

República Federativa do Brasil
Ministério de Minas e Energia
Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
Diretoria de Geologia e Recursos Minerais
Departamento de Recursos Minerais

**INSUMOS MINERAIS PARA AGRICULTURA
E ÁREAS POTENCIAIS NOS ESTADOS DO PARÁ E AMAPÁ**

Nélio das Graças de Andrade da Mata Rezende

Superintendência Regional de Belém
Abril - 2001

EQUIPE TÉCNICA

Geólogo Orlando José Barros de Araújo
Gerente de Recursos Minerais

Geóloga Maria Telma Lins Faraco
Supervisora da Área de Recursos Minerais

Geólogo Nélio das Graças de Andrade da Mata Rezende
Chefe do Projeto e Executor do Informe

Bibliotecária Maria Léa Rebouças de Paula
Referências Bibliográficas

Aux. Adm. Luzanira Prazeres da Silva
Téc. Proc. Dados Tania Keyler Coelho de Argolo
Digitação e Editoração

Editoração final e impressão na Superintendência Regional de Porto Alegre
Coord.: Geól. Luís Edmundo Giffoni
Formatação: Téc. Proc. Gualtério Souto Cássia

Informe de Recursos Minerais - Série Insumos Minerais para Agricultura n.º 10

Ficha Catalográfica

R467 Rezende, Nélio das Graças de Andrade da Mata
Insumos Minerais para Agricultura e Áreas Potenciais nos
Estados do Pará e Amapá – Belém: CPRM, 2001.
57 p. il. + 1 mapa colorido - (Informe de Recursos Minerais -
Série Insumos Minerais para Agricultura, n.º 10).
1. Minerais Industriais.
2. Agricultura.
I. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM.
II. Série.
III. Título.

CDU 553.93
661.635.41

Apresentação

O Informe de Recursos Minerais objetiva sistematizar e divulgar os resultados das atividades técnicas da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM nos campos da geologia econômica, prospecção, pesquisa e economia mineral. Tais resultados são apresentados em diversos tipos de mapas, artigos bibliográficos, relatórios e estudos.

Em função dos temas abordados são distinguidas oito séries de publicações, abaixo relacionadas:

- 1). Série Metais do Grupo da Platina e Associados;
- 2). Série Mapas Temáticos do Ouro, escala 1:250.000;
- 3). Série Ouro - Informes Gerais
- 4). Série Insumos Minerais para Agricultura;
- 5). Série Pedras Preciosas;
- 6). Série Economia Mineral;
- 7). Série Oportunidades Minerais - Exame Atualizado de Projeto;
- 8). Série Diversos.

A aquisição de exemplares deste informe poderá ser efetuada diretamente na Superintendência Regional de Belém ou na Divisão de Documentação Técnica, no Rio de Janeiro.

A agricultura das regiões tropicais, no geral, ainda é marcada por um índice de produtividade aquém de seu potencial, como reflexo direto do baixo padrão tecnológico que a caracteriza. Neste trabalho aborda-se, de forma sintética, os fatores envolvidos na definição de uma tecnologia agrícola regional adequada, com ênfase dedicada ao papel desempenhado pelos insumos minerais, nas suas diversas formas de utilização, isto é, como fertilizantes, ou matéria-prima para a indústria de fertilizantes, e como aditivos (condicionadores ou corretivos) de solos. Faz-se uma análise genérica sobre as fontes geológicas dos nutrientes primários (nitrogênio, fósforo e potássio), nutrientes secundários (cálcio, magnésio e enxofre) e dos micronutrientes (boro, cobre, ferro, manganês, molibdênio, zinco e cobalto), bem como de alguns aditivos de solo (calcário agrícola, gipsita e turfa), além de produtos alternativos como escórias siderúrgicas e material para preparação de farinha de rocha. Traça-se um perfil da potencialidade geológica desses insumos nos estados do Pará e Amapá, com um certo detalhamento dedicado à calagem de solos ácidos e à questão do calcário agrícola no Pará, registrando-se os esforços que vêm sendo desenvolvidos no sentido de reverter o paradoxo de se ter um Estado com imensas reservas, distribuídas em diversos pólos geográficos, e estrategicamente bem localizados, mas que não possui moageiras para atender a demanda do setor agrícola regional.

1 - Introdução

Muito mais que um modismo, desenvolvimento sustentável é um concreto anseio da humanidade no dia de hoje. Objetiva-se com isso, em qualquer empreendimento, conciliar eficiência econômica, justiça social e equilíbrio ambiental na busca de melhores condições de vida para o homem.

Nesse contexto, os rumos de uma agricultura sustentável tem sido uma constante preocupação dos órgãos públicos, entidades da sociedade civil e setores produtivos especialmente na Amazônia, onde ainda é muito efetiva a tradição de **roçar-queimar-plantar-abandonar**. Romper esse ciclo vicioso requer conhecimento, orientação, domínio e aplicação de tecnologia adequada por parte da comunidade agrícola. Para tanto, o uso de insumos minerais desempenha significativo papel.

Este Informe de Recursos Minerais apresenta uma apreciação genérica sobre os insumos minerais usados na agricultura, seja como matéria-prima para a indústria de fertilizantes, seja como aditivos de solo, em termos de sua geologia e da potencialidade da ocorrência de jazimentos nos estados do Pará e Amapá. Esse potencial é apresentado, também, sob a forma de mapa, numa abordagem sintética sobre potássio, rochas fosfáticas, enxofre, calcá-

rio/magnésio, gipsita e turfa, além de material para produção de farinha de rocha. Ênfase especial é dada aos aspectos relativos a calagem de solos, e à privilegiada situação do Estado do Pará quanto à distribuição geográfica dos pólos potencialmente produtores de calcário agrícola.

Adicionalmente, são tecidas algumas considerações sobre a função dos insumos minerais no contexto de uma tecnologia agrícola adequada e uma abordagem resumida sobre o padrão tecnológico da agricultura regional.

Surpreendente, na execução deste trabalho, foi constatar o elevado grau de desinformação existente, entre profissionais das geociências - incluindo geólogos e agrônomos - sobre o papel dos insumos minerais na agricultura e suas especificações. Entre outros, o mais freqüente equívoco é considerar que calcário agrícola tem de ser, necessariamente, magnesiano ou dolomítico.

Na interação com o setor agrícola, a Geologia pode contribuir de forma diversificada, especialmente facilitando a oferta das fontes tradicionais de matéria-prima para fertilizantes e aditivos de solo, bem como indicando fontes alternativas desses insumos.

2 - O Paradoxo da Agricultura Tropical

As regiões tropicais comportam um intrigante paradoxo. Sua agricultura apresenta um dos mais baixos índices de rendimento agrícola, embora possuam um potencial natural de produtividade superior ao de regiões temperadas.

De um modo geral uma floresta tropical produz em 18 anos o que uma de clima temperado leva 100 (relação \cong 1:5), evidenciando, claramente, as melhores condições de produção dos solos tropicais (Franchi, 1997). A elevada produtividade em solos tropicais virgens, isto é, em áreas recém desbravadas atesta esse potencial natural, responsável pela manutenção secular do sistema de cultivo itinerante do tipo roçar-queimar-plantar-abandonar, só voltando a se cultivar a terra após 8 a 20 anos de repouso. Dos mais de 300 mil focos de queimadas registrados anualmente no Brasil, a grande maioria está concentrada na Amazônia: 38% no norte de Mato Grosso, 27% no sul do Pará, 10% no Maranhão e 7% no Tocantins

(EMBRAPA, 2000).

Constata-se, entretanto, que o modelo de agricultura nômade vem sofrendo contínuas transformações, buscando-se consolidar um estágio onde o aumento da produção seja obtido não com o aumento da área plantada, mas, sim, com um incremento na produtividade agrícola. Isso requer, entretanto, o uso de uma tecnologia adequada. Tecnologia importada de regiões temperadas não é apropriada para solos tropicais e deveria ser modificada, conforme densa e excelente argumentação de Primavesi (1982), no livro **Manejo Ecológico do Solo**. O **Quadro I** exemplifica e enfatiza as diferentes características entre solos de regiões tropicais e temperadas, reforçando a idéia de que devem ser tratados de forma diferenciada. Existem centros de excelência em pesquisa agropecuária no Amazônia – a EMBRAPA, por exemplo – onde vêm sendo obtidos avanços significativos na definição das técnicas ideais de cultivo e manejo dos solos tropicais.

QUADRO I - CARACTERÍSTICAS DE SOLOS DE CLIMAS TROPICAL X TEMPERADO

	TROPICAL Predomina caulinita	TEMPERADO Predomina esmectitas
1	Mais profundo	Mais raso
2	Mais intemperizado	Menos intemperizado
3	Baixa CTC (Ca, Mg, K, Na)	Elevada CTC
4	Mais pobre em sílica e mais rico em Al e Fe (óxidos)	Mais rico em sílica e menos em Al e Fe
5	Pouca fixação de K e NH ₄	Apreciável capacidade de fixar K e NH ₄
6	Grande capacidade de fixar P	Baixa capacidade de fixar P
7	Maior capacidade de trocar ânions (P, S, Cl, NO ₃)	Menor capacidade de trocar ânions
8	Mais ácido	Menos ácido
9	É friável	É pegajoso
10	Possui estrutura mais grumosa em estado nativo	Possui estrutura menos grumosa
11	Decompõe rapidamente a matéria orgânica e raramente acumula húmus	Decompõe lentamente a matéria orgânica, podendo acumular húmus em grande quantidade
12	Possui microvida muito ativa	Possui microvida pouco ativa
13	Sofre facilmente a erosão por chuvas torrenciais	Raramente ocorre erosão, devido a chuvas fracas
14	Superaquecimento à insolação direta	É muito frio, necessitando ser aquecido por insolação direta
15	Baixa capacidade de retenção de água	Alta capacidade de retenção de água

Baseado em Primavesi (1982)

3 - Insumos Minerais x Padrão Tecnológico da Agricultura Tropical

Em grandes linhas, o padrão tecnológico da agricultura no Brasil é ainda baixo, mas já vem experimentando avanços animadores em alguns campos, havendo um segmento moderno em expansão, principalmente nas regiões Sul, Sudeste e parte do Centro-Oeste, conforme constatado no Censo Agropecuário 1995 – 1996 (IBGE, 1998a).

Com efeito, a agricultura brasileira caracteriza-se por uma dualidade. Comporta bolsões que utilizam a mais alta tecnologia, com médias de produtividade, para algumas culturas, comparáveis às melho-

res do mundo (soja: 3,5 t/ha; milho: 10 t/ha; arroz: 6 t/ha e feijão: 2,8 t/ha). A atividade de subsistência, por outro lado, mostra níveis baixíssimos de produtividade, com utilização de uma agricultura medíocre (Lopes, 1996), não competitiva.

A desigualdade nas características tecnológicas da agricultura empregada na região Norte, em relação ao padrão médio brasileiro é bem latente (**Quadro II**) e está traduzida na produtividade diferenciada, conforme espelhado no **Quadro III**, para alguns produtos básicos da lavoura.

QUADRO II - ALGUNS INDICADORES DO CONTEXTO TECNOLÓGICO DA AGRICULTURA NA AMAZÔNIA

Dados em % dos estabelecimentos visitados

Indicadores	PA	AP	AM	TO	AC	RR	RO	BRASIL	Observações
Mecanização	1,7	1,3	0,4	10,3	1,2	3,2	3,3	10,5	Possuem tratores
Uso de fertilizantes	11,2	12,4	5,5	14,7	2,9	13,8	7,2	44,6	Usaram fertilizantes
Uso de Corretivos de Solo	0,8	1,5	0,4	1,8	0,13	3,1	0,6	15,1	Usaram corretivos
Assistência Técnica	3,8	17,8	6,1	12,8	7,2	8,1	10	19,5	Recorreram à Assistência Técnica
Energia	7,0	17,0	6,1	11,1	12,2	17,0	23,5	40	Ligados a fonte de energia elétrica
Crédito Agrícola	2,5	1,0	1,8	3,0	2,1	8,7	3,3	5,2	Tomaram recursos emprestados
Irrigação	0,5	1,8	0,1	1,3	0,5	3,6	0,9	5,9	Utilizam essa tecnologia
Padrão Tecnológico	B A I X O							Variado	

Fontes: IBGE (1998a,b,c,d,e,f)

Os indicadores apontados no **Quadro II** são apenas alguns fatores que influenciam na definição de uma tecnologia agrícola para determinada região. A **Figura 1** sintetiza um leque bem mais amplo de parâmetros interativos, e em muitos dos quais o conhecimento da geologia pode contribuir de maneira positiva.

Os insumos minerais são fatores críticos na agricultura da Amazônia. O uso

de fertilizantes, por empreendimento agrícola, é da ordem de apenas 25% da média nacional.

No tocante aos corretivos de solo, esses valores caem, no geral, para menos de 10% dessa média, com a agravante de que parte dos agricultores que fazem uso de fertilizantes e/ou corretivos de solo, fazem-no sem orientação técnica, utilizando-os de forma inadequada.

QUADRO III – RENDIMENTO DE ALGUNS PRODUTOS BÁSICOS DE LAVOURA (KG/HA)

		Cultura			
		Arroz	Feijão	Mandioca	Milho
Região Norte	PA	13,82	542	14.348	1476
	AP	796	457	9715	708
	AC	1459	524	16.753	1471
	AM	1917	837	10.152	1466
	RR	3281	300	13.000	1300
	RO	1562	607	15.625	1588
	TO	2604	242	14.785	1726
	Média	1798	610	14.478	1517
Valores de Referência	Região Nordeste	1583	486	9.885	1057
	Região Sudeste	1904	870	15.220	3.276
	Região Sul	5481	860	18.355	3.225
	Região C. Oeste	2383	679	13202	2760
	Brasil	3068	679	13202	2760
	Mundo	3689	659	10.084	3776
Melhores Índices	Brasil	SC 5999	PR 1171	SP 21.803	GO 4713
	Pará (2)	Ananindeua 3400	Novo Prog 1252	Tucumã Bannach 3000	Bannach 3000

Fontes: (1) FAO Production Yearbook – 1995
 (2) Pará (1998)
 Demais dados referem-se à safra de 1999 9IBGE,2000)

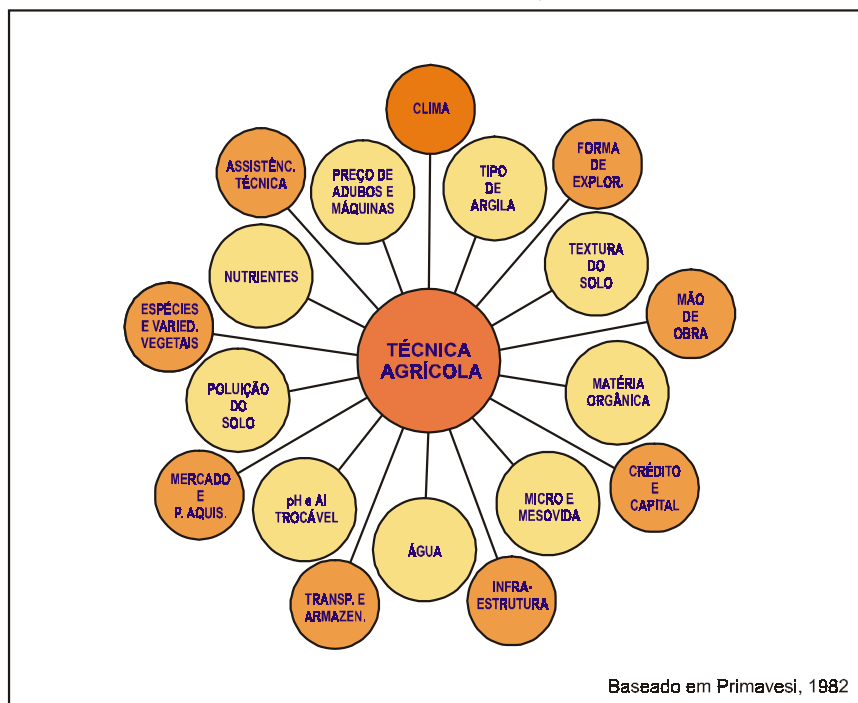


Figura 1 - Fatores que influenciam na formação da tecnologia agrícola de uma região.

As causas para essa realidade são múltiplas e algumas delas decorrem de limitações existentes em outros indicadores apontados. Entre os fatores que contribuem para o baixo uso de fertilizantes e corretivos de solo no Pará e Amapá, pode-se listar:

- elevado preço dos fertilizantes, todos importados.
- elevado preço do calcário para corretivo de solo. O Pará dispõe de significativas reservas desse insumo, distribuídas em diversos pólos geográficos do Estado, porém ainda não produz pó calcário, de imperiosa aplicação em quase todas as culturas na região. O preço do produto importado de outras regiões é onerado pelo custo do transporte.
- inexistência de um zoneamento agroecológico regional que possa orientar a definição da tecnologia agrícola mais adequada para cada porção do território;
- carência de assistência técnica ao agricultor, para conscientizá-lo da importância

do uso de adubos e corretivos de solo;

- limitações de acesso a crédito, aos agricultores, para implantação, desenvolvimento e expansão de suas atividades.

Constata-se, assim, que a solução para o problema deverá integrar, necessariamente, uma cadeia multi-profissional e multi-institucional dos setores envolvidos na política agrícola regional.

Especificamente quanto à questão do calcário agrícola no Pará, algumas ações têm sido desenvolvidas recentemente, sob a coordenação do Governo do Estado, buscando a caracterização mais precisa dos depósitos de calcário, com objetivo de estimular a implantação de unidades moageiras. Essas ações incluem os trabalhos visando à avaliação de depósitos conhecidos na região SE do Estado (PARAMINÉRIOS/CPRM, 1999a; PARAMINÉRIOS/CPRM, 1999b) e a conseqüente, e recente, parceria do Governo do Estado com a CVRD para dimensionamento e exploração do depósito de calcário em Palestina, naquela região (Nunes, 2000).

4 - Insumos Minerais x Agricultura Desenvolvida

O calcário, mesmo sendo um insumo barato ainda não faz parte dos hábitos de cultivo da grande massa de agricultores. AGROCERES (1996)

As plantas obtêm nutrientes tanto do ar como do solo. O dióxido de carbono (gás carbônico – CO₂) da atmosfera supre o carbono que, em geral, representa mais de 50% da estrutura do vegetal. Esse composto pode também ser encontrado dissolvido na água do solo.

A água é outro componente crítico para a vida vegetal. As plantas usam mais água que qualquer outro ser vivo. Ela é a fonte de hidrogênio e oxigênio, bem como comporta, dissolvidos, os nutrientes minerais extraídos do solo, além de algum CO₂, que serão absorvidos através da raiz.

