-SSP, isolado (Paçõ e Oliveira, 2009).

### **Rocha zeolítica**

Zeólitas são aluminossilicatos hidratados de metais alcalinos ou alcalinos terrosos, principalmente sódio, potássio, magnésio e cálcio. A estrutura cristalina das zeólitas confere a estas, propriedades importantes para os processos industriais, tais como: propriedades de troca catiônica, alto grau de hidratação, canais uniformes nos cristais desidratados, propriedades catalíticas, dentre outras. A sua alta capacidade de adsorção está relacionada à elevada superfície interna, associada à sua estrutura cristalina caracterizada por cavidades espaçosas (Luz, 1994).

Segundo esse mesmo autor, as zeólitas possuem um vasto campo de aplicação, destacando-se, no contexto deste trabalho, como condicionador de solos, pela sua capacidade de retenção de água e de armazenar nutrientes do tipo nitrogênio, potássio e fósforo, liberando-os lentamente. Desta forma, contribuem para minimizar as perdas por lixiviação desses nutrientes, resultando em significativa economia de fertilizantes. As zeólitas, por serem carreadoras de nutrientes, podem ser utilizadas como fertilizantes, com a vantagem de algumas de suas espécies possuírem, naturalmente, quantidades significativas de potássio e pouco sódio.

Os principais depósitos de zeólitas, no Brasil, com potencial de aproveitamento econômico, ocorrem em rochas sedimentares, na Formação Mata da Corda - Bacia do Parnaíba (MA/TO). Nesta, ocorrem as espécies stilbita e laumontita, na forma de um cimento, nos arenitos eólicos e fluviais. A zona de mineralização distribui-se por uma área de 1.000 km<sup>2</sup>, pelos estados do Maranhão e Tocantins, em espessuras que podem atingir até 30 m. As zeólitas contidas nesses arenitos atingem até 50% da reserva (Rezende *et al.*, 2008).

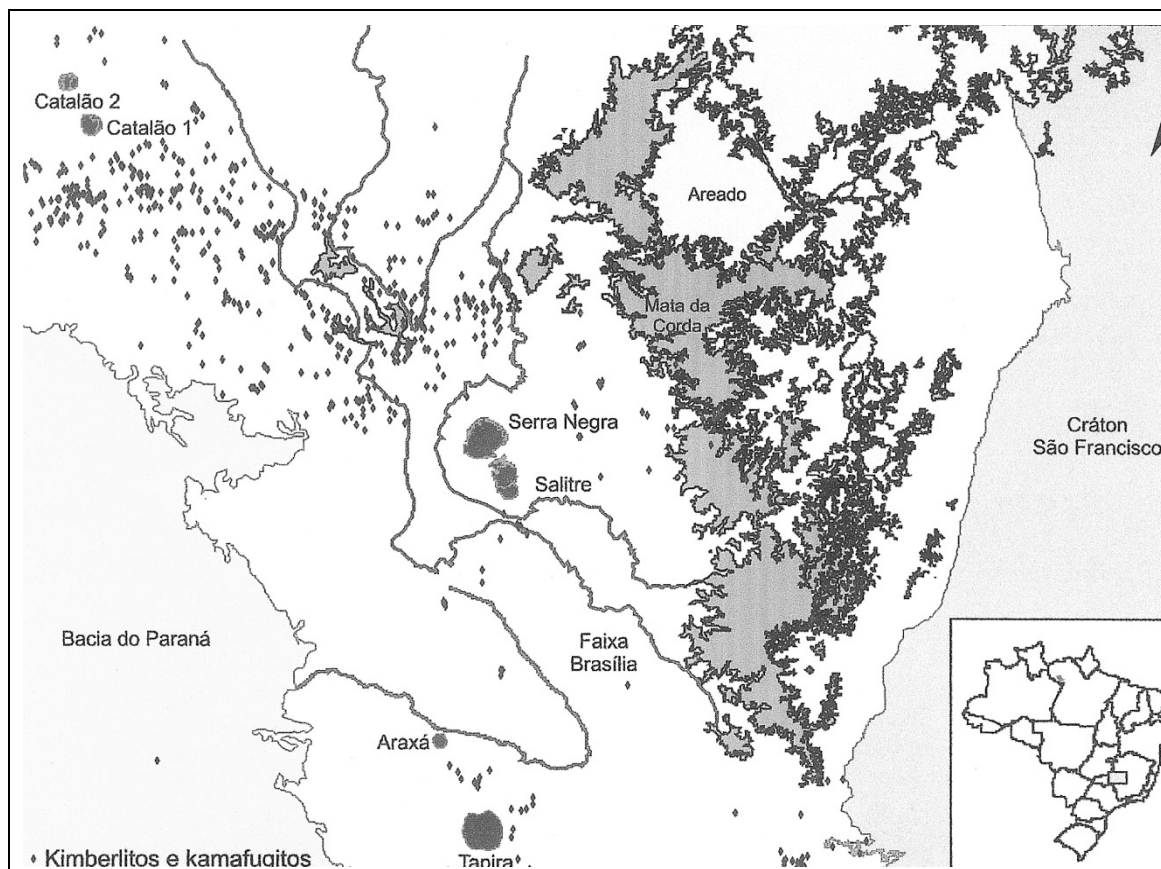
Por meio dos estudos de beneficiamento realizados no CETEM, constatou-se a possibilidade técnica de enriquecimento dessas zeólitas, por processos gravíticos. A seguir, esses concentrados de zeólitas foram enriquecidos com nitrogênio, fósforo, e potássio e realizados testes agrônômicos (fruticultura), com resultados promissores, indicando seu uso como fertilizantes de liberação lenta (Paiva *et al.*, 2004; Paiva *et al.*, 2005; Monte *et al.*, 2004; Monte *et al.*, 2006).

A análise dos estudos realizados, até agora, por pesquisadores do CETEM/Embrapa/UFRJ, recomendam o prosseguimento desses estudos objetivando o seu aproveitamento econômico, em particular, para uso na agricultura.

### ***Rochas ultramáficas alcalinas***

#### **Província Ígnea do Alto Paranaíba (MG/GO).**

Esta província situada no centro-oeste de Minas Gerais e sudeste de Goiás (Figura 2) é composta por grande volume de kamafugitos (Grupo Mata da Corda e inúmeros corpos sub-vulcânicos), numerosos kimberlitos, com destaque para a região de Coromandel, e vários complexos plutônicos alcalino-carbonatíticos (Catalão I e II, Serra Negra, Salitre I e II, Araxá e Tapira) e diques de flogopita picritos.



Fonte: Gomide (2008).

Figura 2 – Localização e geologia regional do Alto Paranaíba

#### **Província Alcalina de Goiás/Complexo Vulcânico alcalino- carbonatítico de Rio Verde (Santo Antônio da Barra).**

A Província alcalina de Goiás estende-se ao longo de uma faixa de direção NW, com cerca de 250x70 km. Inclui desde complexos máficos-ultramáficos alcalinos na porção norte, a rochas subvulcânicas, que são predominantes na porção central, e vulcânicas na porção sul.

Verdete é no Brasil o nome atribuído por Djalma Guimarães, a uma rocha constituída, essencialmente, de glauconita e que ocorre, entre outros, nos municípios de Matutina, Cedro e Cedro do Abaeté, no estado de Minas Gerais, formando depósitos estimados em centenas de milhões de toneladas.

A glauconita ocorre em sedimentos marinhos (arenitos, argilas, calcários e leitos de fosforita) de baixas profundidades, principalmente em zonas de mares e oceanos, além de sedimentos marinhos recentes (siltitos verdes e areias). É frequente em certos níveis do Grupo Mata da Corda (Figura 2.)

O termo glauconita deriva da palavra grega, *glaukos* ( $\gamma\lambda\alpha\upsilon\kappa\omicron\varsigma$ ), que significa verde azulado. É um aluminossilicato hidratado de ferro, magnésio, potássio cuja fórmula química é  $K_2(Mg,Fe)_2Al_6(Si_4O_{10})_3(OH)_{12}$ , com densidade variando entre 2,4 e 2,95. A sua composição é variável e, na Tabela 4, encontram-se as faixas percentuais dos constituintes básicos de uma glauconita típica.