Além de carbono, hidrogênio e oxigênio, os demais nutrientes essenciais às plantas são classificados como:

- **Nutrientes Primários:** nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K)
- **Nutrientes Secundários:** cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S)
- **Micronutrientes:** boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), zinco (Zn) e cobalto (Co).

Essa classificação está baseada na quantidade de nutrientes utilizada pelas plantas e depende de sua função ou grau de necessidade (Harre & Mortvedt, 1994). As plantas requerem uma quantidade balanceada de nutrientes, nem sempre disponível no solo. A carência de qualquer nutri-

ente essencial balizará a produtividade da colheita, conforme sentença a famosa **Lei do Mínimo**, ou **Lei de Sprengel-Liebig** (Ploeg et al., 1999), simbolicamente representada na **Figura 2**.

De maneira geral, a disponibilidade desses componentes no solo não está balanceada com as necessidades da planta, e o próprio solo requer um preparo prévio. A função de uma agricultura desenvolvida é colaborar com a natureza, que fornece gratuitamente o gás carbônico (CO₂), a água (H₂O) e a energia solar necessários ao processo da fotossíntese (Lopes, 1996) (**Figura 3**).

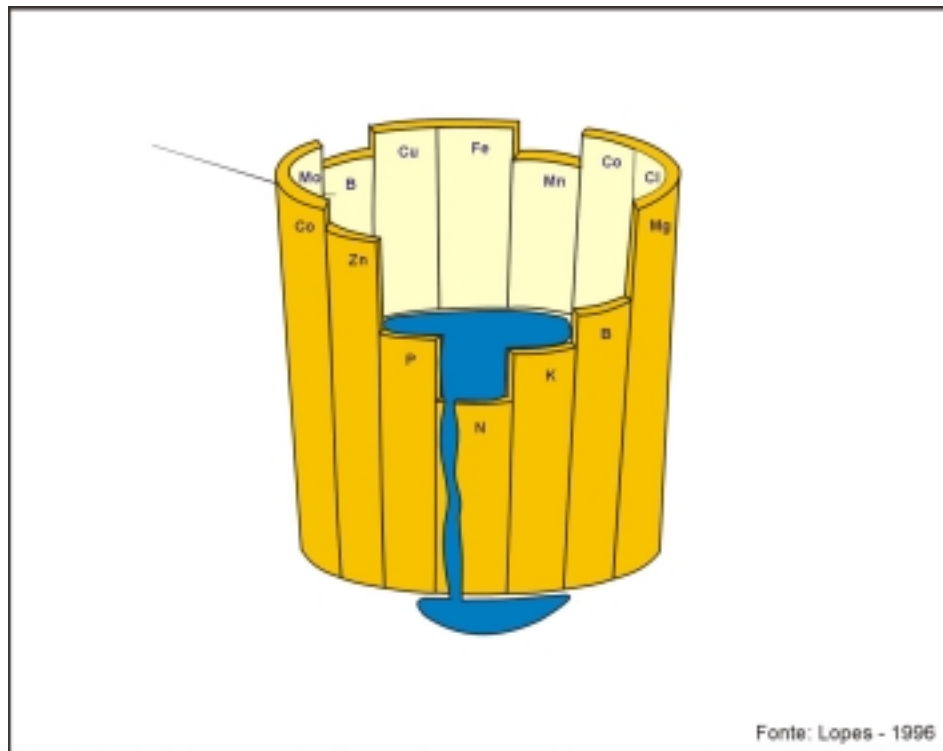
Diversos bens minerais desempenham um papel importante para a agricultura, quer como insumos para a indústria de fertilizantes, quer como aditivos de solo. Como **fertilizantes**, fornecendo nutrientes às plantas. Como **aditivos** (corretivos ou condicionadores), na preparação de solos que demandem um tratamento especial para alterar suas características físicas, otimizar a ação microbiana e/ou modificar o pH.

Ganhos superiores a 300% foram obtidos na produção de forrageira apenas com adubação e manejo, sem queimadas, no Pará (EMBRAPA, 2000). A utilização de adubos e calcário tem-se traduzido em significativos incrementos de produtividade, conforme demonstrado no **Quadro IV**.

QUADRO IV - GANHO DE PRODUTIVIDADE (OPERAÇÃO TATU NO RS)

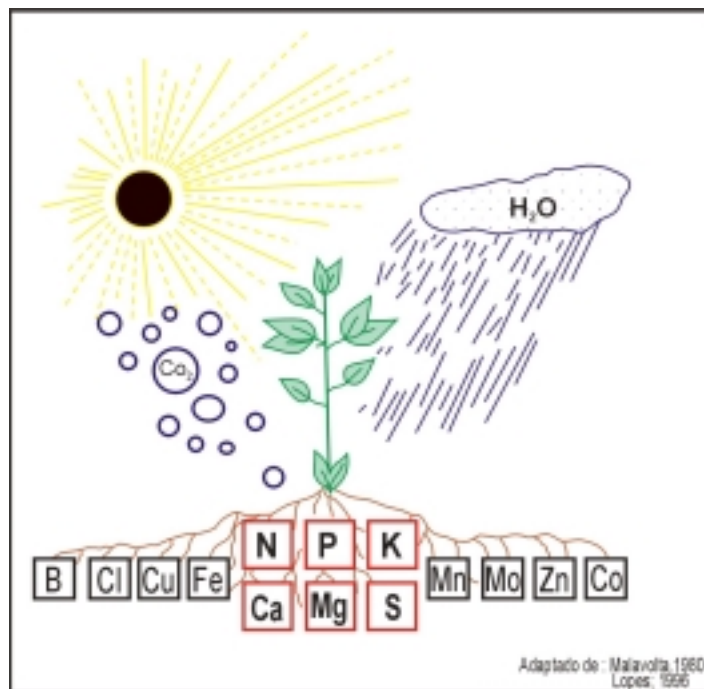
Cultura	Rendimento – kg / hectare			Efeito Calagem (%)
	Média / Estado	Com adubo	Adubo + calcário	
Milho	1.100	5.190	6.560	26
Trigo	900	1.500	2.000	33
Soja	1.200	2.500	3.200	28
Forragem	2.000	4.000	12.000	200

Fonte: Malavolta. (In: Becker, 1996)



Fonte: Lopes - 1996

Figura 2 - A Lei do Mínimo: O rendimento de uma colheita é limitado pela ausência de qualquer um dos nutrientes essenciais, mesmo que todos os demais estejam disponíveis em quantidades adequadas.



Adaptado de: Malavolta, 1980
Lopes, 1996

Figura 3 - A função de uma agricultura desenvolvida é colaborar com a natureza

Entretanto, a utilização desses insumos transcendem os aspectos de melhoria do rendimento agrícola, uma vez que o aumento de produtividade tem efeitos positivos de caráter social e ambiental, como enfatizado por Lopes (1996) que destaca, entre outros fatores:

- a contribuição ao crescimento econômico do país;
- a redução nas importações de produtos que vinham sendo importados;
- aumento da disponibilidade regional de produtos agrícolas, elevando a renda

e reduzindo os custos da alimentação para os consumidores;

- aumento da produção sem necessidade de incorporar novas áreas de plantio, o que favorece uma redução no desmatamento de áreas virgens;
- efeitos ambientais praticamente inexistentes, em condições de uso adequado.

Em síntese, o uso de adubos e corretivos contribui significativamente para uma agricultura sustentável, onde o lucro do agricultor caminha lado a lado com o equilíbrio ambiental.

5 - Fertilizantes

São fontes complementares de nutrientes às plantas. Entretanto, nem toda fonte de nutriente mineral contém esses nutrientes em condições de assimilação pelo vegetal. Nesses casos há necessidade

de um processamento industrial para adequar o seu emprego como fertilizante. O **Quadro V** sintetiza as principais fontes desses nutrientes e suas principais associações geológicas, quando naturais.

QUADRO V - NUTRIENTES

		Principais Fontes Naturais	Associação Geológica
PRIMÁRIOS	N	Orgânicas: Guano / turfa Inorgânicas: nitrato de sódio - Na NO ₃	Guano / turfeiras Evaporitos continentais
	P	Rochas fosfáticas Exemplo: Rx. Fosfática + H ₂ SO ₄ → Superfosfato + Ca SO ₄ .2H ₂ O	Complexos alcalino-carbonatíticos Fosforitos Guano
	K	Silvinita [silvita (KCl)+halita (NaCl)] Carnalita - ClMgCl ₂ .6H ₂ O Langbeinita - K ₂ SO ₄ .2MgSO ₄	Evaporitos
SECUNDÁRIOS	Ca	Calcita - CaCO ₃ , Dolomita - Ca Mg (CO ₃) ₂ Gipsita - CaSO ₄ .2H ₂ O	Plataformas carbonáticas Evaporitos
	Mg	Solúveis: Langbeinita - K ₂ SO ₄ .2MgSO ₄ Kieserita - MgSO ₄ .H ₂ O Epsomita - MgSO ₄ .7HO	Evaporitos
		Parcialmente solúveis: Dolomita - Ca Mg (CO ₃) ₂ Magnesita - Mg CO ₃ Brucita - Mg (OH) ₂ Periclásio - Mg O	Plataformas carbonáticas Outros
	S	Langbeinita - K ₂ SO ₄ .2Mg SO ₄ Gipsita - Ca SO ₄ .2H ₂ O) Enxofre nativo	Evaporitos Evaporitos Evaporitos + Hidrocarbonetos
Micronutrientes : Cl, B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, Co (Fontes diversas)			

5.1 - Nitrogênio

É o mais consumido dos fertilizantes. Praticamente todos os solos são deficientes em nitrogênio. Os adubos nitrogenados podem provir de fontes orgânicas e inorgânicas, naturais ou sintéticas (**Quadro VI**).

Outras fontes orgânicas incluem esterco animal e guano, hoje pouco importantes sob o ponto de vista de comercialização. O esterco, incluindo a cama-de-aviário, ainda é de uso efetivo, especialmente em áreas próximas de seu local de produção, não só pelo significativo conteúdo de nitrogênio, mas como uma alternativa prática para destinação desse resíduo ani-

mal. Guano são depósitos formados por dejetos e restos de aves em certas ilhas oceânicas e contém cerca de 13% de nitrogênio e 9% de fósforo.

5.2 - Fósforo

5.2.1 - Generalidades

A aplicação de fósforo no solo requer cuidados especiais com pH, cuja variação ideal é de 6,0 a 7,2. Em solos mais ácidos, como é o caso dos solos predominantes na Amazônia, o fósforo é aprisionado em compostos de ferro e alumínio. Em pH mais alcalinos, o fósforo fica indisponível às plantas, por reagir com o cálcio, formando fosfato de cálcio, insolúvel.

QUADRO VI – CARACTERÍSTICAS DAS PRINCIPAIS FONTES DE NITROGÊNIO

Origem	Produto	Conteúdo de Nitrogênio(%)	Matéria-Prima / Observações
I N O R G Â N I C A	Amônia Anidra NH ₃	82	Produzida a partir de gás natural ou derivados de petróleo
	Nitrato de Amônia NH ₄ NO ₃	33-34	Amônia e ácido nítrico
	Nitrato de Cálcio Ca(NO ₃) ₂	15	Amônia e ácido nítrico
	Sulfato de Amônia (NH ₄) ₂ SO ₄	21	Amônia anidra e ácido sulfúrico
	Fosfato de Diamônio (DAP) (NH ₄) ₂ HPO ₄	21	Produto binário. Fonte também de fósforo. Matéria-prima: amônia anidra e ácido fosfórico
	Fosfato de Monoamônio (MAP) NH ₄ H ₂ PO ₄	13-14	Produto binário. Fonte também de fósforo. Matéria-prima: amônia anidra e ácido fosfórico
	Nitrato de Potássio KNO ₃	13-15	
ORGÂNICA	Nitrato de Sódio NaNO ₃ Uréia NH ₂ CO NH ₂	45-46	Evaporito de ambiente continental, como nos depósitos do deserto de Atacama, no Chile.

Fontes: Harre & Mortvedt (1994); Reis (1997)

5.2.2 - Fertilizantes fosfáticos e matérias-primas

Os fertilizantes fosfatados são obti-

dos, em geral, a partir do processamento industrial de rochas fosfáticas, conforme mostrado no **Quadro VII**.

QUADRO VII – PRINCIPAIS FERTILIZANTES FOSFATADOS E RESPECTIVAS MATÉRIAS-PRIMAS

Produto	Composição	Matéria-prima / Observações
Superfosfato Simples	Ca(H ₂ PO ₄) . H ₂ O + CaSO ₄ . 2H ₂ O	Rocha fosfática e ácido sulfúrico
Superfosfato Triplo	Ca (H ₂ PO ₄) ₂ .H ₂ O	Concentrado fosfático e ácido fosfórico; Há formação de fosfogesso como subproduto
Termofosfato	Variada	Rocha fosfática
Fosfato de Monoamônio (MAP)	NH ₄ H ₂ PO ₄	Produto binário. É fonte, também, de nitrogênio. As matérias-primas são amônia anidra e ácido fosfórico
Fosfato de Diamônio (DAP)	(NH ₄) ₂ HPO ₄	Produto binário. É fonte, também, de nitrogênio. As matérias-primas são amônia anidra e ácido fosfórico
Fosfato Parcialmente Acidulado	Variada	Rocha fosfática e ácido sulfúrico

Fontes: Harre & Mortvedt (1994); Reis (1997)

5.2.3 - Termofosfatos

A nível regional, merece ser considerada com atenção a possibilidade de produção de termofosfatos magnesianos. São fertilizantes produzidos através da fusão de rochas fosfáticas misturadas com outros tipos de rochas como dunito, serpentinito, calcário e arenito, sendo a composição das rochas fosfáticas mais flexível que as exigidas para obtenção de fertilizantes nobres pela via ácida.

Além dessa flexibilidade e da eficiência agronômica elevada, os termofosfatos apresentam as seguintes vantagens, listadas por Castro et al. (1991):

- são insolúveis em água, mas solúveis em solução do solo, proporcionando uma liberação gradual do nutriente às plantas;
- disponibilidade de cálcio e magnésio, além de micronutriente, que podem ser incorporados diretamente ao termofosfato, em proporções previamente estabelecidas;
- reação alcalina, com valor de pH ao redor de 8, tornando, muitas vezes, desnecessária a calagem;
- insolubilização do Fe^{3+} e Al^{3+} .

Entre as desvantagens são referidos o alto consumo energético requerido para sua produção, a tecnologia sofisticada quanto a operação de fusão, e a apresentação do produto, em pó, o que dificulta sua aplicação no solo (Guardani, 1987; Goedert et al., 1986).

5.2.4 - Fosfatos no Pará e Amapá

Os jazimentos mais conhecidos de fosfato no Brasil estão relacionados a cinco ambientes geológicos principais, listados a seguir (CPRM, 1997):

- a) **Magmático**, associado a complexos alcalino-carbonatíticos mesozóicos, incluindo os jazimentos residuais supergênicos, decorrentes de processos de laterização desses complexos;
- b) **Metassedimentar**, nas bacias intracratônicas proterozóicas;

- c) **Sedimentogênico**, nas bacias marginais mesozóicas;
- d) **Ortometamórfico**, em complexos alcalino-carbonatíticos metamorfisados do Proterozóico, incluindo também os jazimentos residuais, decorrentes de processo supergênico de laterização sobre esses complexos;
- e) **Orgânico**, constituído de excremento de aves (guano). Este é pouco importante sob o ponto de vista comercial.

A potencialidade dos estados do Pará e Amapá está sintetizada no **Anexo I**. Várias ambiências são consideradas favoráveis, destacando-se a mineralização associada a complexos alcalino-carbonatíticos, como exemplificado pelo depósito de Maicuru (PA). Outros contextos geológicos incluem os depósitos de fosfatos aluminosos do NE do Pará/NW do Maranhão; os folhelhos pretos, devonianos, da Bacia do Amazonas; as seqüências sedimentares/metassedimentares, proterozóicas, do Grupo Beneficente, e unidades da Faixa Araguaia.

5.2.4.1 - Complexos Alcalino-Carbonatíticos

5.2.4.1.1 - Serra do Maicuru

Até o momento, o maior depósito de fosfato já descoberto na Amazônia é o Complexo Alcalino-Ultrabásico-Carbonatítico de Maicuru. Trata-se de um corpo de forma aproximadamente elíptica, com o diâmetro maior medindo cerca de 8 km (**Foto 1**), localizado no município de Monte Alegre, na divisa com Almeirim, no Estado do Pará (Pastana, 1999). Esse autor faz uma retrospectiva da evolução do conhecimento geológico sobre o Complexo do Maicuru, reportando-se aos trabalhos de Araújo et al. (1976), Lemos et al. (1988), Lemos & Costa (1989), Angélica (1991) e Castro et al. (1991), destacando a importância dessa estrutura geológica como potencial fornecedora de fosfato para a indústria de fertilizante.

Entre os litótipos encontrados nes-



Foto 1 – Serra do Maicuru. Complexo alcalino-ultrabásico Carbonatítico constituído por dunitos, piroxenitos, sienitos traquitos e carbonatito. Fonte: Pastana (1999). Tratamento da imagem: geólogo Arminio Vale (CPRM)

se Complexo tem-se dunito, piroxenito, sienito, traquito, carbonatito, apatitito e arenito, recobertos por uma crosta laterítica enriquecida em fosfato e titânio.

As reservas de fosfato estão estimadas em 200 milhões de toneladas de minério com teor médio de 15%. A porção central da estrutura está ricamente mineralizada em apatita, que chega a formar veios de dezenas de metros, segundo Castro et al. (1991), que apresentam um relato de experimentações para produção de termostato magnésiano fundido a partir de

matéria-prima proveniente desse depósito.

5.2.4.1.2 - Outros corpos no Pará e no Amapá

Diversos corpos de natureza predominantemente alcalina já foram identificados no Escudo das Guianas e no Cráton do Guaporé, alguns dos quais são reconhecidamente complexos alcalino-carbonatíticos, como os complexos de Maicuru, Mutum e Maraconaí. O **Quadro VIII** lista alguns desses corpos localizados no Pará e Amapá.

QUADRO VIII – PRINCIPAIS COMPLEXOS ALCALINO E ALCALINO-CARBONATÍICOS DO PARÁ E AMAPÁ

Nome	UF	Localização aproximada	
		Latitude	Longitude
Boca Nova	P A R Á	01°51'S	47°02'W
Maraconáí		00°32'S	53°24'W
Apupariu		00°11'N	53°52'W
Maicuru		00°30'S	54°14'W
Erepecuru		01°05'N	55°40'W
Cachorro		00°30'N	57°40'W
Mutum		01°52'N	57°25'W
Mapari		AMAPÁ	01° 30' N

Fonte: Rodrigues & Lima (1984)

5.2.4.2 - Fosfatos aluminosos do Nordeste do Pará

5.2.4.2.1 - Generalidades

Há muito são conhecidas as acumulações de fosfatos aluminosos no NE do Pará e NW do Maranhão. Até meados do século passado a reserva de fosfatos de alumínio da Ilha Trauíra, na costa do Maranhão, era considerada como a única grande reserva fosfática do Brasil.

Dos quatorze (14) depósitos hoje conhecidos, oito (8) localizam-se no Pará (Sapucaia – Boa Vista, Jandiá, Santa Luzia, Cansa Perna, Piriá, Barreira, Peito de Moça e Itacupim); os demais, no Maranhão (Pedra Grande, Tromaí, Jacaré, Pirocaua, Tralhoto e Trauíra).

5.2.4.2.2 - Condicionamento geológico

Tratam-se de concentrações formadas por processos supergênicos de enriquecimento, pelo intemperismo de diferentes tipos de rocha (básicas, metabásicas, metaultrabásicas, filitos e xistos variegados, além de sedimentos areno-argiloso) que já continham um teor algo elevado de fósforo (Oliveira & Costa, 1984). A **Figura 4** mostra um perfil esquemático genérico desses depósitos. Embora a associação mineralógica possa variar de um depósito para outro, entre os oxi-hidróxidos predominam a hematita, a goethita, a gibbsita e o anatásio. Entre os fosfatos encontra-se crandallita-goyazita, variscita, wardita, augelita, wavelita, senegalita, dufrenita e mitridatita.

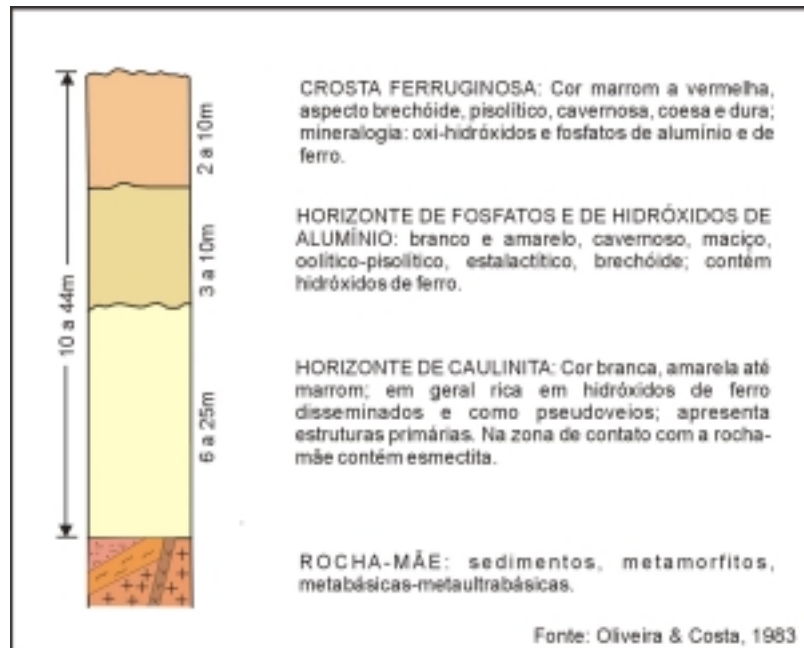


Figura 4 - Perfil esquemático dos depósitos de fosfatos aluminosos NE do Pará e NW do Maranhão.

5.2.4.2.3 - Eficiência agrônômica

A baixa solubilidade dos fosfatos aluminosos não recomenda sua utilização *in natura* como adubo, uma vez que não liberam o fósforo para as plantas. De acordo com Oliveira & Costa (1984), pesquisas efetuadas por Feigl et al. (1946) e Monteiro & Oliveira (1982) indicaram que após calcinação, a temperaturas entre 600 e 1000°C, esses fosfatos têm sua solubilidade subs-

tancialmente aumentada. Pesquisas de campo conduzidas pela EMBRAPA, no cultivo de milho, empregando diferentes dosagens do fosfato aluminoso calcinado, de fosfato apatítico de Araxá e de superfosfato triplo, demonstraram que os rendimentos obtidos com os fosfatos aluminosos calcinados são superiores ao do minério de Araxá e, em alguns casos, próximos ao do superfosfato triplo. Os resultados desse experimento são mostrados no **Quadro IX**.

QUADRO IX - RENDIMENTOS OBTIDOS COM A APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE FOSFATO DE ARAXÁ, DE FOSFATOS ALUMINOSOS CALCINADOS E DE SUPERFOSFATOS, EM LATOSSOLO AMARELO

		Doses P ₂ O ₅ (kg/ha)	0	200	400	600
RENDIMENTO (kg/ha)	Superfosfato	1º Plantio		4.549	5.235	4.655
		3º Plantio		3.010	2.777	3.181
	Pirocaua	1º Plantio		3.956	4.178	4.533
		3º Plantio		1.974	2.284	2.620
	Jandiá	1º Plantio		4.328	3.830	4.413
		3º Plantio		2.079	2.467	2.075
	Tauíra Sup.	1º Plantio		3.675	4.454	4.488
		3º Plantio		2.133	2.143	1.566
	Trauíra Inf.	1º Plantio		4.031	3.878	4.340
		3º Plantio		2.479	2.185	2.058
	Itacupim	1º Plantio		3.995	4.069	---
		3º Plantio		1.530	2.050	---
	Araxá	1º Plantio		3.734	2.842	---
		3º Plantio		1.983	2.270	---
	Testemunha	1º Plantio	1.778	---	---	---
		3º Plantio	1.646	---	---	---

"Testemunha" é o solo que não recebeu adubação fosfatada. "Trauíra Superior" é o sub-horizonte rico em crandallita e "Trauíra Inferior" sub-horizonte rico em wardita do depósito de Trauíra. (n.d.) significa: não determinado. Adaptado de Oliveira & Costa (1984) e calculado a partir dos dados apresentados por Souza Cruz et al. (1986)

Além do rendimento elevado, os pesquisadores constataram ainda elevados índices de eficiência agrônômica para esses fosfatos aluminosos, e caracterizaram, também, um certo efeito residual em cultivos sucessivos de milho e caupi (feijão). A aplicação de fosfatos aluminosos calcinados, proveniente do depósito de Boa Vista, em plantio de laranja na região de Capitão Poço (PA), confirmou a eficiência agrônômica e o efeito residual desses insumos (Ariolino Neres Souza, informação verbal, 2001). Braun (1983a) chama a atenção

para a adequabilidade do fosfato de alumínio calcinado para uso em solos de pH na faixa neutra a alcalina, como os encontrados na região semi-árida do Nordeste.

5.2.4.2.4 - Reservas

Apenas Itacupim possui reservas x teores compatíveis a um empreendimento de escala industrial. Em Piriá, Barreira e Peito de Moça os teores médios de P₂O₅ são muito baixos (**Quadro X**).

QUADRO X - RESERVAS ESTIMADAS DOS DEPÓSITOS DE FOSFATOS ALUMINOSOS LOCALIZADOS NO NE DO PARÁ

Designação local	Reservas estimadas (t)	Teores de P ₂ O ₅ (%)
Itacupim	4 - 6 x 10 ⁶	8 a 20
Sapucaia - Boa Vista	< 100.000	27
Jandiá	< 100.000	25
Santa Luzia	< 100.000	16
Cansa Perna	< 100.000	25
Piriá	4 - 6 x 10 ⁶	0,9 a 4,2
Barreira	< 100.000	6,5
Peito de Moça	< 100.000	4

Fonte: Oliveira & Costa (1984)

5.2.4.2.5 - Industrialização

Braun (1983a) fez uma interessante retrospectiva histórica sobre as tentativas iniciais de aproveitamento do minério daquela região, resumidas nas seguintes tecnologias:

- calcinação e sinterização (Feigl et al., 1946), gerando um produto com apreciável solubilidade em solução alcalina de citrato de amônio. (Década de 1940);
- redução a fósforo elementar em forno elétrico, com uso de carvão ou coque. (Década de 1940);

c) solubilização alcalina e separação da alumina, para produção de fosfato de cálcio. (Década de 1940);

d) tratamento térmico em forno rotativo gerando produtos fosfatados para fertilizantes e suplementos de ração animal. (Década de 1970).

Nessa retrospectiva, Braun menciona o caráter reservado que envolveu esses estudos, desconhecendo-se os motivos pelos quais não foram levados adiante alguns desses projetos. Enfatiza, também, o impedimento do minério ser usado economicamente para produção de ácido fosfórico, através de solubilização sulfúrica, devido à concomitante solubilização do alumínio. Analisa, ainda, as exigências legais sobre comercialização de termofosfatos, especificamente quanto à solubilidade, que praticamente alijam os fosfatos aluminosos calcinados do mercado.

Oliveira & Costa (1984) endossam o emprego da calcinação como recurso de beneficiamento e consideram que depósitos menores, como Jandiá, Sapucaia-Boa Vista, Santa Luzia e Cansa Perna, poderiam ser tratados de forma artesanal, com uso de fornos rudimentares. De fato, essa estratégia poderia atender à demanda local, neutralizando situações pouco compreensíveis, sob o ponto de vista técnico, que fazem com que o agricultor, próximo a um jazimento de fosfato, tenha de utilizar em sua terra (quando utiliza) um adubo que viaja milhares de quilômetros, como destacado por Braun (1983b).

5.2.4.3 - Fosfatos sedimentares

5.2.4.3.1 - Generalidades

Mais de 80% dos depósitos econômicos de fosfatos do mundo ocorrem em rochas sedimentares, genericamente conhecidas como fosforitos (ou fosforitas), com teores de P_2O_5 oscilando entre 5 e 35%. O principal mineral econômico nesses depósitos é a fluorapatita criptocristalina – $Ca_5(PO_4)_3(F,CO_3)$, normalmente designada de colofana. A maior parte dos fosforitos está associada com folhelhos pretos, cherts e rochas carbonáticas. Os depósitos mais produtivos estão localizados no Norte da África (Marrocos, Argélia, Tunísia e Egito), cujas idades variam do Cretáceo Superior

ao Eoceno. Entretanto, os de maior área de distribuição estão nos Estados Unidos na *Phosphoria Formation*, de idade permiana (Blatt et al., 1991). No Brasil, há depósitos dimensionados no litoral da região Nordeste, conhecidos como os *fosforitos de Olin-da*.

5.2.4.3.2 - Condicionamento geológico

A origem desses jazimentos é controversa. Há uma tendência generalizada de associá-los a correntes marinhas ascendentes (*upwelling*), frias e ricas em fosfato e outros nutrientes, de acordo com o modelamento inicialmente proposto por Kazakov (1937), e em contínuo processo de aperfeiçoamento, conforme analisado por Cook (1976) e Sheldon (1981). Entretanto, a constatação de que muitos depósitos de fosforitos estão associados com períodos de grandes transgressões marinhas (Strakhov, 1960; Mitchell & Gorson, 1981), sugere a possibilidade de um controle tectônico para alguns desses fosforitos, entre os quais os da *Phosphoria Formation* (Blatt et al., 1991). Com efeito, o afogamento de plataformas rasas pode resultar em elevadas taxas de produtividade orgânica no ambiente redutor gerado pela expansão da *zona de mínimo oxigênio*, conforme esquematizado na **Figura 5**. Os folhelhos pretos desse ambiente estão, geralmente, enriquecidos em P_2O_5 (Didyk et al., 1978).

A porção explotada da *Phosphoria Formation* é a zona intemperizada, com um enriquecimento residual devido à lixiviação de fases minerais mais solúveis, como os carbonatos. Exemplos análogos ocorrem em depósitos do Tennessee e Alabama, nos Estados Unidos (Altshchuler, 1973).

5.2.4.3.3 - Fosfatos em folhelhos pretos da Bacia do Amazonas

Diversas concentrações elevadas de P_2O_5 nos folhelhos pretos de Formação Curuá foram registradas no flanco sul da Bacia Intracratônica do Amazonas, envolvendo teores de até 19% (Macambira et al. 1977; Macambira, 1978).

A deposição da Formação Curuá processou-se durante o máximo da trans-

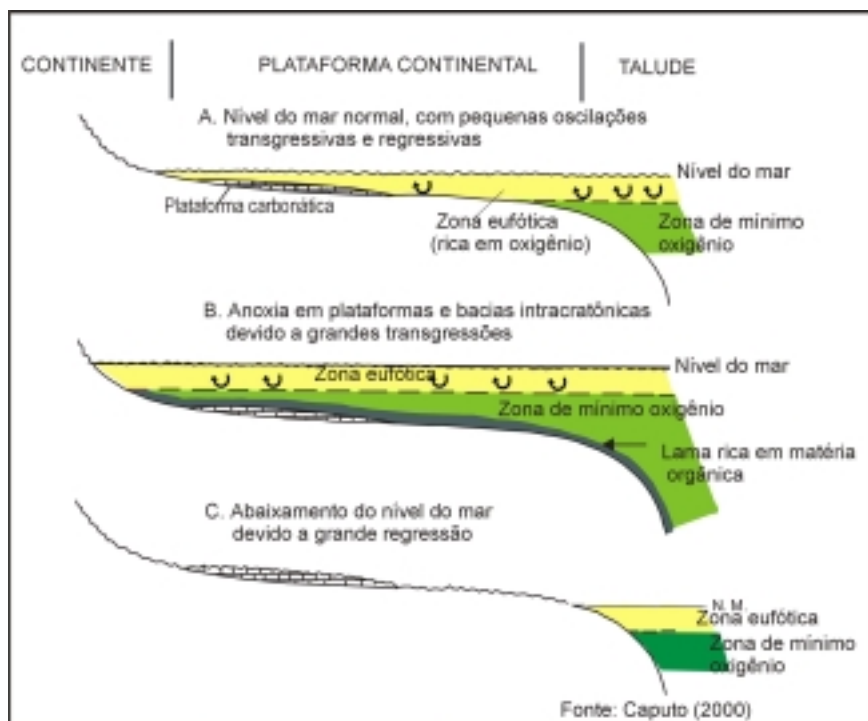


Figura 5 - Modelo de anoxia sem vinculação a ambiente confinado

gressão marinha devoniana naquela bacia, favorecendo a acumulação de matéria orgânica, com fosfato associado, conforme o modelo idealizado na **Figura 5**.

A área de ocorrência desse metalotecto é muito extensa, com distribuição nas duas bordas da bacia. Os registros anômalos foram obtidos em amostras não intemperizadas de folhelhos. O potencial de aproveitamento dessas mineralizações merece ser investigado:

- a) sob a vertente geológica, buscando-se, inclusive, zonas intemperizadas portadoras de enriquecimento secundário;
- b) sob o ponto de vista de sua eficiência agrônômica; e
- c) quanto a possíveis processos de beneficiamento como termofosfatos ou matéria-prima para indústria de fertilizantes.

Destaca-se que condicionamentos geológicos similares são encontrados também na bacia sedimentar do Parnaíba, onde existem inúmeros registros anômalos

de P_2O_5 (até 26,4%) em folhelhos pretos das formações Longá e Pimenteiras, nos estados do Piauí, Maranhão e Tocantins (Lima et al., 1978).

5.2.4.3.4 - Fosfato em rochas sedimentares / metassedimentares do Proterozóico

5.2.4.3.4.1 - Grupo Beneficente, na região da Serra do Cachimbo

As primeiras citações sobre ocorrências de fosfato em rochas sedimentares proterozóicas do Grupo Beneficente devem-se a Silva et al. (1980), que se referem à existência de cimento fosfático em duas amostras de arenito do interflúvio Juruena – Teles Pires, no norte de Mato Grosso. Esses autores estimaram um conteúdo de colofânio da ordem de 10%, confirmando, através de análises químicas, teores de P_2O_5 na faixa de 4%, e recomendando estudos específicos dessas ocorrências.

CPRM (1997), avaliando áreas favoráveis à descoberta de novos depósitos econômicos de insumos minerais para

agricultura no Brasil, inclui o Grupo Beneficente, na região do Juruena – Teles Pires – Aripuanã (Norte do MT / Sul do AM) como de **Alto Potencial** para fosfato, fazendo referência à seqüência de metassedimentos marinhos, glauconíticos, constituída de siltitos com disseminações de fosfato criptocristalino e arenitos com micronódulos de colofana.

Ressalta-se que o referido contexto geológico que hospeda essas acumulações de fosfato, estende-se por significativa porção do SW do Estado do Pará. O Grupo Beneficente é valorizado, sob o ponto de vista prospectivo, por hospedar, também, camadas de calcário passíveis de utilização como corretivo de solos. É importante realçar que o norte do Mato Grosso (Alta Floresta) e o SE do Amazonas (Apuí) já constituem pólos agrícolas em franco desenvolvimento, abrindo-se excelentes perspectivas para o SW do Pará, especialmente quando concretizado o Projeto da hidrovía Tapajós – Teles Pires (AHIMOR, 1998).

5.2.4.3.4.2 - Fosfato na Faixa Araguaia

Próximo a Xambioá (TO), na região de divisa do Pará com o Estado do Tocantins, a DOCEGEO descobriu uma ocorrência de fosfatos sedimentares no Proterozóico (Costa, 1996).

Silva, (2001), trabalhando nessa área, realizando estudos a nível de pós-graduação, refere-se a concentrações de P_2O_5 de até 13,7%, associando esse jazimento à Formação Xambioá, que tem parte de sua área de distribuição localizada no Pará.

A Formação Xambioá é uma unidade metassedimentar que integra o Grupo Baixo Araguaia, juntamente com as formações Morro do Campo, Pequizeiro e Couto Magalhães, compondo um conjunto depositado em um único ciclo sedimentar, envolvendo ambiente marinho raso à profundo. Esse conjunto foi submetido a uma evolução tectônica comum a todos seus membros (Souza & Moreton, 1995).

O fosfato de Xambioá atesta uma certa favorabilidade à fosfatogênese na Faixa Araguaia.

5.3 - Potássio

5.3.1 - Generalidades

O potássio é o sétimo elemento mais abundante na crosta terrestre, e o sexto mais abundante na água do mar. 95% da produção mundial de potássio é utilizada como fertilizante. Outros usos incluem a industrialização de vidros, sabão, tintas e pólvora.