Tabela 4 – Compostos e elementos químicos básicos da glauconita, inclusive suas faixas percentuais no mineral (*A. Betekhtin*)

Compostos	Percentagens	Elementos	Percentagens
$K_2O$	4,0 – 9,5	Potássio (K)	5,49
$Na_2O$	0,0 – 3,0	Sódio (Na)	0,27
$Al_2O_3$	5,5 – 22,6	Magnésio (Mg)	2,28
$Fe_2O_3$	2,79 – 6,1	Alumínio (Al)	1,90
FeO	0,8 – 8,6	Ferro (Fe)	19,62
MgO	2,4 – 4,5	Silício (Si)	25,00
$SiO_2$	47,6 – 52,9	Hidrogênio (H)	0,47
$H_2O$	4,9 – 13,5	Oxigênio (O)	44,97

Este afloramento de verdete está situado no município de Matutina localizado por: 23K 0403958; UTM 7872894 a uma altitude de 928 m (Fazenda Pirapitinga).

Nessa região de Matutina, a rocha verdete ocorre na forma compacta e, na sua maior parte, bem fraturada, porém há locais, nos quais a rocha ocorre na forma compacta sem fratura.

Outras ocorrências de verdetes são:

- as da Formação Pimenteiras, no flanco ocidental da bacia do Paranaíba (TO), constituídas por sedimentos marinhos formados por arenitos, siltitos e folhelhos, com disseminações de fosfato criptocristalino (colofana) e glauconita, ocupando uma área aproximada de 25.000 km<sup>2</sup>.
- as do Grupo Beneficente, na região de Juruema/Teles Pires/Aripuanã no norte de Mato Grosso e no Sul do Amazonas, sequência de metassedimentos marinhos glauconíticos constituída de siltitos com disseminações de fosfato criptocristalino (colofana) e arenitos, cobrindo uma área aproximada de 60.000 km<sup>2</sup>.

A associação da glauconita a mineralizações de fosfato poderá revestir-se de grande interesse no âmbito da rochagem.

O verdete pode se tornar uma fonte alternativa ao KCl (silvita), tradicional fertilizante potássico usado na agricultura.

O desenvolvimento de fertilizante potássico, termopotássio, exige investimento de pesquisas tecnológicas e a utilização de uma matéria-prima rica em potássio, fato que favorece a utilização do verdete para esse fim.

Desse modo, o verdete de Matutina localiza-se numa vasta e bem desenvolvida fronteira agrícola. Além da demanda promissora para obtenção de um produto de potássio, para uso como fertilizante agrícola, há também na região: pedreiras de calcário, energia elétrica, malhas ferroviária e rodoviária, entre outras. Em resumo, há uma logística que favorece o aproveitamento econômico desse fertilizante alternativo.

A obtenção de um produto de potássio para uso como fertilizante, com base em verdete, exige o desenvolvimento de pesquisas com foco nos parâmetros tecnológicos, inclusive testes agrônômicos e estudos de mercados.

### Serpentinitos

Foram avaliadas as rochas serpentínicas provenientes da mina de amianto, Minaçu, GO, e da mina de Ipueira, Andorinhas, BA.

No caso da mina de amianto da SAMA, Minaçu, GO, foi feita uma avaliação do potencial de aplicação (econômico e ambiental) do uso de serpentinitos provenientes dos estêreis dessa mina. Para uso como insumo na agricultura (correção de pH e do teor de Mg), desenvolveu-se um estudo, em escala de laboratório, com base em ensaios físicos, químicos e biológicos (Tavares *et al.*, 2009).

A avaliação dos resultados de DRX revelou, como fases minerais majoritárias: crisotila, caulinita, gibbsita e olivina. Constatou-se a existência de minerais magnesianos, em níveis significativos, típico dos serpentinitos. Ao investigar os resultados da caracterização química, constataram-se elevados teores de MgO (>45%) e de SiO<sub>2</sub> (Tabela 5). Foram identificados minerais carbonatados, em lâmina delgada.

Quanto ao potencial tóxico do uso desse material na agricultura, é importante ressaltar a concentração de 0,54% de NiO e de 0,74% de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. A ação do intemperismo sobre os minerais de cromita, poderá liberar formas ionizadas de cromo para o ambiente. Em decorrência da elevada toxicidade associada à espécie hexavalente do Cr, ressalta-se a necessidade de se avaliar os efeitos adversos à saúde de ecossistemas aquáticos e terrestres. Em adição, a ocorrência de crisotila detectada na DRX e de fibras (serpentinó <74 µm) observadas na imagem ao microscópio eletrônico de varredura (MEV), na Figura 3, apontam para possíveis exposições ambientais com danos à saúde humana, sobretudo no que se refere aos efeitos deletérios sobre o sistema respiratório.

Tabela 5 – Resultados das análises químicas para uma amostra do serpentinito Minuçu.

Óxidos	Teor (%)	Óxidos	Teor (%)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,58	MnO	0,13
CaO	0,13	NiO	0,54
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,74	SiO <sub>2</sub>	40,56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,34	SO <sub>3</sub>	0,14
MgO	45,70	Perda ao fogo	15,19

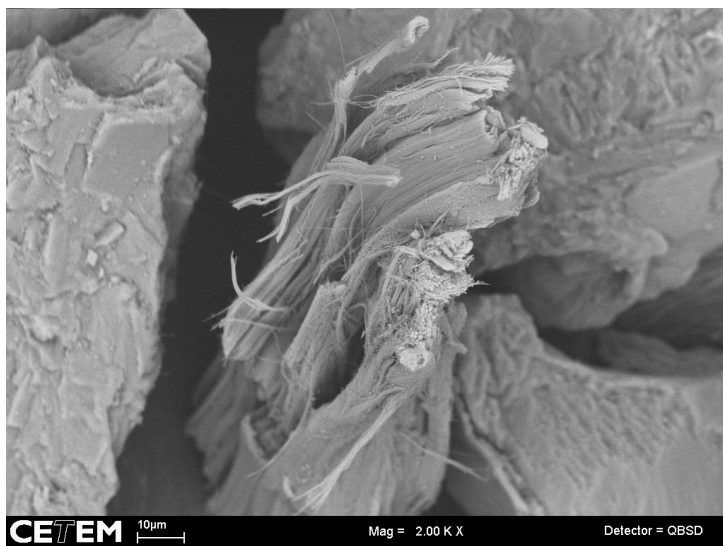


Figura 3 – Imagem (MEV) de fibra mineral em amostra de serpentinito.

Os resultados ilustrados na Figura 4 indicam uma relação positiva entre o tempo de contato do serpentinito (em 208  $\mu\text{m}$ ) com a água e o teor de Mg na solução aquosa, sendo que em 72 h foi atingida a concentração de saturação de 370 mg/L. Os teores de Cr ficaram abaixo do limite de detecção do método analítico (0,3 mg/L). Estes resultados sugerem elevada disponibilidade do Mg e baixa liberação do Cr em água, realçando o potencial de aplicação do extrato aquoso na agricultura. Estes resultados, entretanto, deverão ser confirmados em futuros ensaios, bem como em escala piloto.

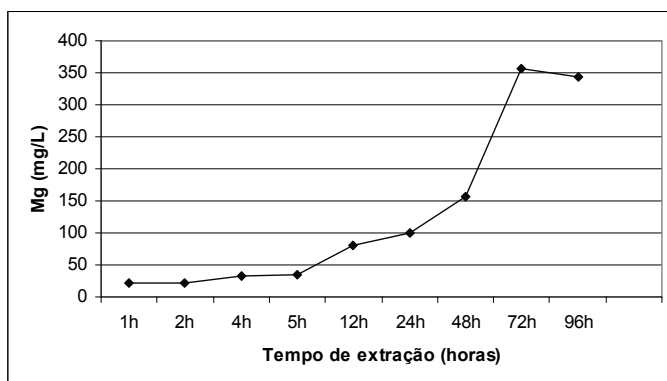


Figura 4 - Influência do tempo na extração aquosa de magnésio contido no serpentinito.

A avaliação dos resultados dos ensaios granulométricos revelou que nas frações mais grossas, os teores de Mg são mais elevados que os de Cr, sugerindo que a fração granulométrica entre 830 e 208  $\mu\text{m}$  seja a mais adequada para o uso do serpentinito na agricultura. Esta fração corresponde a 30% da rocha cominuída abaixo de 6 malhas, significando portanto baixo consumo energético, considerando ainda, o fato de ser um estéril da mina de amianto. Ainda, a extração aquosa de Mg de serpentinito (208  $\mu\text{m}$ ) foi promissora, indicando o possível uso desta solução aquosa em ensaios em casa de vegetação.