As principais fontes de potássio fertilizante estão associadas à deposição de evaporitos, isto é, produtos da precipitação química, em ambientes restritos de bacias sedimentares com elevadas taxas de evaporação, em clima árido. O principal minério potassífero é a silvinita [silvita (KCl) + halita (NaCl)]. Além da silvita, outros minerais importantes como fontes de potássio incluem a carnalita (KCl.MgCl₂.6H₂O), a langbeinita (K₂SO₄.2MgSO₄), a polihalita [K₂Ca₂Mg (SO₄)₄]. 2H₂O, e a leonita (K₂SO₄.MgSO₄. 4H₂O).

Depósitos de potássio no Brasil são conhecidos na Bacia de Sergipe, onde já está em fase de operação a mina de Taquari-Vassouras, e na Bacia do Amazonas. Nesta, já foram dimensionados dois depósitos, Fazendinha e Arari, ambos na área da foz do rio Madeira, no Amazonas, cujas reservas oficiais, no conjunto, ascendem a 1,0 bilhão de toneladas de minério, com teor médio de KCl na ordem de 30% (mais de 180 milhões de toneladas de K₂O). O principal minério nesses depósitos é a silvinita, registrando-se, também, langbeinita, polihalita, kainita e leonita, além de kieserita. A faixa prospectável para potássio, nessa bacia, atinge uma parte do Pará.

5.3.2 - Modelos deposicionais dos sais de potássio

A evaporação da água do mar resulta na precipitação de carbonatos de elementos alcalino terrosos, seguidos de sulfatos de cálcio, halita, sulfatos de magnésio e, finalmente, cloretos de magnésio, potássio e bromo.

Há dois modelos clássicos de deposição em bacias evaporíticas marinhas,

fundamentados no padrão de zoneamento das diversas fácies salinas, conforme vi-

sualizado nas Figuras 6a e 6b:

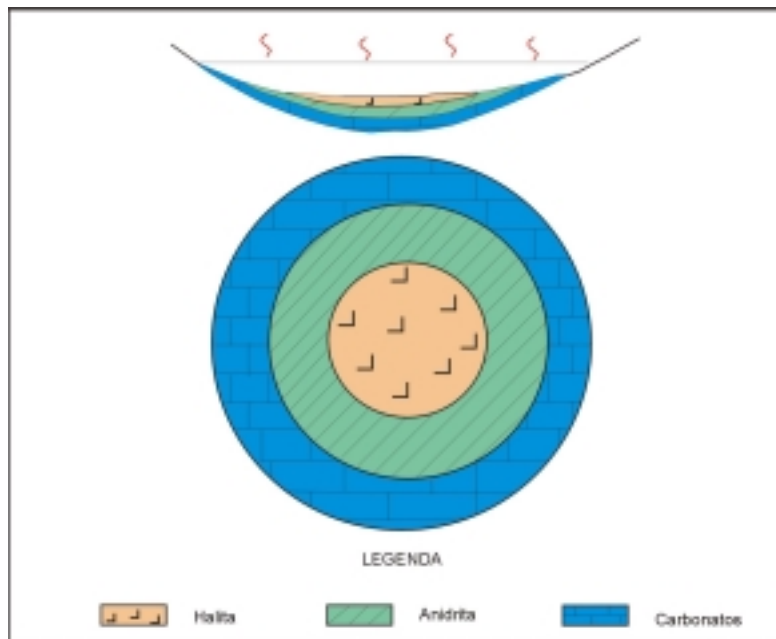


Figura 6a – Modelo de bacia evaporítica fechada (Bull's eye pattern)

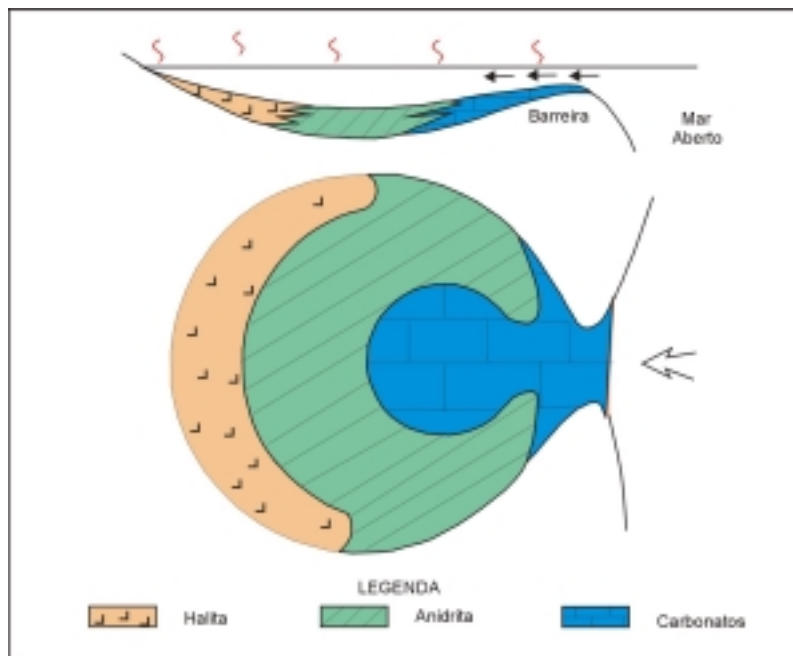


Figura 6b – Modelo de bacia evaporítica aberta com distribuição assimétrica de fácies (Williams-Stroud et al. 1986, apud Hsu, 1972)

(a) modelo de bacia evaporítica fechada (*bull's eye pattern*);

(b) modelo de bacia evaporítica aberta, ou modelo de deposição por refluxo.

No modelo (a), há uma dissecação gradual da bacia, com as fácies mais salinas posicionadas na sua parte central e circundadas por fácies sucessivamente menos solúveis.

No modelo (b), uma barreira rasa, geralmente estreita, separa o mar aberto da bacia evaporítica e limita o influxo de água para o interior da bacia onde, devido à evaporação, a salmoura progressivamente fica mais concentrada. Exemplo desse modelo inclui a *Prairie Formation* (Devoniano Médio) na Província de *Saskatchewan* (Canadá), que possui as maiores reservas de potássio do mundo ocidental.

A seqüência evaporítica da Bacia Amazonas enquadra-se melhor em uma combinação dos dois processos, apresentando uma alternância cíclica entre períodos de conexão com o mar aberto e períodos de restrição acentuada (PETROMISA, 1988).

5.3.3 - Potássio no Pará

Na Bacia do Amazonas a seqüência evaporítica é composta por um ciclo sedimentar principal, subdividido em onze ciclos secundários, envolvendo, especialmente, as formações Itaituba e Nova Olinda. O Ciclo VII representa o intervalo de máxima concentração de salmouras, e abriga os depósitos de sais de potássio e magnésio (**Figura 7**).

O contexto paleogeográfico desse ciclo compreendia um grande corpo confinado de água, que se estendia desde a região do Arco do Purus até as circunvizinhanças da cidade de Santarém, ocupando grande porção da Bacia do Amazonas. O alto de Mamuru-Maués dividia a bacia evaporítica em duas grandes sub-bacias que, por sua vez, comportavam sub-bacias menores, como exemplificado por Fazendinha, Arari e Urariá, a oeste e Faro e Juruti, a leste (Wolf & Silva, 1988; PETROMISA, 1988) (**Figura 8**).

Os trabalhos exploratórios da PETROMISA, em uma sub-bacia na região de Faro-Juruti confirmaram a existência de

silvinita à profundidade de 1.218 m, em camada de 1,70 m de espessura.

Constata-se, assim, a existência de jazimentos de potássio no Pará. Entretanto, o conhecimento geológico da área potencial ainda é muito carente. Informações pontuais, na região de Faro-Juruti, indicam minério com baixos teores em KCl, pequena possança e em profundidades superiores a 1.200 m. Não se vislumbra, a médio e curto prazos, cenários favoráveis à prospecção desse bem mineral neste Estado, especialmente face ao já avançado estágio de conhecimento dos depósitos de Fazendinha e Arari.

Ressalta-se, no entanto, que a existência desses jazimentos na Amazônia é estratégica para o país, face sua grande dependência externa. Em 1999, o Brasil importou cerca de 2.000.000 t de potássio (K_2O equivalente), oriundas, principalmente do Canadá (30%), Rússia (21%), Alemanha (20%) e Israel (13%), com evasão de divisas da ordem de 430 milhões de dólares (Oliveira, 2000).

5.4 - Cálcio

Como insumo mineral, o cálcio é importante não apenas como nutriente para a planta, mas, também, por contribuir de forma significativa para adequar as condições físicas e biológicas do solo. Esse elemento responde com algo da ordem de 50 a 80% do total das bases trocáveis (K, Mg, Ca, Na) no solo.

A maior parte dos solos contém suficiente cálcio para atender as necessidades das plantas. É muito raro encontrar-se plantas com deficiência de cálcio. Entretanto, muitos solos são demasiadamente ácidos para um bom desenvolvimento do vegetal, necessitando de **calagem** para elevação do pH. Os insumos mais comumente usados nesse processo são calcita ($CaCO_3$) e dolomita [$CaMg(CO_3)_2$].

Outras fontes de cálcio incluem a gipsita ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), as escórias básicas (rejeito industrial silicatado que geralmente contém, também, fósforo e magnésio), os superfosfatos e o nitrato de cálcio.

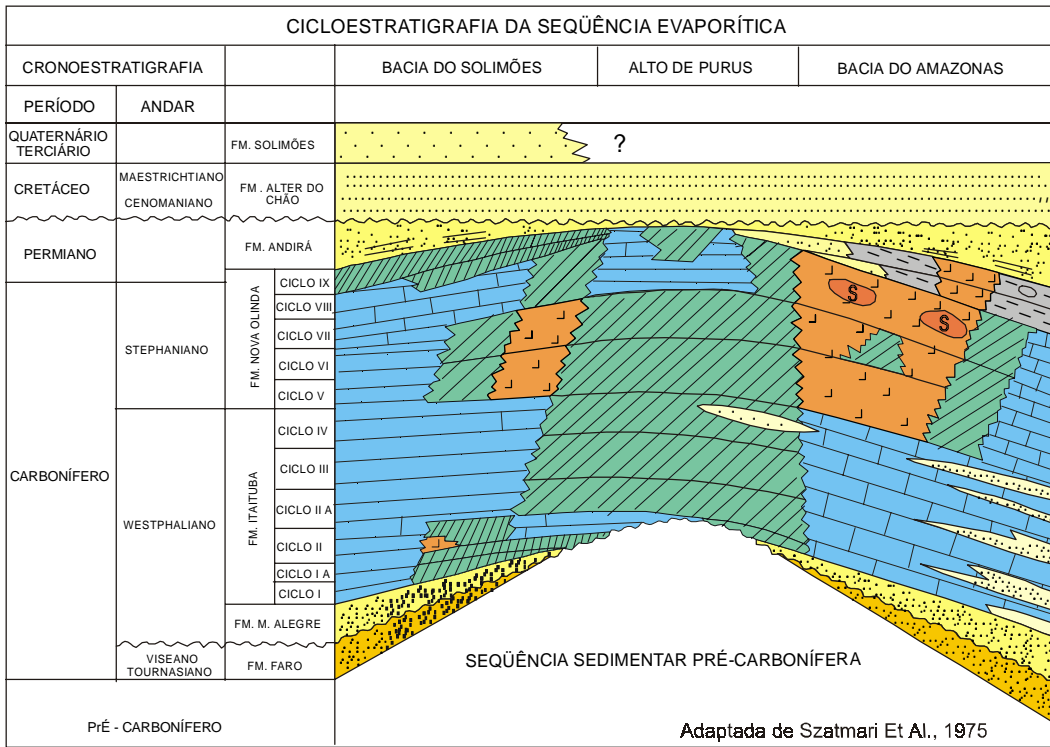


Figura 7 - Cicloestratigrafia da seqüência evaporítica da Bacia do Amazonas

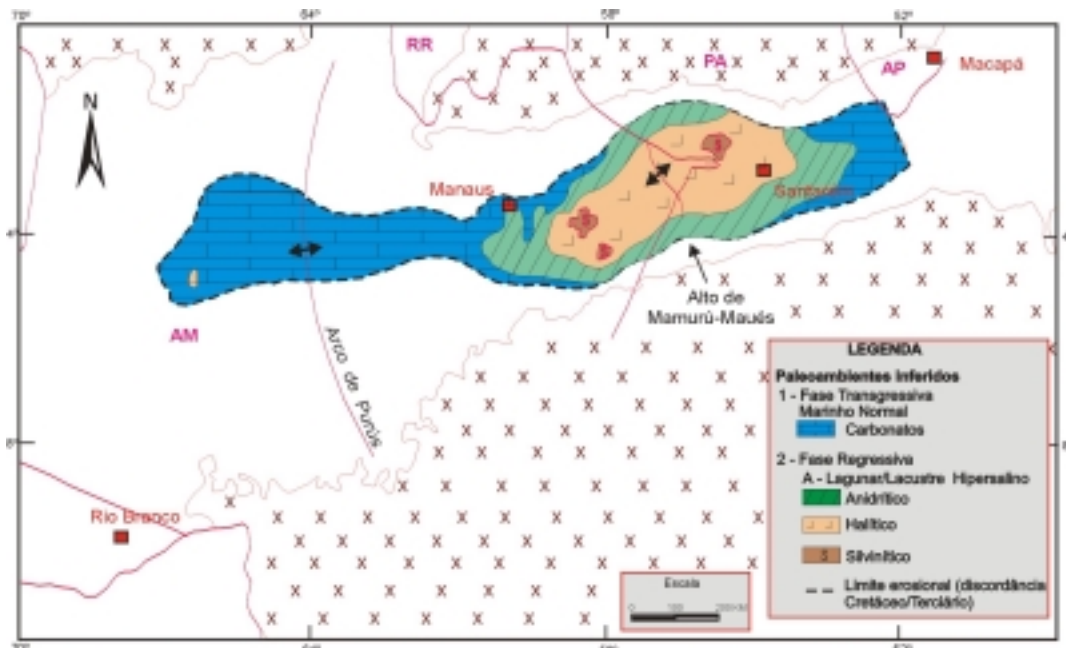


Figura 8 - Paleogeografia do Ciclo VII Fonte: Wolf & Silva, 1988 (adaptada de Szatmari et al., 1975)

O uso de calcário como corretivo e condicionador de solos está abordado em capítulo específico neste relatório, onde se analisa, também, a potencialidade de produção dos estados do Pará e Amapá.

5.5 - Magnésio

Além de nutriente, o magnésio compõe, com o cálcio, as principais bases envolvidas na elevação do pH do solo. O nível ideal de magnésio disponível nos solos é, normalmente, da ordem de 1/10 ao do cálcio. Considerando, entretanto, que muitos solos têm insuficiência de magnésio (ao contrário do cálcio), esse nutriente é comumente adicionado a certos fertilizantes do mercado (Harre & Mortvedt, 1994).

O magnésio é absorvido pelas plantas como íon Mg^{2+} . Assim, é imperioso que as fontes desse insumo sejam solúveis em água, ou convertidas a uma forma solúvel, para que se processe a absorção. Fontes altamente solúveis incluem a langbeinita, kieserita e epsomita, cuja gênese está associada à deposição de evaporitos, como descrito para o potássio. Fontes que são apenas parcialmente solúveis em água, mas que se tornam solúveis ao longo de um período de 2 a 4 anos, incluem dolomita, brucita e magnesita, além de escórias básicas.

Os produtos mais solúveis são normalmente misturados a outros fertilizantes. Todavia, a prática mais comum de suprir a deficiência de magnésio em um solo é utilizar calcário magnesiano, ou calcário dolomítico, no processo de calagem, conforme abordagem específica neste relatório.

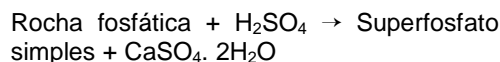
A ambiência geológica favorável a depósitos de evaporitos magnesianos, no Pará, é a mesma referida para os sais de potássio.

5.6 - Enxofre

5.6.1 - Generalidades

O enxofre exerce múltipla importância para o setor agrícola. É um nutriente de tal forma essencial para as plantas, que

há certas espécies vegetais que requerem enxofre quase que na mesma proporção do fósforo. Entre outras funções, é um componente fundamental nas substâncias que imprimem odor e sabor característicos a espécies como mostarda, alho e cebola. Além disso, esse elemento é um insumo básico para a indústria de fertilizantes, para tratamento de rochas fosfatadas na obtenção de superfosfatos a partir do uso do ácido sulfúrico. Esse processo resulta na formação de sulfatos:



Quando o sulfato de cálcio não é removido, o produto contém cerca de 12% de enxofre.

O enxofre fertilizante é proveniente, em maior escala, do sulfato de amônia e superfosfatos simples, produtos industrializados, e da langbeinita ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$) e gipsita ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), minerais associados a ambiente evaporítico. O enxofre elementar também pode ser usado, porém sua absorção pelas plantas demanda um certo tempo, uma vez que esse elemento entra na planta na forma iônica SO_4^{2-} requerendo, assim, sua prévia oxidação.

A agricultura respondeu por 53% do consumo de enxofre no Brasil em 1999. Esse consumo está diretamente relacionado à produção de ácido sulfúrico, que, por sua vez, é destinado em cerca de 70 a 80% para produção de ácido fosfórico e de fertilizantes (Teixeira, 2000).

5.6.2 - Fontes de enxofre para a indústria

O enxofre processado industrialmente provém de diversas fontes (Sad & Schneider, 1979; Sheldon, 1980; Harre & Mortvedt, 1994; Teixeira, 2000):

- a) Depósitos naturais de enxofre nativo: em depósitos sedimentares estratiformes ou associados a domos salinos; e depósitos associados a manifestações vulcânicas, resultantes da sublimação de vapores sulfurosos de origem magmática;
- b) Recuperado em plantas de gás natural e refinarias de petróleo.

c) Mineralizações sulfetadas. (Cu, Pb, Zn, Mo, Fe, Ag e Au)

d) Outras fontes: carvão, arenitos e folhelhos betuminosos e sulfatos (gipsita/anidrita). Na forma de anidrita e gipsita os recursos são ilimitados, podendo ser obtidos através de processamento industrial que, porém, ainda não apresenta competitividade econômica.

Os depósitos naturais de enxofre nativo e as plantas de gás natural são responsáveis pela maior parte do enxofre produzido no mundo.

O Brasil é altamente dependente de enxofre, chegando a importar em 1999 mais de 1,4 milhões de toneladas (mais de 56 milhões de dólares), cerca de 83% do seu consumo aparente. Da produção nacional (298.313 t), 72,7% provém de mineradoras e refinadoras de cobre, zinco e ouro (Caraíba Metais SA. e Companhia Paraibuna de Metais, do Grupo Parana-pema, e Mineração Morro Velho Ltda.); 19,4% de refinarias de petróleo, e 7,8% do folhelho pirobetuminoso processado pela PETROBRÁS, no Paraná (Teixeira, 2000).

5.6.3 - Potencialidade no Pará e Amapá

5.6.3.1 - Mineralizações sulfetadas

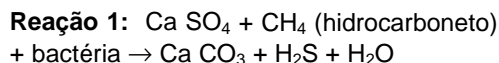
Configuram-se as fontes potenciais mais efetivas de enxofre nesses dois estados. Para se ter uma idéia, cita-se o Projeto Salobo (CVRD/Anglo American) como exemplo, onde se prevê a produção de 200.000 t/ano de ácido sulfúrico como subproduto do beneficiamento do minério de cobre (com ouro, prata e molibdênio). Há expectativa (Jornal *O Liberal*, de 25.02.2001) da implantação de inúmeros outros projetos na região de Carajás: Sossego (CVRD/Phelps Dodge) e Liberdade, Alvo 118 e Corpo Alemão (CVRD/BNDES).

Embora no Amapá não haja nenhum projeto em vista de implantação, o contexto geológico regional também indica a existência de jazimentos cupríferos sulfetados, na Suíte Vila Nova (área da Reserva Nacional do Cobre – RENCA, na divisa PA/AP).

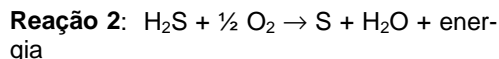
5.6.3.2 - Possibilidade de depósitos estratiformes na Bacia do Amazonas

5.6.3.2.1 - O modelo de mineralização

O modelo clássico de mineralização estratiforme de enxofre, analogamente aos depósitos associados a domos salinos, engloba um conjunto de elementos básicos envolvendo: anidrita/gipsita, bactérias anaeróbicas; hidrocarbonetos, águas oxidantes e estruturas de trapeamento. Esses elementos, devidamente combinados no tempo e no espaço, produziram 2 reações químicas diferentes, uma redutora e outra oxidante, resultando na formação de enxofre nativo (Sad & Schneider, 1979; Wessel, 1994), conforme sinteticamente representado a seguir:



Isso representa a existência de hidrocarbonetos, líquidos ou gasosos, penetrando aquíferos ricos em sulfato dissolvido, ou camadas de anidrita/gipsita, na presença de bactérias redutoras de sulfato (tipo *desulfobivrio desulfuricans*). Essas bactérias consomem matéria orgânica - para satisfazer suas necessidades de carbono e hidrogênio, e íons sulfato - para seu suprimento de oxigênio, produzindo dióxido de carbono (CO_2) e gás sulfídrico (H_2S), através desse mecanismo. O CO_2 reage com o Ca, liberado pela desintegração das massas de anidrita/gipsita, reprecipitando CaCO_3 , sob a forma de uma micrita porosa, denominada de *calcário secundário*. O H_2S permanece retido nas vesículas desses carbonatos.



Numa fase posterior, o H_2S é oxidado, possivelmente pela ação de águas oxigenadas de subsuperfície, precipitando enxofre nativo.

Para a geração de concentrações econômicas é fundamental que esses processos atuem no âmbito de uma estrutura geológica portadora de hidrocarboneto, onde o suprimento de petróleo para a sub-

sistência das bactérias anaeróbicas tenha sido eficaz e constante (Sad & Schneider, 1979). Ressalta-se ainda que, de acordo com Al-Sawat (1977), o intervalo de temperatura mais favorável ao desenvolvimento de bactérias oscila entre 26 e 63°C, cessando a atividade biológica aos 100°C. Isso, naturalmente, vai ter implicações na questão da profundidade, em função do gradiente geotérmico local.

5.6.3.2.2 - Enxofre nas formações Nova Olinda e Itaituba

Considera-se que a conjugação dos fatores envolvidos na formação de depósitos econômicos de enxofre nativo, segundo o modelo clássico de mineralizações estratiformes, seja passível de ocorrer na Bacia Amazônica. O alvo idealizado como potencial concentra-se, principalmente, na porção superior da Formação Itaituba e na Formação Nova Olinda, onde existem extensas camadas de gipsita/anidrita, conforme mostrado no **Anexo I**.

O grande obstáculo a um programa de prospecção, baseado nesse modelo, é o pequeno volume de informações de subsuperfície, e o grau de sigilo que envolve essas informações, especialmente sobre a questão das estruturas geológicas e a localização de indícios de hidrocarbonetos. A baixa densidade de poços exploratórios de petróleo é um complicador adicional.

A Petrobrás Mineração SA – PETROMISA, chegou a iniciar um programa de prospecção, através do estudo de amostras de calha. Essa investigação foi interrompida com a extinção da empresa, em 1990.

5.6.3.3 - Outras fontes potenciais de enxofre

Outras fontes idealizadas incluem a possibilidade de enxofre contido em petróleo e/ou gás natural na Bacia do Amazonas, Bacia do Marajó e, principalmente, na plataforma continental, nas costas do Pará e Amapá.

Macambira et al. (1977) referem-se à possibilidade de exploração de piritas

contidas nos folhelhos pretos das formações Curuá e Trombetas, na Bacia do Amazonas.

5.7 - Micronutrientes

Os micronutrientes são elementos essenciais para as plantas, exigidos, porém, apenas em pequenas quantidades. Eles são encontrados nos tecidos vegetais em proporções de partes por milhão (ppm) em vez de porcentagem. Os micronutrientes mais freqüentemente usados como fertilizantes incluem boro, cobre, ferro, manganês, molibdênio, zinco e cobalto. O cloro também é um micro nutriente, porém não se conhece solo deficiente nesse elemento (Harre & Mortvedt, 1994).

Raramente os micronutrientes são aplicados diretamente no solo. Em geral eles são adicionados aos fertilizantes industrializados, para aplicação. Inclusive a foliar.

As fontes de micronutrientes variam consideravelmente quanto às suas características físicas, reatividade química, custo e disponibilidade para as plantas. Essas fontes podem ser inorgânicas, quelatos sintéticos e complexos orgânicos naturais. Entre as fontes primárias inorgânicas cita-se:

- Bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$); colemanita ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$);
- Calcocita (Cu_2S); calcopirita (CuFeS_2) e cuprita (Cu_2O);
- Sulfato ferroso (FeSO_4) e sulfato férrico [$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$]
- Pirolusita (MnO_2) e romanechita (psilomelano, óxido-composto de Mn)
- Molibdenita (MoS_2)
- Esfalerita (ZnS).

Algumas dessas fontes precisam ser previamente processadas para tornar os nutrientes passíveis de assimilação pelas plantas.

6 - Aditivos de Solo

6.1 - Generalidades

Aditivos de solo (condicionadores ou corretivos) são produtos utilizados para o preparo de solos que requeiram tratamento especial para modificar suas características físicas e a ação microbiótica e/ou alterar o pH, objetivando proporcionar melhor produtividade agrícola (Hoffman & Austin, 1994). A legislação brasileira (Decreto 86.955, de 18.02.82 - Anônimo, 1985) define **Corretivo** como “produto que contenha substâncias capazes de corrigir uma

ou mais características do solo, desfavoráveis às plantas”.

Esses aditivos podem, por exemplo, dotar o solo de maior capacidade de reter água, facilitar a aeração, proteger contra a erosão, elevar a capacidade de troca catiônica (CTC), etc. O **Quadro XI** exemplifica os principais aditivos (orgânicos e inorgânicos) de solos e seus efeitos. Observa-se que alguns desses insumos são, também, fontes de nutrientes (fertilizantes).

QUADRO XI USO AGRÍCOLA DE ADITIVOS DE SOLOS

USO AGRÍCOLA DE ADITIVOS DO SOLO	
EFEITO	PRODUTO
Aumenta o pH	Calcário agrícola, dolomita, cal, cal hidratada
Reduz o pH	Turfa, <i>humate</i> , gipsita, enxofre
Aumenta a percolação	Gipsita, perlita
Aumenta a disponibilidade de fertilizante	Calcário, dolomita, cal, cal hidratada, <i>humate</i> , turfa, enxofre, bentonita, zeolita
Aumenta o conteúdo de ácidos orgânicos	Turfa, <i>humate</i>
Melhora o trabalhabilidade do solo	Calcário, dolomita, cal, cal hidratada, gipsita, turfa, <i>humate</i> , vermiculita, perlita, bentonita, zeolita
Aumenta a estabilidade	Calcário, dolomita, cal, cal hidratada
Retém umidade	Turfa, <i>humate</i> , perlita, vermiculita, zeolita, bentonita

Adaptado de Hoffman & Austin (1994)

6.2 - Efeitos do pH na disponibilidade de nutrientes

O grande campo de uso dos aditivos é na adequação do pH, uma vez que as plantas, em geral, têm um melhor desenvolvimento em solos com pH em torno de 6,0 a 6,5. Nessas condições, há possibilidade de uma assimilação balanceada dos nutrientes, conforme mostrado na **Figura 9**. Além disso, essa faixa de pH tende a fixar no solo o alumínio trocável, tóxico à maioria das plantas quando em concentrações excessivas, assim como ferro e manganês.

Observa-se nesse gráfico, por exemplo, que condições alcalinas favorecem a disponibilidade de molibdênio e cloro, dificultando, porém, a assimilação de ferro, cobre, manganês e zinco inversamente ao que ocorre em um pH ácido. Em síntese, calagem em excesso também é prejudicial (Verdade et al., 1968).

6.3 - O fator pH e as características de solos que requerem sua correção

O pH de uma solução representa seu conteúdo de íons de hidrogênio dissociados, portanto, livres e, assim, quanto mais íons livres de H^+ , mais ácida a solução. Da mesma forma, um solo é ácido quando possui muitos íons H^+ e poucos íons de cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+) e sódio (Na^+) adsorvidos em seu complexo coloidal, isto é, de troca (Primavesi, 1982).

Os solos que requerem correção de pH podem ser classificados, genericamente, em cinco categorias: **ácidos, salinos, alcalinos, salinos-alcalinos e calcários**.

Solos ácidos: um solo é considerado ácido quando seu pH é menor que 7,0 (Coleman & Thomas, 1967). Entre-

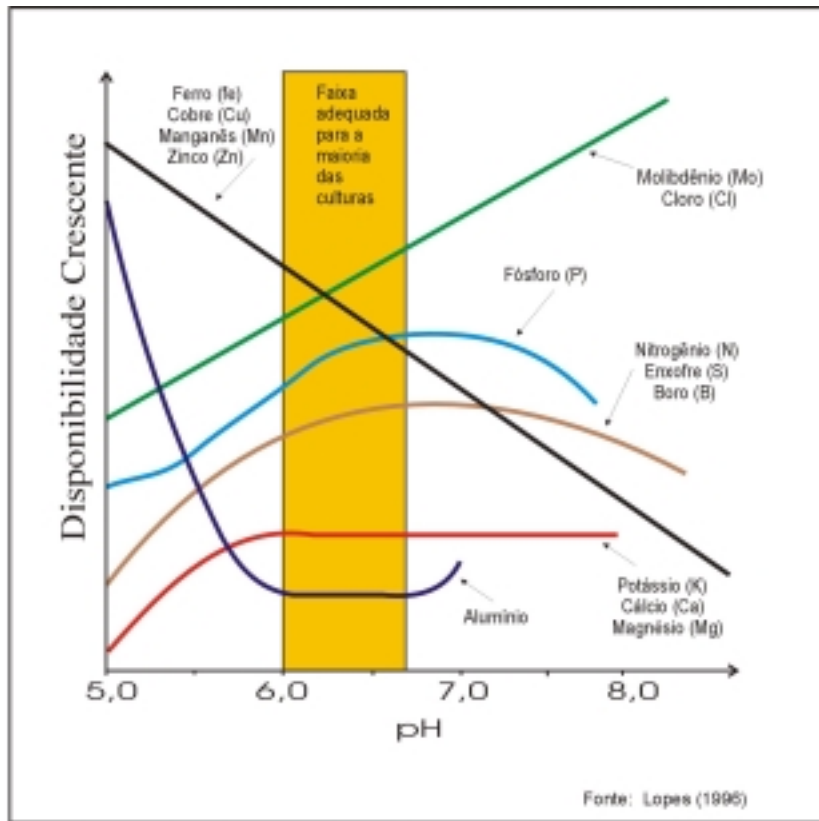


Figura 9 - Efeito do pH na disponibilidade de nutrientes do solo e de alumínio

tanto, para efeitos práticos, considera-se, em geral, solos ácidos, aqueles que têm pH abaixo de 6,0. Segundo Hoffman & Austin (1994) esses solos têm pH de 3,5 a 6 e são frequentes em regiões de elevada pluviosidade e intenso intemperismo químico, especialmente sobre rochas ígneas ácidas e sedimentares siliclásticas, uma vez que, nessas condições, os cátions dos colóides do solo (principalmente o cálcio) são lixiviados e substituídos pelo íon hidrogênio. O processo de acidificação se inicia ou se acentua devido à remoção de bases (K, Ca, Mg, Na...) da superfície dos colóides do solo (Mello, 1983). Em geral, solos com teores elevados de alumínio, de matéria orgânica e de argilas, são ácidos e requerem maiores quantidades de corretivos, pois esses componentes representam as maiores fon-

tes de acidez potencial no solo e de tamponamento do pH (Bartz et al., 1994).

Outras fontes de hidrogênio iônico, em solos cultivados, são os adubos nitrogenados, que contêm o elemento na forma amoniacal (sulfato de amônio, nitrato de amônio, nitrocálcio, fosfato de amônio) ou amídica (uréia). É que os micronutrientes do solo oxidam o N amoniacal a nitrato, no processo de nitrificação, liberando íons hidrogênio (Anônimo, 1985). A propósito, no geral, cada kg/ha de N aplicada ao solo requer 3 kg/ha de CaCO_3 para neutralizar seu efeito acidificante (Harre & Mortvedt, 1994).

Solos salinos: têm uma *condutividade elétrica dos extratos saturados* (E_c) de mais de 4 milisimens¹ por centímetro (mS/cm) a 25°C, e uma *per-*

¹ um milisimens é equivalente a um milimho

centagem de sódio trocável (ESP) menor que 15 (Stromberg & Tsidale, 1979). Normalmente esses solos têm pH menor que 8,2. Podem ser reconhecidos pela acumulação de sais brancos na superfície. Os principais cátions são Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} e os principais ânions são Cl^- e SO_4^{2-} , com menor proporção de NO_3^- e HCO_3^- . Raramente contém carbonatos solúveis.

Solos alcalinos: têm ESP maior que 15 e EC_e menor que 4,0. O pH é normalmente maior que 8,5, podendo alcançar 10 ou mais. A elevada ESP favorece que percam sua estrutura granular, reduzindo a porosidade, tornando-se impermeáveis à água e ao ar.

Solos salinos-alcalinos: têm uma EC_e maior que 4 e uma ESP maior que 15. Suas propriedades físicas são similares às dos solos salinos.

Solos calcários: contém carbonato de cálcio livre em todo seu perfil. Não são salinos e têm pH variando de 7,5 a 8,2. A EC_e é menor que 4 mS/cm e a ESP é, normalmente, menor que 10.

6.4 - A calagem de solos

A acidez do solo para o agricultor é tão perversa à sua renda agrícola, quanto a inflação é para o salário do trabalhador
Becker (1996)

Os solos da Amazônia são, fundamentalmente, solos ácidos. A neutralização desses solos, isto é, a elevação de seu pH para níveis mais adequados, é um processo químico envolvendo troca iônica, com o cálcio e magnésio deslocando os íons de hidrogênio do solo. Denomina-se **calagem** o mecanismo pelo qual esse processo é fomentado de forma econômica.

A prática da calagem visa a neutralizar ou reduzir os efeitos tóxicos do alumínio e/ou manganês, bem como melhorar o ambiente radicular para as plantas absorverem os nutrientes (Bartz et al., 1994) e

melhorar a eficiência dos fertilizantes. A calagem aumenta também a quantidade de matéria orgânica no solo, por estimular a proliferação e um crescimento mais acentuado das plantas, e o desenvolvimento da microvida. Além disso, aumenta a disponibilidade no solo dos macronutrientes cálcio e magnésio. Enfim, a prática bem conduzida da calagem incrementa a renda agrícola por unidade de área, via aumento de produtividade.

Para que a calagem proporcione os retornos econômicos esperados, uma série de procedimentos técnicos devem ser observados, entre os quais:

- a) estudos prévios (amostragem bem conduzida e análises químicas e físicas do solo, características da planta a ser cultivada, etc.);
- b) a escolha do corretivo adequado;
- c) a qualidade desse corretivo;
- d) a quantidade de corretivo aplicada;
- e) a época de sua aplicação;
- f) o modo de aplicação e a distribuição do corretivo na superfície e sua incorporação no solo;
- g) o efeito residual da calagem;
- h) adoção de práticas complementares, como adubação adequada, conservação do solo, uso de cultivares adaptadas à região, práticas culturais adequadas, etc.

O foco da abordagem neste relatório concentrar-se-á nas características dos diversos produtos usados para calagem, e na indicação de pólos potenciais de produção desses insumos no Pará e Amapá.

6.5 - Produtos usados na calagem

Os materiais que podem ser usados na correção de acidez dos solos são aqueles que contêm como “constituintes neutralizantes” ou “princípio ativo”, óxidos, hidróxidos, carbonatos e silicatos de cálcio e/ou magnésio (Alcarde, 1985).

O corretivo mais comumente usado, a nível mundial, por sua freqüência, abundância e praticidade de aplicação, é a rocha calcária moída, mais conhecida como **calcário agrícola**. Seu constituinte neutralizante é o carbonato de cálcio (CaCO_3), normalmente associado ao carbonato de magnésio (MgCO_3), em variada proporção. Calcita ou aragonita puras contém 100% de CaCO_3 (ou 56% de CaO); dolomita pura contém 54,3% de CaCO_3 e 45,7% de MgCO_3 (ou 30,4% de CaO e 21,8% de MgO). Em função do conteúdo de magnésio, a legislação brasileira mais recente (Decreto n.º 75.583, de 09.04.95, do Ministério da Agricultura), classifica os calcários agrícolas em:

- **calcário calcítico:** MgO menor que 5%
- **calcário magnesiano:** MgO de 5 a 12%
- **calcário dolomítico:** MgO acima de 12%

Outros materiais que podem ser usados incluem:

- **óxido de cálcio (e de magnésio)**, obtido pela calcinação do calcário; também é conhecido como **cal virgem** e se apresenta na forma de um pó bastante fino;
- **hidróxido de cálcio (e de magnésio)**, obtido pela hidratação dos respectivos óxidos; é conhecido como **cal hidratada** ou **cal apagada**; tem características e propriedades muito semelhantes às do óxido;

- **calcário calcinado**, obtido pela calcinação parcial do calcário, de tal forma que nem todo o CaCO_3 e o MgCO_3 são decompostos, apresentando, assim, características intermediárias entre o calcário e a cal virgem;

- **escórias de siderurgia**, subprodutos da indústria de ferro e aço, têm como neutralizantes silicatos de cálcio e magnésio; comportam-se de forma semelhante aos calcários (Wutke & Gargantini, 1962; Gomes et al., 1962; Gomes et al., 1965); apresentam teores relativamente elevados de micronutrientes, mas praticamente não têm sido usados; (ver região de Marabá);

- **Outros:** incluem margas, corais, sambaquis, e diversos subprodutos industriais.