O teste de toxicidade agudo com oligoquetas demonstrou uma tendência de incremento de letalidade com o crescimento da dose, variando de 60, 90 e 100% de letalidade. Sugere-se, entretanto, que o pH extremamente básico resultante da adição do serpentinito ao solo artificial, tenha sido o fator determinante na toxicidade.

Concluindo, os principais resultados apontam para a utilização do Mg extraído em solução aquosa, em sistemas de irrigação de cultivares, evitando-se a rochagem com os estéreis cominuídos, de forma a prevenir a disposição de fibras minerais em áreas agricultáveis.

No caso do serpentinito oriundo da mina de Ipueira, Andorinhas, BA, a rocha é composta, essencialmente, de dolomita, calcita e diopsídio, cuja composição química consta na Tabela 6. A análise dos resultados dos estudos desenvolvidos no CETEM, indica que a rocha é rica em Ca e Mg. Ademais, possui quantidades significativas de Fe, K e Mn que, em princípio, favorece a sua aplicação como fonte complementar de nutrientes agrícolas.

Tabela 6 – Composição química da rocha serpentinito, mina de Ipueira, Andorinhas, BA.

Composição	Peso (%)	Composição	Peso (%)
CaO	33,70	K <sub>2</sub> O	0,223
MgO	20,94	MnO	0,126
SiO <sub>2</sub>	13,31	Cl	0,072
Na <sub>2</sub> O	0,456	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,023
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,447	P.F. (1.000°C) *	30,30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,408		

Nota: \* P.F. – Perda ao Fogo



O poder de neutralização total foi definido por meio da titulação ácido-base, em que o excesso de ácido é quantificado por alcalimetria. Com base nos resultados da composição química da rocha e auxílio do método de espectrofotometria de emissão óptica (Ca, Mg), foi determinada a soma das percentagens dos óxidos de cálcio e magnésio. O poder relativo de neutralização total foi calculado, conforme o método analítico oficial (Brasil, 2007).

O potencial poluidor da rocha foi determinado, conforme as instruções descritas nas normas técnicas da ABNT (1987a, b, c, d).

A análise dos resultados dos estudos desenvolvidos no CETEM indica que a rocha possui características adequadas para uso como corretivo de acidez de solos, e atendem as exigências estabelecidas pelo MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

### **Kamafugitos**

As províncias alcalinas do Alto Paranaíba e de Goiás contêm algumas das mais extensas exposições conhecidas de kamafugitos (Tabela 7), dentre as quais se destacam os derrames da região de Rio Verde.

Tabela 7 – Composição química de kamafugitos de Rio Verde-GO

Rocha	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	PF
(1)Brecha piroclástica	39,1	4,4	12,6	12,8	7,5	12,0	0,1	5,0	0,9	22,6
(2)Arenito vulcânico	26,6	2,8	5,4	9,3	8,4	24,1	0,9	0,9	0,6	23,6
(3)Basalto	47,3	2,5	11,2	12,9	4,9	7,6	2,0	1,1	0,4	9,4
(4)Zeólita	52,4	0,1	13,5	0,8	0,3	11,5	2,1	2,2	0,4	18,0
(5)Sienito	58,4	1,4	18,7	5,3	1,1	3,4	5,7	6,4	0,3	1,6

Rio Verde, também designado por Santo Antônio da Barra, é uma sequência vulcânica heterogênea (piroclástica e lavas) de rochas zeolíticas (analcíticas), localmente capeadas por lavas, tufos e aglomerados de silicocarbonatitos. Os tipos petrográficos dominantes são os analcíticos e os analcíticos olivínicos (Gaspar e Dami, 1981; Junqueira-Brod, 2002). Esses Kamafugitos foram estudados pela Embrapa Cerrados e UnB, como fontes de K para soja e milho e apresentaram resultados animadores (Martins *et al.*, 2008).

### **Vermiculita, Município de Queimadas (PI), Parnamirim (PE), Brumado (BA) e Santa Luzia (PB)**

A região semiárida possui três importantes depósitos de vermiculita, nos estados do Piauí, Pernambuco, Bahia e Paraíba.

O depósito de vermiculita da região de Paulistana está localizado no sudeste do Estado do Piauí, no município de Queimada Nova. Trata-se de um corpo de rochas básicas e ultrabásicas, de forma elíptica, intrusivo em xistos granatíferos, xistos gnaissificados e migmatitos que compõem o Grupo Salgueiro, que se estende ao vizinho estado de Pernambuco, onde também foram detectadas ocorrências de vermiculita. Esta ocorre associada à rocha básica, na forma disseminada ou em veios pegmatóides.

Os depósitos de Brumado, na Bahia e Santa Luzia, na Paraíba, também ocorrem associados a complexos básicos-ultrabásicos, com reservas medidas (2005) de 1.724.445 t e 1.976.018 t, respectivamente.

A vermiculita é um silicato hidratado de magnésio, ferro, alumínio, potássio, com estrutura micáceo-lamelar e clivagem basal, podendo conter até 5% K<sub>2</sub>O. O mineral se expande, sob aquecimento (800 a 1.100°C), atingindo volume de 10 a 12 vezes o seu volume natural. Sua capacidade de troca catiônica está na faixa de 100 a 130 meq/100g (Ugarte *et al.*, 2008).

A vermiculita quando expandida transforma-se num produto importante para composição dos fertilizantes e condicionamento de solos para horticultura. É utilizada no plantio de mudas, em reflorestamento de

grandes áreas, inibidor de micro e macro nutrientes de adubos, estimulador da germinação de sementes. Dentre outras características, podem ser mencionadas (Ugarte *et al.*, 2008):

- sua capacidade de troca catiônica disponibiliza amônia, potássio e cálcio para as plantas.
- promove a aeração do solo, retém a umidade e favorece a absorção de nutrientes, por meio das raízes das plantas.
- quando expandida torna-se muito leve e favorece o seu manuseio na composição com outros solos, turfas, fertilizantes, pesticidas e herbicidas.

Algumas rochas provenientes da lavra de não metálicos podem transformar-se em um fertilizante. Como exemplo é citado uma mineração de vermiculita, em Uganda, África. Os finos da vermiculita intemperizada ocorrendo sob a forma de flogopita/piroxênio foram, a princípio, descartados como estéreis da mina. A avaliação dos resultados de análises químicas indicou que essa matéria-prima mineral contém Mg trocável, P e micronutrientes disponíveis para as plantas. O uso desse subproduto, como fertilizante, foi de certa forma descoberto de forma acidental, na cultura de milho (van Straaten, 2007).

### **Turfas**

A turfa é um material poroso, proveniente do acúmulo de restos vegetais, em ambiente subaquático raso, com variados graus de decomposição. A turfa *in situ* contém cerca 90% de água. Todavia, quando extraída e seca ao ar, o valor da umidade reduz-se em média a 40%.

No sistema brasileiro de classificação de solos (Embrapa Solos, 1999), as turfeiras correspondem aos organossolos.

Dentre outros resíduos vegetais incluem-se: fragmentos de carvão, substâncias húmicas, biomassa meso e microbiana. Possuem coloração preta, cinzenta muito escura ou marrom e elevados teores de carbono orgânico. Quando o teor de carbono é maior ou igual a 80 g/kg, a turfa é considerada material orgânico, valor esse medido na fração terra fina seca ao ar (TFSA), de acordo com o método preconizado pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPS) da Embrapa, no seu Manual de 1997 (Shintaku & Shinzat, 2009).

Além de ser importante fonte energética, a turfa também é utilizada na agricultura, como condicionadora de solos, biofertilizante e substrato de mudas ou aplicada diretamente no solo.

Na ex-União Soviética, a turfa é processada quimicamente e misturada com fertilizantes minerais para que sua eficácia na absorção pelo solo seja aumentada e não somente como condicionador do solo ou fertilizante puramente orgânico.

### **RESÍDUOS INDUSTRIAIS**

#### ***Escórias da indústria metalúrgica***

Em várias partes do mundo estudou-se a utilização de escórias siderúrgicas, como insumo agrícola, com resultados satisfatórios na sua aplicação. O seu uso deve ser precedido de estudos de caracterização química e mineralógica, para avaliar o risco de contaminação ambiental, principalmente pela existência de metais pesados. Na etapa seguinte, procedem-se os testes de eficiência agrônômica. O mesmo procedimento é feito para outras fontes de fertilizantes alternativos, todavia, no caso de escórias, os critérios são mais rigorosos.