6.6 - Qualidade dos corretivos

6.6.1 - Generalidades

A eficiência de um corretivo depende, essencialmente, de seu conteúdo em material neutralizante e de sua granulometria. A qualidade de um corretivo é definida pelo seu **Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT)**, expresso em termos de seu **Poder de Neutralização (PN)**, ou equivalente em carbonato de cálcio (CaCO_3), e de sua **Reatividade (RE)**, conforme a legislação específica.

6.6.2 - Legislação brasileira

Transcreve-se a seguir a regulamentação das características para comercialização de corretivos:

SECRETARIA NACIONAL DE DEFESA AGROPECUÁRIA
Secretaria de Fiscalização Agropecuária
Portaria N.º 03, DE 12 DE JUNHO de 1986

O SECRETÁRIO DE FISCALIZAÇÃO AGROPECUÁRIA, no uso das atribuições que lhe foram conferidas pelo artigo 2º da Portaria Ministerial n.º 84, de 29 de março de 1982, alterado pela Portaria Ministerial n.º 353, de 13 de setembro de 1985, e de acordo com o que consta da Ata da reunião do Grupo Técnico, constituído pela Portaria Ministerial n.º 033, de 03 de fevereiro de 1986, RESOLVE:

Art. 1º - Os corretivos de acidez do solo deverão possuir as seguintes características físicas mínimas: - passar 100% em peneira de 2mm, ABNT-10; 70% em peneira de 0,84mm, ABNT-20 e 50% em peneira de 0,30mm, ABNT-50, sendo permitida tolerância de 05% na peneira ABNT-10.

Art. 2º - Os corretivos de acidez passarão a ser comercializados de acordo com suas características próprias e com os valores mínimos constantes do quadro abaixo:

MATERIAIS CORRETIVOS DE ACIDEZ	PN % em CaCO ₃	Soma % CaO + % MgO
Calcários	67	38
Cal virgem agrícola	125	68
Cal hidratado agrícola	94	50
Escórias	60	30
Calcário calcinado agrícola	80	43
Outros	67	38

Art. 3º - Ficam estabelecidos os valores mínimos de 67 a 45 para PN e PRNT, respectivamente.

Art. 4º - Os calcários agrícolas passam a ter as seguintes classificações:

I – Quanto à concentração de MgO:

- a) Calcítico – menos de 5%
- b) Magnesiano – de 5% a 12%
- c) Dolomítico – acima de 12%

II – Quanto ao PRNT:

- Faixas: A – PRNT entre 45,0 a 60,0
 B – PRNT entre 60,1 a 75,0
 C – PRNT entre 75,1 a 90,0
 D – PRNT superior a 90,0

Art. 5º - O PRNT será calculado por:
$$\text{PRNT (\%)} = \frac{\text{PN} \times \text{RE}}{100}$$

PN = poder de neutralização, expressando o equivalente em CaCO₃ do corretivo, determinado conforme o método analítico da legislação vigente.

RE = reatividade das partículas do corretivo, calculada por:

- a) reatividade zero para a fração retida na peneira ABNT n.º 10;
- b) reatividade 20% para a fração que passa na peneira ABNT n.º 10 e fica retida na peneira ABNT n.º 20;
- c) reatividade de 60% para a fração que passa na peneira ABNT n.º 20 e fica retida na peneira ABNT n.º 50; e
- d) reatividade de 100% para a fração que passa na peneira ABNT n.º 50.

Art. 6º - Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação, ficando estabelecido que as empresas terão o prazo de até 1º de janeiro de 1987, para se adequarem às exigências desta Portaria.

INOCÊNCIO WARMLING

6.6.3 - Poder de Neutralização – PN

Devido à diversidade de suas composições químicas, os corretivos apresentam diferentes capacidades de neutralização de ácidos. O Poder de Neutralização reflete essa capacidade, que é expressa em relação à do carbonato de cálcio puro [equivalente em carbonato de cálcio ($E.CaCO_3$ ou $\%E.CaCO_3$)], tomada como referencial de 100%.

Por suas características químicas, os compostos de magnésio têm PN maio-

res que seus correspondentes de cálcio. Da mesma forma, os óxidos têm PN maiores que os hidróxidos e estes maiores que os carbonatos e os silicatos. Quanto maior o PN de um corretivo, maior a quantidade de ácidos que o mesmo neutraliza, conforme constante no **Quadro XIII**. Assim, para neutralizar uma certa quantidade de ácidos, como a que esteja presente na camada arável de um hectare de terra, por exemplo, tanto menos corretivo será necessário quanto maior for o seu PN (Volkswiss et al, 1992).

QUADRO XIII - PODER DE NEUTRALIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS CORRETIVOS E AS QUANTIDADES CORRESPONDENTES QUE CORRIGEM A MESMA QUANTIDADE DE ÁCIDOS QUE 1 t DE $CaCO_3$

Constituintes	Fórmula	PN (E. $CaCO_3$)	PN (%E. $CaCO_3$)	Quantidade equivalente (kg)
Carbonato de cálcio	$CaCO_3$	1,00	100	1000
Carbonato de magnésio	$MgCO_3$	1,19	119	840
Hidróxido de cálcio	$Ca(OH)_2$	1,35	135	741
Hidróxido de magnésio	$Mg(OH)_2$	1,72	172	581
Óxido de cálcio	CaO	1,79	179	559
Óxido de magnésio	MgO	2,48	248	403
Silicato de cálcio	$CaSiO_3$	0,86	86	1162
Silicato de magnésio	$MgSiO_3$	1,00	100	1000

Fonte: Alcarde (1985); Volkswiss et al. (1992)

Os corretivos naturais apresentam um conteúdo variável de impurezas como sílica, argila, umidade, etc., que não corrigem o solo. Além disso, um calcário tem teores também variáveis de cálcio e magnésio. Assim, para calcular o PN de um corretivo é preciso conhecer sua composição química, em geral expressa na forma de óxidos.

Exemplo do cálculo do PN de um corretivo que tenha 30% de CaO e 15% de MgO , utilizando-se os dados do **Quadro XIII**:

PN do $CaO \Rightarrow 30\% \times 1,79 \cong 54\%$

PN do $MgO \Rightarrow 15\% \times 2,48 \cong 37\%$

O PN do corretivo será a soma: $PN = 54\% + 37\% = 91\%$

De acordo com a legislação brasileira, para serem comercializados os corretivos devem ter no mínimo 38% de $CaO+MgO$, com PN de pelo menos 67%.

6.6.4 - Reatividade - RE

Esse parâmetro diz respeito ao tamanho das partículas do corretivo e suas eficiências relativas. Reflete a velocidade de reação desses corretivos: quanto mais fina a partícula, maior sua superfície específica e mais rápida a sua reação com os ácidos do solo.

O calcário em pó muito fino, a cal virgem e a cal hidratada reagem com o solo rapidamente; se bem misturados com o solo, reagem completamente e, portanto, corrigem a acidez, em cerca de um a dois meses, desde que o solo esteja úmido. Partículas maiores que 2mm não têm efeito sobre a acidez. O desempenho médio dos calcários agrícolas, no período de dois a três anos está mostrado na **Figura 10**, cujos índices fornecem a base para o cálculo da Reatividade, exemplificado na **Figura 11**.

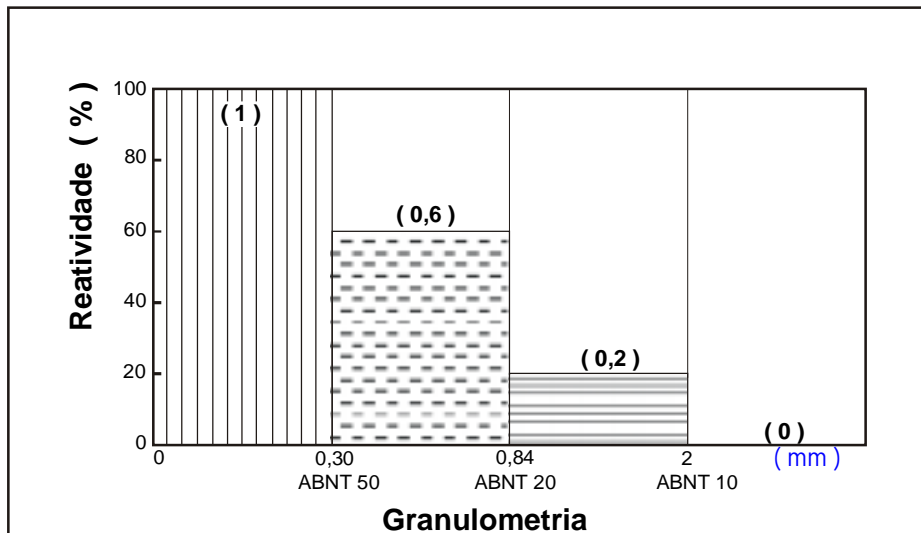


Figura 10 - Índices de reatividade das partículas de corretivo (período considerado de 2 a 3 anos)

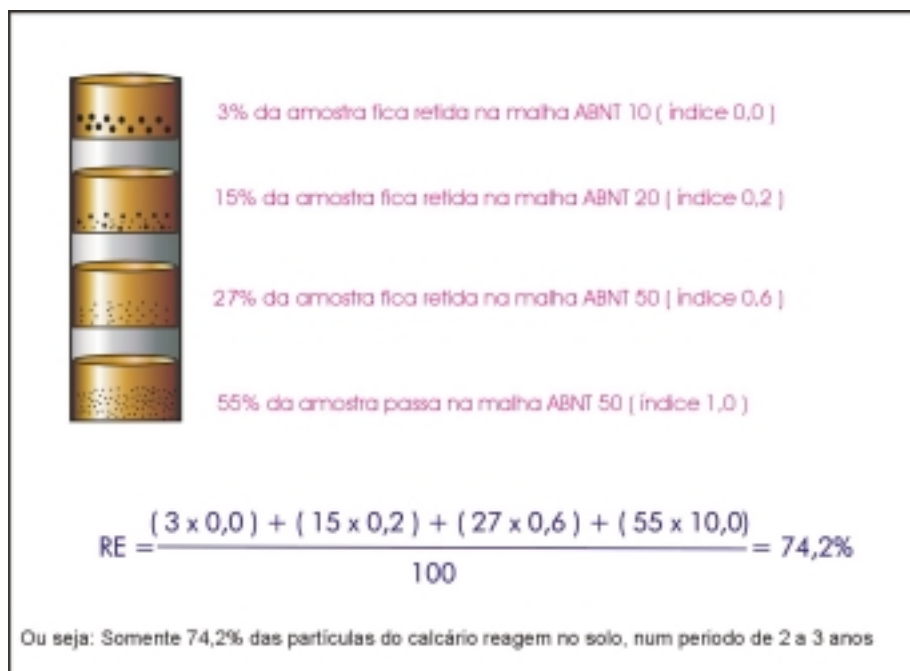


Figura 11 - Exemplo da reatividade de um calcário, após moagem e peneiramento

Como os calcários comerciais tem granulometria diversificada (a legislação permite tolerância de 5% de partículas maiores que 2 mm), há um efeito residual na ação dos corretivos que pode alcançar

mais de cinco anos (**Figura 12**). Esse efeito deve ser considerado durante o preparo da terra para nova semeadura, bem como nas projeções de consumo de corretivos.

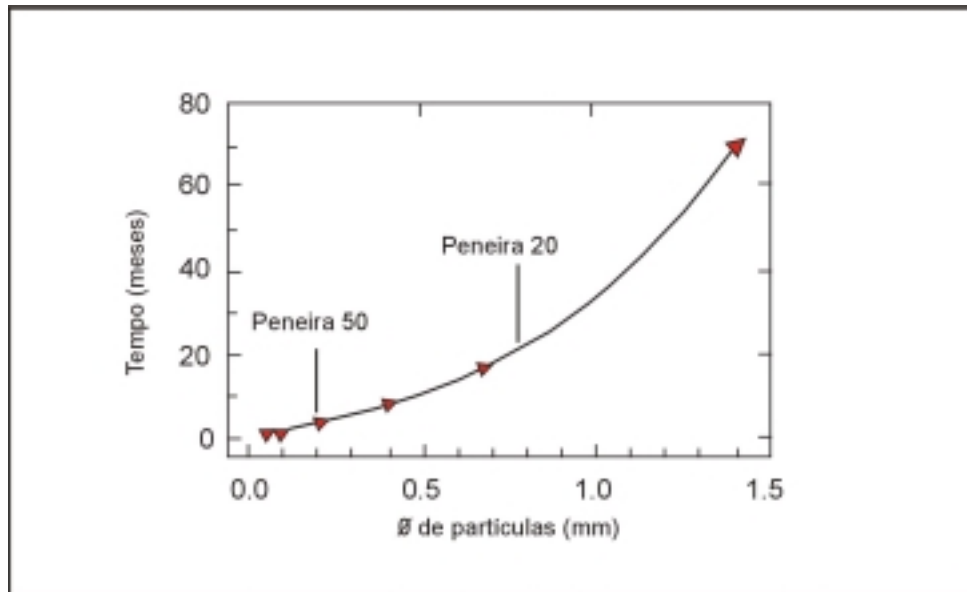


Figura 12 - Tempo necessário para o calcário de diversas granulometrias atingir a eficiência de 100% em relação ao CaCO_3 (pó). Volksweiss et al. (1992).

6.6.5 - Poder Relativo de Neutralização Total – PRNT

Conjuga os parâmetros de **Poder de Neutralização (PN)** e **Reatividade (RE)**, conforme definido na legislação:

$$\text{PRNT} = \frac{\text{PN} \times \text{RE}}{100}$$

Um calcário com PRNT de 66% indica que uma tonelada desse calcário terá, em dois a três anos, o mesmo efeito de correção que 660 kg de CaCO_3 puro, finamente moído. Assim, quanto menor o PRNT, maior será a quantidade de calcário a ser usada. Por exemplo, para corrigir a mesma acidez de um solo que uma tonelada de calcário com PRNT = 100% corrige, são necessárias 1,25 t de calcário com PRNT = 80%, ou 1,67 t de calcário com PRNT = 60% (Volksweiss et al. 1992). Esses pesquisadores recomendam, ainda, que o agricultor faça opção pelo corretivo

que apresente o **menor custo posto na lavoura**, isto é, considerem, também, os custos do transporte e da aplicação, uma vez que corretivos com PRNT mais altos tendem a proporcionar custos finais mais baixos, devido aos menores gastos com aplicação e transporte.

6.6.6 - A questão do magnésio

O maior poder de neutralização dos compostos de magnésio implica no emprego de uma quantidade um tanto menor de corretivos quanto mais elevados os teores nesse elemento, em relação ao cálcio. Além disso, os corretivos magnesianos fornecem esse nutriente essencial, que em geral é deficiente nos solos regionais.

Para a maior parte das culturas, entretanto, o teor de magnésio do corretivo pode variar dentro de limites muito amplos. Gallo et al. (1956) não verificaram diferença na produtividade de soja, usando calcários com conteúdos variados de Ca e Mg.

Volkswiss et al. (1992) fazem referência a experimentos com a aplicação de corretivos variando a relação Ca:Mg entre limites de 35:1 até 1:3, não mostraram qualquer diferença de rendimento de soja, em solo de cerrado deficiente em Mg.

6.7 - Calcário no Pará

6.7.1 - Localização dos jazimentos, reservas oficiais, demanda potencial e preços de calcário agrícola

Este Estado pode ser considerado privilegiado no que diz respeito à existência de calcário em seu território. As reservas oficiais montam em 2.660.664.135 t (Riker,

1998), conforme constante no **Anexo I**. A **Figura 13** mostra os diversos pólos portadores de jazimentos desse insumo, bem distribuídos geograficamente, oferecendo condições favoráveis para produção descentralizada de pó calcário para corretivo de solos, desonerando o custo de transporte, que pesa substancialmente no preço final do produto ao agricultor, como configurado no **Quadro XIV**.

Essa figura apresenta, também uma estimativa da demanda potencial de calcário corretivo, com base na área plantada e um consumo idealizado de 2.500 kg/ha (Galvão, 2001).

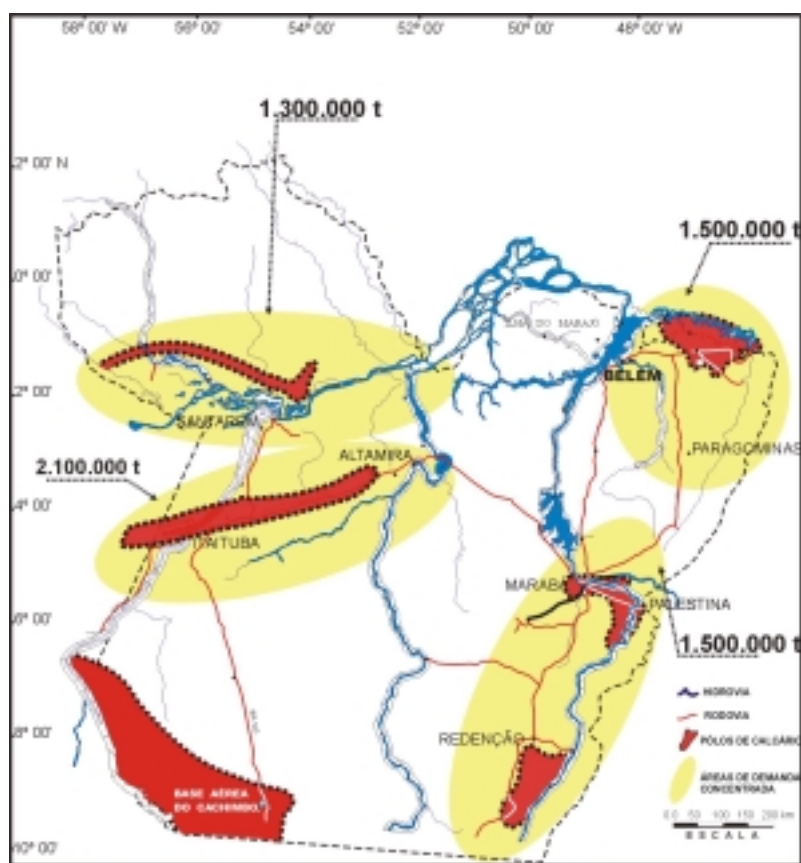


Figura 13 - Pólos de Calcário no Pará e Demanda Potencial de Calcário Agrícola (98/99)

QUADRO XIV – PERFÍL DE PREÇOS DE CALCÁRIO AGRÍCOLA

	(R\$/t)		
	Granel	Ensacado	Principais Procedências
Brasil (Centro-Sul)	15,00	33,00	-
Belém	75,00	120,00	Ceará
Altamira	-	180,00	Paraíba
Itaituba	-	180,00	Paraíba
Santarém	-	100,00 – 120,00	Maranhão e Tocantins
Paragominas	56,00 – 70,00	120,00	Riachão/Balsas (MA)
Redenção	56,00	190,00	Tocantins/Goiás
Marabá	90,00	110,00	Balsas (MA)

O Anexo I mostra, de forma ampliada, a distribuição dos jazimentos de calcário, com indicação do contexto geológico, reservas oficiais, e localização de ocorrências, depósitos, jazidas e minas, além das informações disponíveis sobre o conteúdo de CaO e MgO, como subsídios à implantação de usinas de beneficiamento e produção de calcário agrícola.