Nos EUA, o uso de escória é aprovado por agências federais de agricultura e licenciados por alguns órgãos estaduais. Em alguns países da Europa, testes realizados indicam melhora nas propriedades dos solos ácidos. Na França, por exemplo, estuda-se o uso de escória na agricultura, há mais de 20 anos.

A legislação brasileira prevê a utilização da escória, principalmente como corretivo da acidez dos solos. Para tanto, o (MAPA) estabelece normas quanto à qualidade que o corretivo deve possuir.

### **Escórias siderúrgicas**

No Brasil, o uso da escória de siderurgia, na agricultura, como corretivo de acidez do solo, ainda é bastante incipiente, perante as 18,9 milhões de toneladas de calcário consumidas anualmente, em média, entre 1994 a 2005, segundo dados da ABRACAL (MAPA, 2006). Em alguns países, como no Japão, o uso da escória siderúrgica na agricultura já é bastante difundido, principalmente para a cultura do arroz, na qual esse produto atua também como fonte de silício.

### **Escórias de desfosforação**

É uma escória de siderurgia originada da produção de aço proveniente de minério de ferro rico em fósforo. Também é conhecida como escória de Thomas (Tabela 8) ou escória básica ou fosfato de Thomas. É usada na agricultura, principalmente como fonte de fósforo.

Tabela 8 – Análise típica da escória de Thomas.

Óxido	Peso (%)	Óxido/elemento	Peso (%)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total	17,6	MgO	2,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (*)	15,5	MnO	4,3
SiO <sub>2</sub>	8,5	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,3
CaO total	47,2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,8
CaO livre	2,8	F	0,008

Nota: (\*) solúvel em ácido cítrico

Fonte: Adaptada de Malavolta, 1981.

### **Escórias de produção de ácido fosfórico por via seca**

Segundo Luz e Lins (1976), a produção de ácido fosfórico pode ser feita por duas vias. A via úmida, da qual resulta como subproduto o gesso (anidrita-CaSO<sub>4</sub>), semi-hidratado (CaSO<sub>4</sub>. ½ H<sub>2</sub>O) ou di-hidratado (CaSO<sub>4</sub>. 2H<sub>2</sub>O). A via seca que produz uma escória de cálcio (CaSiO<sub>3</sub>), como subproduto.

Malavolta (1981) descreve, de maneira simplificada, o processo por via seca. Em forno elétrico, em contato com areia e coque, o fósforo do concentrado fosfático (apatita ou fosforita) é reduzido à forma elementar e, em seguida, após oxidação, obtém-se o P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, que ao reagir com a água, tem-se o H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.

### **Fosfogesso**

A geração de sulfato de cálcio, como rejeito da indústria do ácido fosfórico – fosfogesso, tem sido em âmbito mundial, da ordem de 40 a 47 milhões de toneladas anuais, desde meados dos anos 80.

No Brasil até 1991, o fosfogesso acumulado pelas fábricas de produção de ácido fosfórico, totalizava 29 Mt. Hoje deve ultrapassar 70 Mt (Lapido-Loureiro e Nascimento, 2009 b).

Em 2005, a produção anual foi de 5 Mt/ano, das quais 1,5 a 1,9 Mt foram comercializadas para uso agrícola e 0,5 a 0,7 Mt para uso químico (Tomaz, 2006).

Pelas suas propriedades como fertilizante e corretivo de solos, a agricultura e a pecuária (pastagens) tornam-se os maiores consumidores potenciais de fosfogesso. Já foram comprovados efeitos benéficos em 50 cultivares, com taxas de aplicação de 100-200 kg/ha, no entanto, em certos casos, a quantidade ideal é de 1.000 kg/ha. Em pastagens, a aplicação de 0,1 t/ha/ano aumenta o rendimento em 20%. A agricultura pode, assim, absorver, não só todo o fosfogesso estocado, como também o produzido (Astley e Hilton, 2006).

Já em 1887, F.W. Dafer, diretor da Imperial Estação Agronômica de Campinas mostrou o efeito benéfico do gesso no cultivo do café. Hoje, a aplicação do gesso é significativa e cresce, tanto na construção civil, com várias aplicações, quanto na agricultura, como fonte de Ca e S, melhorador de solos sódicos, argilosos pesados e ácidos.

No Brasil, *gipsita*, *gipso* ou *gesso* são termos usados, frequentemente, como sinônimos: referem-se ao produto natural (mineral) *gipsita* e *anidrita*.

### **Gessos sintéticos, industriais ou residuais**

Indústrias de produção de ácidos como o fosfórico, fluorídico, bórico, cítrico, fórmico, tartárico, de extração de cloreto de sódio e as de tratamento de resíduos industriais, dão origem a sulfatos de cálcio residuais: *fosfogesso*, *fluorgesso*, *borogesso*, *organogessos* (*citrogesso*, *formogesso*, *tartarogesso*), *salgesso*, *titanogesso*, *sodogesso*, *sulfitogesso* e *gessos* de neutralização de resíduos ácidos *wan* gessos (Lapido-Loureiro e Nascimento, 2008). São fontes potenciais de gesso para a agricultura e algumas como o fosfogesso e o fluorgesso já são aplicadas.

Fosfogesso – gesso formado no processo industrial de produção de ácido fosfórico pela rota sulfúrica, com uso de concentrados de apatita, predominantemente fluorapatita.

Dessulfogesso – gesso resultante da dessulfurização de gases efluentes; designação dada ao sulfato de cálcio formado no processo de dessulfurização do gás resultante da combustão de carvão ou de óleo nas centrais térmicas: absorção do dióxido de enxofre (e também dos óxidos de nitrogênio) por uma suspensão aquosa de hidróxido de cálcio (leite de cal).

O fosfogesso é, em âmbito mundial e em termos de tonelagem produzida, (40 a 47 milhões de toneladas anuais, desde meados dos anos 80), o mais importante dos gessos residuais. Porém, com as atuais preocupações ambientais que implicam a redução de gases de efeito estufa, as quantidades de gesso ( $\text{CaSO}_4$ ) gerados no tratamento de efluentes industriais, poderão crescer intensamente. A sua pulverização geográfica poderá significar redução do item preço de transporte, para aplicação, por exemplo, na agricultura ou na indústria do cimento.

A gipsita e o fosfogesso devem ser encarados como importantes insumos para a agricultura, indústria do cimento (retardante) e engenharia civil, embora apresentem especificidades, principalmente, o fosfogesso, que desaconselham seu uso indiscriminado. O fosfogesso é classificado pela CNEN – Comissão Nacional de Energia, como rejeito de baixo nível de radioatividade.

Pesquisas realizadas na Universidade Federal de Viçosa (Souza, 2005), na UFRJ/COPPE (Silva, 1997) e por E. Malavolta (1992) concluíram que "do ponto de vista radiológico, não há restrição para uso agrícola do fosfogesso" (Souza, 2005).

Detalhes adicionais poderão ser encontrados em capítulo deste livro e ainda nos capítulos 10, 15, 16 e 17 do livro, "Fertilizantes : Agroindústria e Sustentabilidade". (Lapido-Loureiro et al., 2009).

## **Termofosfato e termofosfato potássico**

Termofosfatos são fertilizantes resultantes do processamento térmico de rochas fosfáticas com ou sem a adição de outras matérias-primas minerais. Esse processamento tem por objetivo tornar o fósforo disponível para as plantas. Os termofosfatos são insolúveis em água, no entanto, são solúveis em solução de citrato de amônio e possuem característica alcalina. Este fato favorece a aplicação dos termofosfatos em solos ácidos, todavia, inconveniente para solos alcalinos das regiões de clima temperado.

A partir do século XX, intensificaram-se as pesquisas para obtenção de diferentes produtos de termofosfato, no entanto, apenas dois destes – fosfato rhenania e fosfato magnésiano fundido - tiveram sucesso comercial em vários países como: Japão, China, Coreia do Sul, África do Sul e Brasil. Trata-se de um processo de consumo intensivo de energia, que resulta em elevados custos de produção. A opção pela rota térmica deverá trazer vantagens na utilização do produto, desde que se disponha de energia barata. De qualquer forma, deverá ser feito estudo de viabilidade econômica (Fertilizantes, 1979).

O mercado de fertilizante fosfático no País é suprido quase que exclusivamente pelos produtos resultantes da reação química entre a rocha fosfática e o ácido sulfúrico ou fosfórico para obtenção do superfosfato simples ou superfosfato triplo e os fosfatos de amônio (DAP ou MAP). Segundo a MITSUI, no Brasil, a produção de termofosfato, denominado Yoorim, corresponde a cerca de 3% da capacidade instalada para produção de fertilizantes fosfatados, com base em  $P_2O_5$ .

O fosfato natural, enriquecido com silicato de magnésio (serpentinó), é fundido em forno elétrico, à temperatura de  $1.500^{\circ}C$ . O produto resultante e incandescente é submetido a um choque térmico (*quenching*) com água a  $0^{\circ}C$ . Na etapa seguinte é secado e acondicionado para expedição (Guardani, 1987).

O termofosfato magnésiano fundido é considerado, por agrônomos, como um dos poucos fertilizantes fosfatados a reunir a vantagem da liberação gradual dos nutrientes e a existência de Ca e Mg (Guardani, 1987).

O termofosfato Yoorin, comercializado no Brasil, contém teores totais na ordem de 19% de  $P_2O_5$ , 26-30% de CaO, 14-18% de MgO e 25% de  $SiO_2$  (Malavolta, 1981; Pereira, 2003 a).

## Agenda de prioridades

Com a realização deste trabalho de pesquisa e com as sugestões levantadas por ocasião dos seminários realizados no CETEM (2009), é sugerida a seguinte agenda de prioridades:

### **Mapeamento geológico**

Realizar mapeamento geológico, em escala adequada, das litologias que já são utilizadas em rochagem e daquelas que, pelas suas características químico-mineralógica, texturais e biológica ofereçam elevado potencial para remineralização de solos.

Realizar caracterização petrográfica, química e mineralógica de novos depósitos minerais que contenham nutrientes importantes para a agricultura, contribuindo para aprofundar o seu conhecimento geológico.

Estes estudos deverão priorizar as áreas às quais já se desenvolvem ou se desenvolveram atividades de mineração e garimpagem, cujos rejeitos seriam testados quanto ao conteúdo de nutrientes, o que traria vantagens, tanto sob o ponto de vista econômico, pois as rochas já estão extraídas e às vezes moídas, como ainda se contribuiria para diminuir o passivo ambiental.

### **Caracterização tecnológica**

Desenvolver uma metodologia de caracterização cristaloquímica das rochas e minerais alternativos, de forma que se possa prever o grau de dificuldade para disponibilizar os nutrientes para a fertilização do solo.

### **Rochas portadoras de $K_2O$ e $P_2O_5$**

Priorizar para estudos de caracterização tecnológica e processamento, rochas de maior conteúdo em  $K_2O$  (verdete, fonolito, micaxisto, brechas alcalinas, kimberlitos, ultrabásicas alcalinas e carbonatitos) e  $P_2O_5$  (Formação Pimenteira-PI, Serra da Saudade-MG e Campos Belos-GO.).

Estudar, também, o aproveitamento dessas rochas por aplicação direta (rochagem), com ou sem compostagem.

### **Produtos de potássio e fósforo**

Realizar estudos de obtenção de produtos de K e P via térmica e hidrometalúrgica.

### ***Biossolubilização de rochas fosfáticas e potássicas***

Realizar estudos que contribuam para a biodisponibilização dos nutrientes P e K contidos em rochas fosfáticas (aluminofosfatos, apatita, fluorapatita) e silicáticas de potássio (verdetes, fonolitos e outras rochas alcalinas efusivas, kamafugitos), usando microorganismos selecionados.

Estabelecer acordos de cooperação científica/tecnológica com a Índia e China, na área de microbiologia voltada para fertilizantes.

### ***Rochas e minerais carreadores de nutrientes***

Estudar o processamento de rochas e minerais carreadores de nutrientes (zeólitas, atapulgita, vemiculita, pedra pome) por meio de beneficiamento físico, modificação química e saturação com os nutrientes K, P e N e outros do tipo cálcio, magnésio, enxofre, zinco, cobre, boro, molibdênio etc com foco no seu uso como fertilizantes de liberação lenta.

### ***Rejeitos e resíduos industriais***

Desenvolver pesquisa para o aproveitamento de rejeitos do processamento de rochas fosfáticas e da lavra e do beneficiamento de rochas ornamentais.

### ***Oleaginosas***

Estudar a aplicação de fertilizantes alternativos no cultivo de oleaginosas do tipo: pinhão manso, mamona, algodão, canola e girassol.

### ***Biocombustíveis***

Implementar políticas de maior integração da área mineral com os setores agrícola e de biocombustíveis.

### ***Cana de açúcar***

Estudar o uso de produtos obtidos de rochas e minerais alternativos como fertilizante, no cultivo da cana de açúcar, comparando o seu desempenho com aqueles obtidos com o uso dos fertilizantes convencionais.

### ***Avaliação de impactos ambientais***

A utilização de rochas, minerais e outros, como fontes alternativas de fertilizantes agrícolas, necessita de investigação cuidadosa dos possíveis contaminantes de toxicologia relevante. À guisa do bom exemplo, registra-se o caso das fibras minerais compostas por crisotila, actinolita, tremolita, materiais radioativos, metais pesados, incluindo-se, entre outros, Cr, As e Hg. Desse modo, previnem-se a contaminação de áreas agricultáveis, dos produtos agrícolas, bem como os consequentes riscos ambientais e ocupacionais à saúde humana.

### ***Normalização de padronização***

Estudar a normalização, padronização e especificação de rochas e minerais industriais alternativos para a produção de fertilizantes.

## Glossário

Ácidas (rochas) – Em petrografia, a palavra ácida refere-se aos teores de  $\text{SiO}_2$  (sílica) nas rochas: ácidas, 65-80% (granito/riolito); sub-ácidas, 60-65% (sienito); sub-básicas, 55-60%; (diorito) básicas, 55-45% (gabro/basalto); ultra-básicas, <45% (piroxênio).

Basalto - Rocha vulcânica de cor escura, densidade próxima de 3, composta essencialmente de plagioclásio cálcico, piroxênio e olivina. A decomposição dessa rocha forma uma argila e solos férteis, como a terra roxa, da região Sul do Brasil.

Brechas - Rochas formadas de fragmentos angulosos e de tamanho sempre superior ao de grãos de areia ligados por um cimento natural. São diversas, pela natureza dos fragmentos constituintes e do cimento, e também pela origem, tendo em comum a sua estrutura. Por ex., brechas vulcânicas são formadas pela cimentação de piroclastos, bombas e lapillis envolvidos por cinzas vulcânicas. Brecha alcalina – quando apresenta baixos teores de sílica e elevados de álcalis.

Carbonatito – Rocha, de origem ou filiação magmática, com mais de 50% de carbonatos. Podem ser, calcíticos, dolomíticos, ferro-dolomíticos, ankeríticos e até sódicos, como em Oldoinyo Legai (Tanzânia).

Compostagem - É o processo de transformação de materiais como palhada e estrume, em materiais orgânicos utilizáveis na agricultura, na forma de adubo orgânico. Este processo inclui transformações de natureza bioquímica, promovidas por microorganismos do solo que têm na matéria orgânica, *in natura*, sua fonte de energia, nutrientes minerais e carbono.

Diorito - Rocha ígnea plutônica saturada (quartzo ausente ou subordinado) tendo como componentes essenciais, plagioclásio Na-Ca (oligoclásio a andesina), K feldspato subordinado e minerais ferromagnesianos, piroxênio/hornblenda e biotita.

Dolomito - rocha sedimentar com mais de 50 % de seu peso constituído por dolomita, um carbonato duplo de cálcio e magnésio,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ . Os dolomitos formam-se pela precipitação direta e, ainda, por substituição total ou parcial da calcita pela dolomita. Na agricultura é usada como corretivo da acidez do solo e na sua remineralização.

Feldspatóide - constituem um grupo de minerais, próximos dos feldspatos, diferindo destes pelo mais baixo conteúdo de sílica. Substituem os feldspatos em rochas sub-saturadas em sílica. Incluem-se neste grupo: nefelina, analcima, cancrinita, hauynita, noseana e sodalita

Félsico - Termo utilizado para minerais silicatados, magmas e rochas, ricos em elementos leves como o silício, oxigênio, alumínio, sódio e potássio. Este termo é uma combinação das palavras feldspato e sílica. Os minerais félsicos, geralmente de cor clara, mais comuns são o quartzo, a moscovita, ortoclásio e os feldspatos da série dos plagioclásios.

Fonolito – A rocha produz sons quando percutida. Rocha vulcânica alcalina, subsaturada em silício, contendo essencialmente feldspato alcalino e feldspatóides. É o equivalente vulcânico do nefelina sienito.