6.7.2 - O Pólo do Beneficente

Além dos pólos tradicionalmente considerados, em Itaituba/Aveiro e Uruará/Medicilândia, no eixo rio Tapajós – Rodovia Transamazônica; Monte Alegre, no Baixo Amazonas; Palestina, Marabá e extremo sudeste do Estado; e Capanema e adjacências, outro pólo com grande potencial a merecer investigações, localiza-se no sudoeste do Pará, na região da Serra do Cachimbo, no contexto geológico do Grupo Beneficente, onde também se vislumbra possibilidade para fosfato. Um furo de sondagem da CPRM, próximo à Base Aérea do Cachimbo, revelou expressiva seqüência carbonática/dolomítica, parte da qual aflora no rio Teles Pires. O projeto da hidrovia Tapajós – Teles Pires (AHIMOR, 1998) favorecerá a comunicação com o norte do Mato Grosso, zona de intensa atividade de agricultura, assim como o SE do Amazonas.

Enfatiza-se, mais uma vez, a atenção que deve ser dada a toda ocorrência já conhecida, ou a ser cadastrada, especialmente se localizada em áreas isoladas.

6.7.3 – Porque o Pará ainda não produz calcário agrícola

Apesar das condições favoráveis, conforme comentado no item anterior, no Pará não existem moageiras para produção de calcário agrícola. O principal motivo dessa realidade, tão prejudicial à agricultura da região, é que os direitos minerários sobre os jazimentos calcários do Estado, estão concentrados nas mãos de grupos empresariais que ainda não tiveram interesse em investir nesse segmento, nem terceirizam essa ação. Recentes negociações entre o Governo Estadual e a CVRD, reavaliando o pólo de Palestina, onde foi bloqueada uma reserva da ordem de 7,5 milhões de toneladas de calcário para correção de solos (Nunes, 2000), parecem mostrar a viabilidade de soluções para esse problema. Os detentores dos direitos minerários sobre os principais depósitos estão ligados à indústria do cimento e as tentativas de atraí-los ainda não frutificaram.

Uma outra razão vislumbrada pode dizer respeito à incerteza sobre a viabilidade econômica de um empreendimento nesse sentido, por falta de um estudo de mercado, que por sua vez é dificultado pela inexistência de dados estatísticos de demanda efetiva e potencial de pó calcário, aspectos que deveriam estar inseridos no planejamento da política agrícola regional. Sabe-se, todavia, que há uma forte demanda reprimida na zona de influência de todos os pólos potencialmente produtores.

A demanda por corretivos de solo é sazonal, estando vinculada ao calendário agrícola. Esse é outro ponto a administrar, uma vez que o minerador idealiza uma produção contínua. Diversificar o uso do calcário é uma estratégia viável, uma vez que esse bem mineral tem múltiplas aplicações: construção civil, siderurgia, indústria química (açúcar, p.ex.), etc. Outra possibilidade é a adoção de mecanismos oficiais de incentivo, garantindo a absorção do pó calcário produzido. No Rio Grande do Sul, por exemplo teve êxito um programa de apoio ao agricultor, desonerando-o dos custos de transporte do corretivo. Nesse estado o calcário agrícola é isento de ICMS.

Entre outros fatores que têm dificultado a produção de calcário agrícola no Pará, podem ser incluídos:

- conhecimento geológico dos principais depósitos voltado para exploração visando apenas à indústria do cimento;
- a pouca atenção dada ao estudo da possibilidade de exploração de pequenos jazimentos, em escala de produção para atender demanda localizada, especialmente nas regiões nordeste (Peixe Boi, Capanema, Bragança, Marapanim, Mãe-do-Rio, Santa Izabel, etc.) e sudeste (Redenção, Santana do Araguaia, Conceição do Araguaia). Recentemente, por iniciativa da SEICOM, a investigação mais detalhada de uma ocorrência conhecida há décadas, na região de Nova Canindé (Campinho), Município de Bragança (Ocorrência nº.24, no **Anexo I**), revelou tratar-se de um depósito com reserva preliminarmente estimada em torno de 10 milhões de toneladas de calcário, com teores de CaO + MgO que alcançam mais de 47%. O jazimento da fazenda Santa Fé, em Santana do Araguaia, é outro exemplo de depósito passível de alimentar a demanda regional com calcário de excelente qualidade.

6.7.4 – Ações do Governo Estadual*

** A quase totalidade dos projetos de exploração mineral no Pará são de grande escala e, ainda, estão voltados para a exportação. Há que se pensar agora no fortalecimento das pequenas e médias empresas, pela importância que representam para o grau de amadurecimento de um Estado que tem na mineração sua principal vocação. A viabilização de plantas de beneficiamento de calcário agrícola será responsabilidade da iniciativa privada, porém passível de ser apoiada pelo Governo do Estado, via fundos de incentivos criados para esse fim.*

Hildegardo Figueiredo Nunes
Vice-Governador do Pará - 2000

Visando definir mecanismos que viabilizassem a implantação de unidades moageiras no Pará, o Governo Estadual criou, em 1995, um Grupo de Trabalho, integrado por representantes da SAGRI, SECTAM, EMATER, SEICOM e PARAMINÉRIOS, cujo relatório (Coral et al., 1996) contém uma abordagem panorâmica sobre o tema, comportando conclusões e recomendações ainda válidas. Entre essas, destacam-se:

- caracterizar os diversos pólos potencialmente produtores;
- alertar sobre a falta de dados e da carência de controle estatísticos sobre a comercialização de insumos agrícolas no Estado, bem como sobre a inexistência de controle da qualidade desses insumos;
- recomendar a realização de programas de pesquisa para avaliar diversas ocorrências (Santa Izabel, Marapanim e Salinópolis),
- sugerir a viabilização de projetos de implantação de moageiras, através de Fundos de Financiamento (Fundo de Desenvolvimento Econômico do Estado do Pará – FDE; Fundo Constitucional de Financiamento do Norte – FNO; e o Programa Amazônia Integrada – PAI, do BNDES);
- sugerir uma estrutura básica, em termos de equipamento, para a montagem de unidades de beneficiamento com capacidade de produção de 50 t/h;

- analisar a estrutura de preços do calcário, incluindo o fator transporte, mostrando o quanto é oneroso para o agricultor paraense comprar calcário importado de outras regiões.

O Governo do Estado continua desenvolvendo ações, mobilizando instituições governamentais e privadas ligadas aos setores mineral e agrícola (SEICOM, SECTAM, PARAMINÉRIOS, SAGRI / EMATER, EMBRAPA e CPRM, além das empresas detentoras de direitos minerários sobre áreas de calcário - como o Grupo João Santos - e cooperativas de produtores rurais), buscando romper o paradoxo de administrar um Estado rico em calcário, mas que não produz esse insumo para uso na agricultura. A parceria com a Companhia Vale do Rio do Doce, viabilizando o pólo de Palestina, e a perspectiva de uma breve instalação de moageira na região de Nova Canindé, Município de Bragança, são frutos desse esforço governamental.

6.8 - O uso alternativo de cal virgem, cal hidratada, calcário calcinado e escórias

Apesar do maior PN, o que implica requerer uma menor quantidade de corretivos por área, os óxidos e hidróxidos apresentam algumas desvantagens para seu uso intensivo (Alcarde, 1985):

- são altamente reativos e devem ser imediatamente e muito bem incorporados ao solo, caso contrário a umidade e o CO₂ da atmosfera fazem com que se empedrem e se carbonatem;
- são de manuseio desagradável devido a alta causticidade, além do que a granulometria muito fina favorece perdas acentuadas em dias de vento;
- devido serem usados em menor quantidade, a distribuição uniforme no terreno pode ficar comprometida;
- são de custo elevado.

É importante atentar-se, entretanto, que o peso desproporcional nos custos de transporte, onerando substancialmente o custo final do calcário agrícola, pode abrir perspectivas para o uso opcional da cal virgem, da cal hidratada e, principalmente, do calcário calcinado. Parahyba (2000), estima que 2% da cal virgem e cal hidratada produzida anualmente no Brasil seja consumida na agricultura. Isso corresponde a algo da ordem de 120.000 t/ano.

Outra fonte alternativa, cuja viabilidade de aplicação merece ser investigada, são as escórias da siderurgia produzidas em Marabá.

6.9 - Calcário no Amapá

Referências a calcários no Amapá são muito raras. Silva Neto (1997) assinala o registro de rochas carbonáticas com teores de CaO+MgO da ordem de 38%, à profundidade de 15 a 20 m, espessuras de cerca de 20 m, associadas ao minério de manganês, na Serra do Navio. Há necessidade de investigações complementares para verificar a adequabilidade para uso agrícola desses carbonatos e a viabilidade de sua exploração.

Almeida et al. (1984), referem-se a ocorrências pouco expressivas de calcário no Igarapé Triunfo e no rio Ariramba, inferindo, ainda, a possibilidade desse bem mineral ocorrer em subsuperfície também na região de Aporema. Qualquer indício desse bem mineral no Amapá deve ser investigado em detalhe, uma vez que o preço da tonelada de calcário agrícola, ensacado, alcança atualmente a faixa de R\$200,00 (≅ US\$100,00) em Macapá. O Amapá é um mercado potencial para o pó calcário a ser produzido no Pará.

6.10 - Gipsita

6.10.1 - Generalidades

Esse mineral (CaSO₄.2H₂O) é um produto da hidratação da anidrita (CaSO₄) formada pela evaporação da água do mar.

Como insumo agrícola é usado na neutralização de solos alcalinos, salinos e salino-alcalinos; aumenta a permeabilidade e trabalhabilidade de solos argilosos; bem como pode ser uma fonte opcional de enxofre para as plantas, especialmente as leguminosas (Pressler, 1985). O gesso, como normalmente é conhecido esse produto, já era usado como adubo por gregos e romanos (Malavolta et al., 1981) e continua sendo consumido na Europa Ocidental. Pressler (op. cit) estimou uma demanda da ordem de 1,5 milhões de toneladas de gesso agrícola nos Estados Unidos, por volta do ano 2000.

No Brasil, onde predomina solos ácidos, inúmeros estudos têm sido desenvolvidos no sentido de utilizar na agricultura o fosfogesso, subproduto da indústria de fertilizantes. Embora o gesso não tenha poder de neutralizar a acidez do solo, pesquisas têm mostrado que sua aplicação contribui para diminuir a saturação de alumínio em camadas subsuperficiais, conforme discutido por Malavolta et al. (1986), Guimarães (1986), Paolinelli et al. (1986), e Rocha (1986), entre outros. O efeito da calagem ocorre, de modo apreciável, somente na camada mais superficial do solo (até 10 a 30 cm). Abaixo desse horizonte permanece, em geral, um solo não-corrigido, que pode prejudicar o desenvolvimento do sistema radicular e o aproveitamento de adubo. Com a aplicação do gesso, o produto da sua dissociação (Ca^{2+} e SO_4^{2-}) desce para camadas mais profundas do perfil onde o cálcio, dissociado, desloca o Al^{3+} , que se imobiliza na forma de sulfato. Isso diminui a saturação de alumínio no complexo de troca e aumenta a disponibilidade de cálcio, favorecendo um melhor desenvolvimento da planta (Pavan, 1981). Nesse caso, recomenda-se o uso combinado da aplicação de gesso e da calagem, potencializando-se os efeitos das duas práticas.

Não existem informações confiáveis sobre o consumo de gesso agrícola e fosfogesso na agricultura brasileira (Lyra Sobrinho & Amaral, 2000), mas sabe-se que esse é um mercado secundário, em relação ao segmento de calcinação (placas, revestimentos e moldes cerâmicos) e

cimenteiro.

6.10.2 - Gipsita no Pará

O Pará é detentor da 2ª maior reserva de gipsita no país, respondendo com 31,5% do total, sendo superado pela Bahia (44,4%), e seguido por Pernambuco (18,4%), e Maranhão, Ceará, Rio Grande do Norte, Tocantins e Amazonas (Lyra Sobrinho & Amaral, 2000). Não há, porém, produção de gipsita no Pará. A localização dos jazimentos e das áreas favoráveis está mostrada no **Anexo I**, em ambiência geológica relacionada à seqüência evaporítica da Formação Nova Olinda, nos dois flancos da Bacia do Amazonas.

A principal concentração aflorante conhecida, é a jazida do Rio Cupari, onde a CPRM, que detém os direitos minerários sobre a área, cubou uma reserva total de 543.133.625 de toneladas (Damasceno, 2000). A jazida do Rio Nhamundá, em Faro, e o depósito do igarapé Pagão, em Itaituba, estão sob controle do Grupo João Santos.

6.11 - Turfa

6.11.1 - Generalidades

Numa conceituação básica, turfa é uma substância fóssil, organomineral, com menos de 25% de massa inorgânica (referível à base seca), e originada da decomposição de restos vegetais em áreas alagadiças como pântanos, regiões de várzeas (áreas de inundação), planícies costeiras e regiões lacustres. Resulta da decomposição incompleta de material lenhoso e de arbustos, musgos e líquens, em condições aquosas, e ambiente anóxico, favorecendo o desaparecimento da estrutura vegetal, a perda do oxigênio e o enriquecimento relativo em carbono (Davis, 1985; Hoffman & Austin, 1994; Franchi, 1997).

Representa o estágio inicial da série que define a classe dos carvões (*turfa*, *linhito*, *carvão*, *carvão sub-betuminoso*, *carvão betuminoso*, *antracito*, e *meta-antracito*) (Blatt et al., 1991). O tipo de matéria vegetal e o grau de decomposição determinará o campo potencial de aplica-

ção da turfa que é usada, especialmente, com finalidades agrícola e energética.

6.11.2 - Classificação das turfás

Os diversos sistemas de classifica-

ção tentam, basicamente, reconhecer o grau de decomposição, conforme compilado por Franchi (1997), no **Quadro XV**.

QUADRO XV – CLASSIFICAÇÃO DAS TURFAS QUANTO AO GRAU DE HUMIFICAÇÃO

Sistema de classificação	Grau de humificação		
	Fibrosa	Hêmica	Sápica
U.S.D.A. (1)			
Soviético (2)	10, 20, 30	40, 50, 60	70, 80, 90, 100
Sueco (3)	1, 2, 3	4, 5, 6	7, 8, 9, 10
I.P.S. (4)	Leve (> 2/3 de fibras reconhecíveis)	Escura (1/3 a 2/3 de fibras reconhecíveis)	Preta (< 1/3 de fibras reconhecíveis)

Fibras	(+)	(-)
Massa. Específica Aparente	(-)	(+)
PH	(-)	(+)
Carbono	(-)	(+)

(1) U.S. Department of Agriculture and Agricultural Experiment Stations

(2) INSTORF (Instituto Soviético de Turfa)

(3) Von Post (Suécia)

(4) International Peat Society

Segundo a classificação da *International Peat Society*:

- **Turfa Leve** – é pouco decomposta, geralmente marrom avermelhada, com a porção orgânica contendo mais de 2/3 de fibras vegetais reconhecíveis, e o restante, decomposto além do reconhecimento. É encontrada em ambiente ácido, formando as camadas mais superficiais das turfeiras (em geral, derivadas de musgos), tendo muito boa aceitação como substrato para formação de mudas;

- **Turfa Escura** – representa um grau intermediário entre a turfa leve e a preta, com tonalidades entre o marrom e o preto, apresentando 1/3 a 2/3 de fibras reconhecíveis. Normalmente é formada por grammas, arbustos, plantas rasteiras silvestres e plantas aquáticas;

- **Turfa Preta** – contém menos de 1/3 de fibras reconhecíveis, podendo apresentar forma gelatinosa. Algumas vezes se forma a partir da acentuada decomposição dos outros dois tipos. Outras vezes, o processo se dá a partir da sedimentação, no fundo de lagos rasos, de plantas aquáticas e

algas mortas (sapropelito). Apresentam teor bastante elevado em húmus.

6.11.3 - Uso agrícola da turfa

A turfa desempenha um papel múltiplo, de fertilizante e de aditivo (condicionador/corretivo) de solos. Como aditivo, neutraliza o pH de solos alcalinos [o pH das turfás varia na faixa de 2,8 a 4,0 (Harben, 1992)]. Devido à elevada capacidade de troca catiônica (CTC), absorve os nutrientes e libera-os lentamente, aumentando a eficiência dos fertilizantes. Outras propriedades físicas que podem ser úteis na agricultura incluem a elevada capacidade de reter água, baixa densidade, baixa condutividade térmica, alta porosidade e elevada resistência à alteração (Prud'homme, 1989). Além disso, aumenta o conteúdo de matéria orgânica e fornece nitrogênio adicional ao solo.

A turfa, para fins agrícolas, é utilizada no Canadá, Estados Unidos, Finlândia, Suécia, Alemanha e Irlanda, entre outros. No Brasil, pode-se exemplificar a turfa explorada pela Eucatex Mineral Ltda, na Mina Eugênio Melo, em São José dos Campos (SP), que é empregada no fabrico de:

- substratos para formação de mudas, em utilização com bandejas;
- condicionadores, para incorporação em solos cultivados;
- condicionadores, para incorporação em solos degradados, visando a recuperação;
- produtos de paisagismo e jardinagem.