Gabro - é uma rocha intrusiva de cor escura e granulação grossa, composta predominante por plagioclásio básico (labrador – bytownita), clinopiroxênio (augita), com ou sem olivina.

Gesso agrícola – Produto utilizado na agricultura, com especificações granulométricas e químicas, que pode ser de origem mineral (gipsita ou gesso natural) como química (fosfogesso e outros gessos industriais ou residuais). O gesso agrícola possui um teor de CaO entre 28 e 30% e é muito usado na manutenção de pastagens e correção de acidez de solos e em cultura que exigem CaO, como o amendoim.

Gesso - designa tanto o gesso natural (gipsita) como o produto calcinado e ainda os gessos residuais resultantes de algumas indústrias, dentre as quais o principal é o fosfogesso, pelas enormes quantidades geradas.

Granodiorito – Rocha ígnea semelhante ao granito, mas contendo mais plagioclásio do que feldspato alcalino. Apresenta geralmente hornblenda e biotita, em abundância, o que lhe confere uma aparência mais escura que a do granito.

Kalsilita - Mineral do grupo dos feldspatóides:  $K[AlSiO_4]$  sua composição química é  $K_2O$  47,04%;  $H_2O$  9,00%;  $CO_2$  43,96%. Mineral encontrado em rochas vulcânicas e subvulcânicas, alcalinas potássicas. É um constituinte importante de uma parte de algumas lavas ricas em K, ocorrendo também em fenocristais complexos de nefelina/kalsilita, de algumas lavas menos ricas em K. A kalsilita é desconhecida em rochas plutônicas. O mineral é usado na fabricação de vidros, cerâmica, dentre outros.

Kamafugito – É um termo coletivo que engloba rochas vulcânicas, máficas e ultramáficas (ugandito, mafurito e katungito), subsaturadas em  $SiO_2$ , em que as fases félsicas são feldspatóides potássicos (leucita, kalsilita).

Kimberlito – Peridotito alcalino contendo abundantes fenocristais (cristais bem desenvolvidos) de olivina (frequentemente serpentizada) e flogopita (frequentemente cloritizada) numa matriz de granulometria fina constituída por calcita, olivina de segunda geração e flogopita, sendo acessórios, ilmenita, serpentina, clorita, magnetita e perovskita ( $CaTiO_3$ )

Leucita -  $KAlSi_2O_6$ , é um silicato de alumínio e potássio constituída por  $K_2O$  21,5%;  $Al_2O_3$  23,5%,  $SiO_2$  55%. Pode estar associada a sanidina, olivina, albita, egirina. É um feldspatóide característico de lavas básicas alcalinas, ricas em K, tais como basanitos leucíticos, tefritos leucíticos, basaltos leucíticos-meliliticos, ancaramitos, fonólitos, tinguitos etc.

Leucocráticas (rochas) – Rochas de cor clara. Ex.: granitos, sienitos, nefelina sienitos. Nestas rochas predomina a ocorrência de minerais félsicos.

Máfico - Designação dada em geologia a qualquer mineral ou rocha ígnea (vulcânica ou intrusiva) rica em elementos químicos pesados, nomeadamente em compostos ferromagnesianos, e pobres em sílica. Quando os compostos ferromagnesianos são muito abundantes, as rochas são referidas como ultramáficas. O vocábulo *máfico* deriva da aglutinação de *magnésio* e *ferro* (magnésio + ferro + sufixo ico).

Melanocráticas (rochas) – Rochas de cor escura. Ex.: gabros, piroxenitos, peridotitos

Microclíneo - Mineral do grupo dos feldspatos de composição semelhante ao ortoclásio, com geminação cruzada.

Nefelina sienito – Rocha plutônica subsaturada, composta essencialmente por feldspato alcalino e nefelina, podendo conter um mineral ferro-magnésiano- anfibólio ou piroxênio.

Picrito – rocha básica rica de olivina

Quartzodiorito - Rocha plutônica saturada a supersaturada com quartzo (5 a 20%), tendo como componentes essenciais, plagioclásio Na-Ca (oligoclásio a andesina), feldspato K subordinado e minerais ferromagnesianos ortopiroxênio/hornblenda e biotita.

Riodacito – Rocha ígnea efusiva equivalente ao quartzodiorito

Riolito - termo genérico para rochas vulcânicas silicáticas porfíricas com fenocristais de quartzo e feldspatos alcalinos em massa microcristalina ou vítrea e quimicamente correspondente ao granito.

Rochas alcalinas – São rochas formadas por magmas e fluidos enriquecidos em álcalis, que dão origem a minerais de Na e K, tais como feldspatóides, egirina etc.

Rochas máficas – Rochas compostas por minerais de cor escura (ferro-magnesianos)

Rochas ultramáficas alcalinas – Rochas compostas essencialmente por minerais máficos e feldspatóides.



Saprolito – Rocha intemperizada que ainda mantém a estrutura da rocha inalterada.

Serpentinito – Rocha metamórfica constituída quase totalmente por minerais do grupo da serpentina, de cor verde escura, e, com frequência, derivada da alteração de peridotitos. Na agricultura podem ser utilizados como fontes de fertilizantes alternativos na calagem de solos e no fornecimento de micronutrientes.

Sienito - O sienito é uma rocha granular, de cor clara e textura uniforme. É composta basicamente por feldspato potássico e pouco oligoclásio. A alteração supérgena desta rocha pode gerar bauxita. A rocha assemelha-se a um granito, contudo possui menos quartzo. É intrusiva, e seu correspondente efusivo é o traquito.

Traquito - Rocha vulcânica constituída essencialmente por feldspato alcalino (sanidina, ortoclásio) e quantidades menores de plagioclásio (oligoclásio). Pode haver albita em álcali traquitos, biotita, hornblenda, quartzo, anfibólios sódicos e piroxênios em álcali-traquitos.

Ugandito – Rocha ultramáfica alcalina com altos teores de K e baixos de Si; formada por olivina, clinopiroxênio e leucita, kalsilita

## Referências bibliográficas

- A. BETEKHTIN. A. Course of Mineralogy, p.531, traduzido pelo Editor A. Gurevich.
- ABRACAL (MAPA 2006): Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola, [www.sindicalc.com.br/](http://www.sindicalc.com.br/)
- APARECIDA DA SILVA, E., CASSIOLATO, A. M. R, MALTONI, K. L., SCABORA, M. H.(2008).Efeitos da rochagem e de resíduos orgânicos sobre aspectos químicos e microbiológicos de um subsolo exposto e sobre o crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott. In: R. Arvore, Viçosa-MG, v.32, n.2, p.323-333, 2008.
- ASTLEI, V e HILTON, J. (2006) – Phosphogypsum: to stack or not to stack, that is the perception. Seminário Internacional sobre Usos do Fosfogesso, Belo Horizonte.
- BARBOSA, R.C. (2006) – Formação de kimberlitos diamantíferos em Minas Gerais, Avulso, UFMG.
- BEZERRA, M. S. (2009). Rochas e minerais alternativos, bem como suas rotas tecnológicas para bicombustíveis – RT2009-0051-00: Relatório Técnico Elaborado para o Estudo Prospectivo dos Agrominerais/CTMineral.
- CURIMBABA, G. *et al.* (2009) – Fonolito como substituto do cloreto de potássio e/ ou outras fontes de potássio na agricultura e pecuária no Brasil. 1º Congresso Brasileiro de Rochagem, Brasília, setembro de 2009.
- EMBRAPA SOLOS (1999). Sistema brasileiro de classificação de solos, Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- FERTILIZANTES-(1979). Termofosfatos. Tecnologia, Fertilizantes nº3, p. 3 – 8.
- FYFE WS, LEONARDOS, OH, THEODORO, SH.(2006). *Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution*. Anais Acad. Bras. Ciências. 2006 Dec;78 (4):715-20.
- GASPAR, J. C. & DAMI, J. C. M (1981). Aspectos petrográficos e vulcanológicos da província alcalina-carbonática de Santo Antônio da Barra, sudoeste de Goiás, Ver Bras de Geoc., 11: 74-83.
- GOMIDE, C. S. BROD, J. A. PALMIERE, M., SANTOS, R. V.,JUNQUEIRA-BROD, T. C, MARCHAO, M. O.,SILVA. P. G.N. BRAGA, L. M. V., PAULINO, F. SILVEIRA, D. A. (2008) – Estudo preliminar de isótopos estáveis de carbono e oxigênio na associação kamafugito-carbonatito-foscorito da Província Ígnea do Alto Paranaíba. IV Simpósio de Vulcanismo e ambientes associados, Foz do Iguaçu-PR.
- GUARDANI, R. (1987) Transformações térmicas e solubilidade de fosfatos de alumínio dos estados do Pará e Maranhão. Fertilizantes, CEFER –Centro de Estudos de Fertilizante – Vol. 9 nº 2, Jul/Dez 1987-ISSN 0100-6274.
- GUARDANI, R. (1987). Termofossfato magnesiano fundido: novos desenvolvimentos na tecnologia de produção, Fertilizantes, vol. 9, nº 1, Jan-Jun, 1987.
- IFA / FAO (2002) - Los Fertilizantes e su Uso.
- IPI – (1994) Fertilizing for High Yield – Sugarcane (Adubação para altas Colheitas: Cana-de açúcar) – tradução e revisão de E. Malavolta
- JUNQUEIRA-BROD, T.C. (2002) – A Província Alcalina de Goiás e a extensão do seu vulcanismo kamafugítico. Rev. Bras. De Geociências, v.32, n.4, p.559-566.
- KNAPI, J. G.(2005). Utilização de Pó de Basalto como Alternativa à Adubação Convencional na Produção de Mudanças de Mimosa Scabrella BENTH e Pronus Sellowi KOEHNE. Dissertação de Mestrado, UFPR

- LAPIDO-LOUREIRO, F. E. e NASCIMENTO, M. (2009 b) – O gesso nos agrossistemas brasileiros: fontes e aplicações. In: Fertilizantes-Agroindústria e Sustentabilidade, cap. 15, p.445-477, CETEM/PETROBRAS.
- LAPIDO-LOUREIRO, F. E. e NASCIMENTO, M. (2009 a). Importância e Função dos Fertilizantes numa Agricultura Sustentável e Competitiva. In: Fertilizantes-Agroindústria e Sustentabilidade, cap. 2, p.81-132, CETEM/PETROBRAS, 2009.
- LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. editores (2009) – Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade CETEM/PETROBRAS, 655p.
- LAPIDO-LOUREIRO, F. E. (1995). A Megaprovincia Carbonatítica Brasil-Angola e seus Recursos Minerais. Tese de doutorado, Universidade de Lisboa.
- LEONARDOS, O. H.; FYFE, W. S.; KROMBERG, B (1976). Rochagem: método de aumento de fertilidade em solos lixiviados e arenosos. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 29., 1976, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte, 1976. p. 137-145.
- LEVINSON, A.A. (1974) – Introduction to exploration geochemistry. Applied Publ. Ltd. Wilmette, Illinois, USA, 614p.
- LIMA, O.N.B., UHLEIN, A. e BRITTO, W. (2007) – Estratigrafia do Grupo Bambuí na Serra da Saudade e geologia do depósito fosfático de Cedro do Abaeté, Minas Gerais. Ver. Brás. De Geociências 37 (4º suplemento), p. 204-215, dez. 2007.
- LUZ, A. B. (1994). Zeólitas. Série Tecnologia Mineral nº 68/CETEM, 1994.
- MALAVOLTA, E. (1981). Manual de Química Agrícola: Adubos e Adubação. 3.Ed. São Paulo: Editora Agrônômica Ceres, 1981. 596 p.
- MALAVOLTA, E. (1992) – O gesso agrícola no ambiente e na nutrição da planta – perguntas e respostas. II Seminário Sobre o Uso do Gesso na Agricultura, IBRAFOS, 1992.
- MARTINS, E. S., OLIVEIRA, C. G., RESENDE, A. V., MATOS, M. S. F. (2008). Agrominerais – Rochas Silicáticas como Fontes Minerais Alternativas de Potássio para Agricultura. In: Rochas e Minerais Industriais – Usos e Especificações, p.205-221, Editores: Adão B. Luz e Fernando Lins.
- MITSUI-Termofosfato Magnésiano Yoorim ([www.fertmitsui.com.br.php?page=produtos/yoorim\\_manual](http://www.fertmitsui.com.br.php?page=produtos/yoorim_manual)).
- MONTE, M. B. M., PAIVA, P. R. P., BERNARDI, A. C. C., WERNECK, C. G., BARROS, F. S., AMORIM, H. S., RESENDE, N. G. A. M., HAIN, P. G. (2004). Teores e extração de N, P e K pelo tomate cultivado em substrato com zeólita. In FERTIBIO, 19-23 de julho, Lages, SC, 4p.
- MONTE, M. B. M., PAIVA, P. R. P., BERNARDI, A. C. C., WERNECK, C. G., BARROS, F. S., AMORIM, H. S., RESENDE, N. G. A. M., HAIN, P. G. (2006). Produção, aparência e teores de nitrogênio, fósforo e potássio em alface cultivado em substrato com zeólita. Comunicação técnica elaborada para a revista Horticultura Brasileira, vol. 23, nº 04, out/dez 2006, rio de Janeiro CETEM, P. 920-924.
- PAÇÔ, I. B., OLIVERIA, S. A. (2009). Eficiência agrônômica de fosfatos de rocha Itafós, utilizados isoladamente ou associados ao superfosfato simples, no oeste da Bahia, para a cultura da soja; Primeiro Congresso Brasileiro de Rochagem, Brasília-DF, setembro/2009, [www.congressorochagem.com.br](http://www.congressorochagem.com.br).
- PAIVA, P. R. P., MONTE, M. B. M., DUARTE, A. C. P., SALIM, H., BARROS, F. S., HAIN, P. G. (2004). Avaliação agrônômica de substratos contendo zeólita enriquecida com nitrogênio, fósforo e potássio. Comunicação Técnica elaborada para o Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa Solos, nº 57, dez. 2004, Rio de Janeiro: CETEM, 5-28
- PAIVA, P. R. P., MONTE, M. B. M., BARROS, F. S., MORIM, H. S., BERNARDI, A. C. C., RESENDE, N. G. A. M. (2005). Composição Mineral Zeolítica, Processos de Modificação e Utilização. PI 0503121-4.

- RESENDE, N. G. A. M., MONTE, M. B. M. PAIVA, P. R. P. (2008). Zeólitas Naturais. In: Rochas e Minerais Industriais – Usos e Especificações, p.889-915, Editores: Adão B. Luz e Fernando Lins.
- SÁ FILHO, R.J. (2006) – Minerais e Agricultura. [www.google.com.br] => Milonitos de Ipirá – Naturalplus.
- SHINTAKU & SHINZAT, (2009). Centro Nacional de Pesquisa de Solos-CNPS da Embrapa, Manual de 1997.
- SILVA, L. H. da C. (1997) - Aspectos econômico-ambientais do uso de fosfogesso na agricultura. Dissertação de Mestrado – UFRJ/COPPE, março de 1997.
- SILVA, M. N., PINHEIRO, L. O. D., LUZ, P. O. (1976). Possibilidades de aproveitamento industrial dos minérios fosfáticos do norte e nordeste do Brasil. In: Anais do IV Encontro de Tratamento de Minérios, São José dos Campos-SP, 2 a 6 de maio de 1976, p.66-74.
- SOUEIRO DA SILVA, A. A. (2009). Caracterização de flogopitito da Bahia para uso como fertilizante alternativo de potássio. Dissertação de Mestrado, Instituto de Química da UFRJ, 73 p.
- SOUZA, C. M. (2005) – O uso do fosfogesso na agricultura. Workshop "Tecnológicos para Reaproveitamento do Fosfogesso", Belo Horizontes, 07/12/2005.
- TAVARES, E. G. B., CASTILHOS, Z. C. LUZ, A. B.; FRANÇA, S. C. A., Cesar, R.G (2009). Potencial de aplicação dos serpentinitos como insumo na agricultura sustentável. XVII Jornada de Iniciação Científica do CETEM. p. 41-470
- THEODORO, Suzy, LEONARDOS O.H. (2006). The use of rock to improve family agriculture in Brazil, Anais Acad. Bras Ciências. 2006 Dec;78(4):721-30.
- THORP, R. & BROWN, G. (1985). The Field Description of Igneous Rocks. Geol. Soc. London, Hand Book Series.
- TOMAZ, C.A. (2006) – The production of phosphoric acid and phosphogypsum by brazilian industries. Seminário Internacional sobre Usos do Fosfogesso, CNEN/CDTN, Belo Horizonte.
- TRATZ, E. B., TOMAZZOLI, E. R. & SILVA, G. N. FILHO (2008) – Utilização agrícola das rochas vulcânicas ácidas tipo Chapecó da província magmática Paraná, em Guarapuava (PR), IV Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados, Foz do Iguaçu, PR-2008.
- UGARTE, J. F., SAMPAIO, J. A., FRANÇA, S. C. A. (2008). Vermiculita. In: Rochas e Minerais Industriais-Usos e Especificações, p.865-887, Editores: Adão B. Luz e Fernando Lins, CETEM.
- UN-Energy - Sustainable Bioenergy: A Framework for Decision Makers [www.fao.org/docrep/].
- Van STRAATEN, P (2007). Agrogeology - The use of Rocks for Crops. Univ. of Guelph, Guelph, Ontario - Canada, 440 p.
- VITTI, G. C. (2006). Nutrição e adubação de cana-de açúcar. III Simpósio de Tecnologia de Produção de Cana-de-Açúcar. ESALQQ-USP

## ANEXO

## Áreas prospectivas para rochas fertilizantes silicatadas multinutrientes

NR	UF	Litoestratigrafia	Localização
11	MA	Anfibolito filito xisto verde	Região Gurupi
12	MA	Biotita monzo granito	Região de Cantão
13	PI	Basalto e diabásio, intrudidos em sedimentos cretáceos da formação Sardinha.	Extremo norte do estado, oeste da rodovia Piracura/Buriti Lopes
14	PI	Biotita, sienito, anfibólio da suíte intrusiva Caboclo.	Entre Queimada Nova e Cel. Jose Dias e ao norte de Curral Novo.
15	PI	Serpentinito e gabro em corpos ultra máficos.	Campo Alegre do Fidalgo.
16	PI	Corpos ultramáficos que bordejam a Bacia do Parnaíba.	Limites do PI com estados de PE, CE e BA
17	CE	Metagabro e meta ultramáficas serpentinizados, meta calcários, rochas calcissilicáticas e ferro magnesianas.	Região de Canindé, Parambu, Independência, Sobral e Amon-tada.
18	CE	Micaxisto grafitoso, anfibolito, rochas calcissilicáticas e ferro magnesianas.	Acopiara, Banabuiu
19	CE	Meta gabro, meta basalto, meta ultra máficas, meta tufos.	Região central do estado, Moim-baça e Pedra Branca.
110	CE	Micaxistos, meta carbonatos, rochas calcissilicáticas, meta ultramáficas, serpentinitos e talco xistos.	Granjeiro e Aurora
211	CE	Suíte ultrapotássica peralcalina com granodiorito a biotita e piroxênio.	Região de Jardim e Brejo Santo
212	CE	Suíte granítica shoshonítica ultra potássica com sienito e piro-xenito,	Região de Jati.
213	RN	Enxame de diques soleiras máficas com anfibolitos portadores de Fe, Ca, Mg, Na e K	Entre São Pedro e Eloi de Souza
214	RN	Gabro, monzonito com biotita, anfibólio e piroxenio	Totoró região de Currais Novos
215	RN	Monzo e sienogranito com biotita, anfibólio e mega cristais de feldspato K	Região de Umarizal, extremo oeste do estado.
216	RN	Basalto e diabásio	Ceará Mirim
217	RN	Diabásio (derrames)	Serra do Cuó, a leste de Açú.
218	RN	Basalto e rochas alcalinas	Próximo a Macau
219	RN	Corpos mataultrabásicos aos quais se associam clorita talco xisto, serpentina tremolita, com flogopita e vermiculita – MgO (26 a 32%) e Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2 a 10%). Produção de talco.	Mina Bonfim em Lajes e entre Ouro Branco e Caicó
220	RN	Flogopita tremolita mármore com calcita (66%), tremolita (10%), flogopita (8%), plagioclásio (8%) e quartzo (5%).	Barra do Rio, a sudoeste de São José do Seridó
321	RN	Rochas carbonatadas em contato com escarnitos hospedeiros de mineralização de xilita, contendo molibdenita, calcita, dolomita, vesuvianita, biotita, epidoto, quartzo, feldspato, turmalina, granada e fluorita Produção de xilita.	Região de Currais Novos
322	PB	Rochas máficas com "skarns" mineralizados em apatita	Região de Sumé
323	PB	Basalto e diques sieníticos ultra potássicos.	Entre Princesa Izabel e Manaíra
324	PB	Serpentinito em rocha ultra máfica	Mãe d'água, na região do Piancó.
325	PB	Rocha ultra máfica com vermiculita como produto de alteração. Mina de vermiculita em atividade.	Na região de Santa Luzia e Casse-rengue.
326	PB	Tufo pórfiro que recobre os sedimentos da formação Gramame	Zona da mata sul do estado.
327	PB	Basalto sob a forma de diques e derrames com tipos vítreos na porção superior.	Região de Boa Vista.
328	PE	Rochas máficas intercaladas com gnaisses mineralizadas em Fe, Cr, Ti	Entre Parnamirim e Bodocó
329	PE	Rochas ultramáficas do complexo Monte Orebe	Município de Afrânio
330	PE	Rocha máfica de composição basáltica.	Região de Pedras Pretas em Floresta.



NR	UF	Litoestratigrafia	Localização
431	PE	Basalto, riolito e tufo na Bacia do Cabo, com teor de até 14% de K <sub>2</sub> O	Cabo e Ipojuca
432	PE	Sienito com biotita e enclaves de rochas máficas.	Alto Pajeú e Bom Jardim.
433	AL	Rocha ultra máfica	Entre Pão de Açúcar e Piranhas.
434	AL	Serpentinito e biotita xisto associados a rochas máficas. Produção de farinha de rocha.	Serrote das Lajes, Jaramataia, noroeste de Arapiraca
435	AL	Sienito com feldspato potássico e biotita.	Entre Limoeiro de Anadia e Jaramataia.
436	SE	Basalto, riolito e diabásio com plagioclásio e material carbonático.	Entre Arauá e Tanque Novo.
437	SE	Gabro, norito em rochas ultra máficas com Cu, Ni, Fe e Ti.	Canindé do São Francisco.
438	SE	Sienito com fragmentos máficos e xenólitos de calcário.	Curituba.
439	BA	Sienito e monzonito	Serra do Catu próximo a Curituba
440	BA	Diabásio	Município de Cel. João Sá
541	BA	Rochas máficas – diabásio e gabro	Região de Curaçá e Caraíba
542	BA	Diabásio e gabro alcalino	Chapada Diamantina
543	BA	Corpos ultra máficos com serpentinito relacionados a pegmatitos e flogopitito encaixante das esmeraldas em exploração.	Serra da Jacobina (Carnaíba e Socotó)
544	BA	Diabásio e gabro	Uauá e Caratacá
545	BA	Corpos máficos e ultra máficos	Vale do Curaçá.
546	BA	Corpos máficos e ultra máficos	Mirabela e Palestina
547	BA	Meta vulcanito máfico com meta dolomito e filito	Baixo rio Salitre
548	BA	Meta vulcanito máfico com meta dolomito e filito	Região de Sobradinho
549	BA	Diabásio, gabro	Brotas de Macaúbas e Vale do Paramirim
550	BA	Sienito peralcalino com biotita, anfibólio, piroxênio	Campo Alegre de Lourdes
651	BA	Carbonatito com albita, apatita, biotita e magnetita	Angico Dias
652	BA	Rochas máficas e ultra máficas com piroxenito e magnetita	Rio do Peixe
653	BA	Rochas ultra máficas mineralizadas em cromita, em produção.	Vale do Jacurici e serra do Cantagalo
654	BA	Meta vulcânicas máficas e calcissilicáticas em <i>greenstone</i> .	Rio Capim
655	BA	Basalto, formação ferrífera, filito em <i>greenstone</i>	Rio Itapicuru
656	BA	Serpentinito, talco xisto em corpos ultra máficos	Açude das Pedras
657	BA	Serpentinito, anfíbolito, talco xisto em corpos ultra básicos, com mineralização de cromo, em exploração.	Campo Formoso
658	BA	Basalto anfíbolitizado e cloritizado em diques máficos.	Entre Juazeiro e Sobradinho.
659	BA	Gabro, piroxenito, ilmenita e apatita em complexo ultra máfico mineralizado com Fe, Ti, V.	Campo Alegre de Lourdes.
660	BA	Complexo metamórfico máfico-ultra máficos, serpentinizados com vermiculita alterada da biotita. Produção de vermiculita.	Brumado

Fonte: Elaboração dos autores. CPRM/CBPM.