Uma característica da comercialização de turfa é que o mercado deve localizar-se próximo do local de produção. O alto teor de umidade, com conseqüente densidade elevada, torna o produto economicamente proibitivo se envolver transporte a longas distâncias.

6.11.4 – Análises

Para uso agrícola, as amostras de turfa devem ser submetidas à seguinte bateria de análises, conforme constante em Franchi (1997):

- **Umidade total** – é ideal que tenha umidade média de 45 a 50%, em peso (umidade média de comercialização). Com níveis de umidade inferiores a 35%, a turfa perde parte de suas propriedades agrícolas;
- **Cinzas** – reflete o teor da fração inorgânica, expresso como % em peso, e referível à massa seca; é um dos principais indicadores da qualidade da turfa, de vez que influi diretamente no seu teor de húmus;
- **M.E.A.** (Massa Específica Aparente) – é o quociente entre a massa da amostra *in natura* e o volume *in situ*; é importante sua determinação para níveis de 45 a 50% de umidade (condição de comercialização); depende do teor de cinzas, do tipo de vegetação que constitui a turfa e de seu estado de humificação;
- **Natureza da matéria orgânica predominante** – determina propriedades como presença e tamanho de fibras,

capacidade adsortiva, capacidade de retenção de água, etc.;

- **CTC** (Capacidade de Troca Catiônica) – é também um dos principais indicadores da qualidade, pois confere ao solo a possibilidade de reter mais nutrientes;
- **CRA** (Capacidade de Retenção de Água) – confere ao solo a possibilidade de enfrentar períodos prolongados de estiagem. Há certas turfas com CRA de até 500%;
- **ED** – teste de germinação para determinar a presença de sementes de ervas daninhas, configurando, ou não, a necessidade de esterilização do material, antes de comercializá-lo;
- **Fitotoxicidade** – teste de germinação de semente sensível (alface, normalmente); é um indicador da presença de certos elementos (Al, Mn) em quantidade tóxicas;
- **Presença de organismos patogênicos** (especialmente nematóides);
- **Carbono total** (reflete o grau de humificação);
- **Relação C/N:** é desejável todo fertilizante organomineral ter valor mínimo de 12 e máximo de 18 para essa relação;
- **N, P e K;**
- **pH** – definirá a concentração da substância (CaCO₃, CaO, MgO, amoníaco, etc.) a ser usada na neutralização da turfa (condição para comercialização).

6.11.5 - Turfa no Amapá e Pará

As referências a turfeiras nesses dois estados são raras. Há registro de ocorrências na Ilha do Marajó, no Pará e na zona costeira do Amapá (Suszczyński, 1979), como constante no **Anexo I**. Com efeito, a fisiografia dessas regiões comporta condicionamentos favoráveis à acumulação desse produto organomineral, da

mesma forma que as zonas de inundação dos grandes rios regionais, especialmente o Amazonas. Nas margens desse rio, à altura da Ilha de Tupinambarana, no Estado do Amazonas, próximo à divisa com o

Pará, Araújo (1980), prospectando turfa para fins energéticos, individualizou três compartimentos no Quaternário, todos com registros de acumulação orgânica (**Figura 14**).

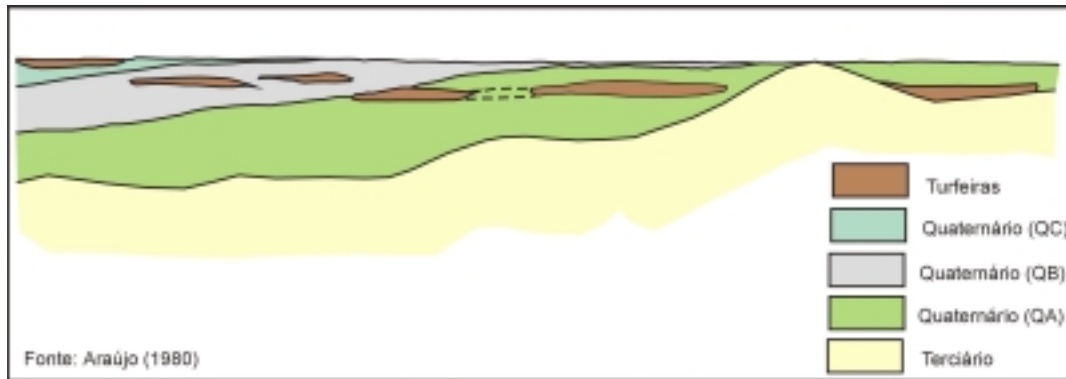


FIG. 14 - Perfil Esquemático das Ocorrências de Turfa nos Vários condicionamentos

O nível inferior (QA) refere-se ao desenvolvimento de turfa nas depressões do paleo-relevo, na interface com o Terciário (**Foto 2**). O compartimento médio (QB) é facilmente caracterizado por sua marcante estruturação sedimentar, seu relacionamento fisiográfico com desembocaduras afogadas, e paleocanais abandonados (**Fotos 3 e 4**). O nível mais superior (QC) corresponde ao Quaternário Recente, de ampla distribuição nas porções mais baixas da topografia e onde se constata a acumulação atual de matéria orgânica. Quanto ao conteúdo de cinzas, apesar dos valores em geral elevados, há registros de apenas 14%, com alta percentagem de material volátil e carbono fixo.

Lima et al. (2000) referem-se a um processo de acumulação recente de matéria orgânica, nos chamados **solos de igapó** (tecnicamente denominados *Bog* ou *Holt bog*) que, em síntese, refletem as condições de formação de turfeiras. Segundo esses pesquisadores, os solos de igapó consistem de uma camada superficial, muito ácida, formada por material orgânico em decomposição quase sempre anaeróbica, devido ao excesso de água durante grande parte do ano, havendo registros de teores de matéria orgânica da ordem de 47% e 2,01% de nitrogênio. Esses pesquisadores

consideram que um dos fatores que concorrem para a formação dos solos nas áreas inundáveis é a matéria orgânica resultante dos detritos vegetais desprendidos do revestimento florístico. Nesse caso, o material proveniente das várzeas altas podem ser deslocados para as várzeas baixas durante as marés sizigiais dos equinócios e, pelo arrasto, para os rios, no refluxo dessa marés. Na várzea baixa, a umidade permanente dificulta o processo de decomposição da matéria orgânica, que se acumula em grande quantidade.

6.12 - Farinha de rocha

Farinha de rocha é o nome dado às rochas moídas ou trituradas para uso agrícola, e pode ser formada por uma ou mais rochas. O calcário agrícola, por exemplo, é farinha de rocha calcária. Barreto (1998), relata experimentos bem sucedidos com emprego de uma mistura de iguais proporções de micaxisto e serpentinito. Esse pesquisador recomenda a utilização de rochas com composição química bem diversificada, destacando, de uma maneira geral, as de natureza básica e ultrabásica como gabros, basaltos, peridotitos, serpentinitos, anfíbolitos, piroxenito e micaxistos, especialmente biotita xistos com muito feldspato, rochas alcalinas, ricas em potássio, são



Foto 2 – Superfície ondulada do paleo-relevo do Terciário, sobre o qual se observa, muitas vezes, o preenchimento de material orgânico determinando o desenvolvimento das turfeiras na região do Paraná do Ramos (Am). Fonte: ARAÚJO (1980)



Foto 3 – Drenagens suportadas pelo Quaternário, com a presença de meandros abandonados, freqüentes diques marginais e rios afogados com o lago Grande do Urariá. Fonte: ARAÚJO (1980)

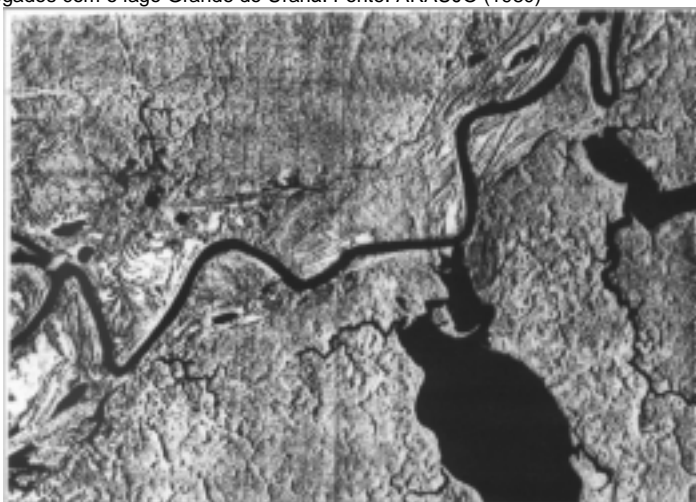


Foto 4 – Aspectos das desembocaduras afogadas dos rios Maués-Açu e Maués-Mirim. Fonte: ARAÚJO (1980)

também adequadas a esse fim. Como no caso dos calcários agrícolas, a granulometria do produto final é um fator importante a considerar.

Embora o processo de beneficiamento tenha custos elevados, e exija, inclusive, a disponibilidade de energia, esse material pode ser um insumo de uso alterna-

tivo, tanto no Pará como no Amapá, onde há uma diversidade de sítios geológicos contendo matéria-prima para produção.

É importante que o consumo esteja de preferência próximo da fonte de produção, e em localidades onde o preço de transporte inviabilize a aquisição dos fertilizantes e corretivos mais tradicionais.

7 - Conclusões

- 1) A agricultura da região Amazônica, no geral, ainda é marcada por um índice de produtividade aquém de seu potencial, como reflexo direto do baixo padrão tecnológico que a caracteriza. Entre os diversos fatores que contribuem para essa realidade, destaca-se a pouca utilização de fertilizantes e de aditivos (corretivos ou condicionadores) de solos;
- 2) Pesquisas têm comprovado que o uso de adubos e corretivos contribui significativamente para uma agricultura sustentável, onde o lucro do agricultor caminha lado a lado com o equilíbrio ambiental;
- 3) Entre as principais razões para baixo uso desses insumos está seu preço elevado. Entretanto, o uso de adubos e corretivos agrícolas é apenas um dos componentes, de uma gama de fatores interligados, que caracterizam o reduzido padrão tecnológico da agricultura regional. No conjunto desses componentes inclui-se também limitações na assistência técnica, no zoneamento agroecológico, na disponibilidade de energia, na infraestrutura de transporte, no acesso a crédito por parte do produtor, no uso de irrigação, no manejo adequado do solo, na adaptabilidade dos cultivares plantados, no espaçamento entre plantas e no cronograma de plantio, entre outros.
- 4) A favorabilidade geológica para jazimentos de insumos minerais para agricultura no Pará e Amapá pode ser sintetizada no seguinte panorama:

Fosfato

- a) Complexos alcalino-carbonatíticos, como exemplificado pelo jazimento da Serra de Maicuru, o maior depósito de rochas fosfáticas já identificado na Amazônia;
- b) Concentrações supergênicas de fosfatos aluminosos, como os existentes no NE do Pará e NW do Maranhão. Ou-

tros focos podem ocorrer nesses estados, e na Amazônia como um todo;

- c) Concentrações associadas aos folhelhos pretos paleozóicos, da Bacia do Amazonas
- d) Concentrações associadas às rochas proterozóicas do Grupo Beneficente, na região da Serra do Cachimbo (PA);
- e) Concentrações associadas a seqüências sedimentares e metassedimentares da Faixa Araguaia (PA).

Potássio e sais solúveis de magnésio

Seqüência evaporítica paleozóica da Formação Nova Olinda, na Bacia do Amazonas, onde já se tem ocorrência registrada em subsuperfície.

Enxofre

- a) Mineralizações sulfetadas, de onde o enxofre pode ser extraído com subproduto industrial;
- b) Potencial idealizado para depósitos estratiformes de enxofre nativo na seqüência sedimentar da Bacia Amazônica;
- c) Possibilidade de enxofre recuperado em plantas de gás natural e petróleo;
- d) Gipsita, na formação Nova Olinda;
- e) Piritas, nos folhelhos negros da Formação Curuá.

Calcário agrícola

Constata-se a existência de diversos pólos no Pará, bem distribuídos geograficamente:

- a) na região NE do Estado, com jazimentos associados à Formação Pirabas;

- b) no Baixo Amazonas, região de Monte Alegre – Alenquer, no flanco norte da Bacia do Amazonas, com jazimentos associados à Formação Itaituba;
- c) no oeste paraense, região do rio Tapajós e rodovia Transamazônica, onde se localizam os mais importantes jazimentos, no contexto da Formação Itaituba, no flanco sul da Bacia do Amazonas;
- d) no SE do Estado, associados às seqüências sedimentares da Bacia do Parnaíba (formações Pedra de Fogo e Codó), na região de Palestina e Marabá; à Faixa Araguaia, como exemplificado em Conceição do Araguaia e Redenção; e jazimentos relacionados a unidades mais antigas, como em Santana do Araguaia;
- e) no extremo SW paraense, na região da Serra do Cachimbo, associado à seqüência proterozóica do Grupo Beneficente.

No Estado do Amapá, há registro de ocorrências pouco expressivas de calcário no baixo curso do rio Araguari e na localidade de Aporema, correlacionadas à Formação Pirabas, e uma ocorrência em sub-superfície, associada ao minério de manganês, na Serra do Navio. A produção de pó calcário no Pará beneficiará, também, o Amapá, onde a tonelada desse corretivo alcança atualmente a faixa de R\$200,00 (≅ US\$100.00).

Gipsita

A favorabilidade está concentrada na seqüência evaporítica da Formação Nova Olinda, em ambos os flancos aflorantes da Bacia do Amazonas. Há três depósitos dimensionados nesse metalotecto.

Turfa

A região comporta grandes extensões de terrenos quaternários favoráveis à acumulação de turfa, especialmente as zonas de inundações e desembocaduras dos grandes rios, as depressões do paleo-

relevo na interface Terciário – Quaternário, e os paleocanais abandonados, além de acumulações recentes, em solos do tipo igapó.

Farinha de rocha

Compreende insumo agrícola obtido a partir da moagem de certos litotipos, especialmente rochas de composição básica, ultrabásica e alcalina. Pode servir como uso alternativo em zonas onde o custo de transporte eleva o preço, e inviabiliza a aquisição dos adubos e corretivos de solo tradicionais.

As escórias de siderurgia, na região de Marabá, podem ser outro produto alternativo para uso na agricultura, naquela região.

1. Apesar de suas imensas reservas de calcário agrícola, o Pará não produz esse insumo, essencial a um desempenho competitivo de sua lavoura. Isso se deve, principalmente, ao fato de que os detentores dos direitos minerários dos maiores jazimentos de calcário têm interesse centrado exclusivamente na indústria do cimento. Recentes iniciativas do Governo Estadual, através de parcerias multi-institucionais, parecem conduzir à reversão desse paradoxo. Uma outra razão vislumbrada pode dizer respeito à incerteza sobre a viabilidade econômica da instalação de unidades de moagem. Não há estudo de mercado, o que é dificultado pela inexistência de dados estatísticos de demandas, efetiva e potencial, de pó calcário, aspectos que deveriam estar inseridos no planejamento da política agrícola regional. Sabe-se, todavia, que há uma forte demanda reprimida na zona de influência de todos os pólos potencialmente produtores.

A produção de calcário agrícola, a preços competitivos, nos diversos pólos geográficos do Estado, é apenas um componente da cadeia de fatores requeridos para elevar o padrão tecnológico da agricultura regional.

8 - Referências Bibliográficas

- AGROCERES. Complexo Agroindustrial, o Agribusiness Brasileiro. In: BECKER, F.C. *Calcários Agrícolas. WORKSHOP DO PROGRAMA DE AVALIAÇÃO GEOLÓGICO-ECONÔMICA DE INSUMOS MINERAIS PARA AGRICULTURA NO BRASIL-PIMA*, 1, Rio de Janeiro: CPRM, 1996.
- AHIMOR. *Eixos de desenvolvimento: Oportunidades de investimentos no Pará. WORKSHOP*, 1998. Administração das Hidrovias da Amazônia Oriental, 1998.
- ALCARDE, J.C. Corretivos da acidez dos solos: características de qualidade. In: *Seminário sobre Corretivos Agrícola*. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 375p. Cap.3, pp. 97-119.
- ALMEIDA, C.A.O. et al. Projeto Calcário – Amapá. Belém: IDESP, 1984 [Relatório Final].
- AL-SAWAT, F.D.S. Sulfate Reduction and Sulfur Deposition in the Lower Fars Formation, Northern Iraq. *Economic Geology*, v. 72, p. 608-618, 1977.
- ALTSCHULER, Z.S. The weathering of phosphate deposits: geochemical and environmental aspects. In: SHELDON, R.P. Ancient Marine Phosphorites. *Annual Review Earth Planetary Science*, 1981, v.9, p.251-284.
- ANGÉLICA, R. S. *Dispersão mineralógica e geoquímica em crostas e solos lateríticos aplicada à caracterização do substrato do Complexo de Maicuru – Pará*: Belém, 1991. 200p. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) Centro de Geociências, UFPA.
- ANÔNIMO. A prática da calagem. In: *SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS*. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 375p. Cap.10, P. 313-357.
- ARAÚJO, J.F.V. et al. *Geologia da Folha SA.21 (Santarém)*. Rio de Janeiro: Projeto RADAM BRASIL, 1976. (Levantamento de Recursos Naturais, 10)
- ARAÚJO, O.J.B. de. Pospecto Maués – Tupinambarana. Relatório final. Belém: CPRM – DIV-PES. 1980. 26p. il.
- BARRETO, S.B. Farinha de rocha. MB-4 e o solo. Disponível no site www.mibasa.com.br. Acessado em 28.02.01
- BARTZ, H.R. et al. *Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. 3.ed. Passo Fundo - RS: SBCS - Núcleo Regional Sul, 1994. 224p.
- BECKER, F.C. Calcários Agrícolas. In: *WORKSHOP DO PROGRAMA DE AVALIAÇÃO GEOLÓGICO-ECONÔMICO DE INSUMOS MINERAIS PARA AGRICULTURA NO BRASIL - PIMA*, 1, Rio de Janeiro. *Relatório Final*. Rio de Janeiro: CPRM, Maio/1996.
- BLATT, H., BERRY, W. B. N., BRAND, S. *Principles of Stratigraphic Analysis*. Blackwell Scientific publications, 1991.
- BRAUN, W. A. G. (a) - Os fosfatos de alumínio do Brasil, sua tecnologia e uso agrícola. *Fertilizantes*, v. 5, n.1. Julho, p. 3-11, 1983.
- BRAUN, W.A.G (b) - Compatibilização da pesquisa agrônômica com o desenvolvimento da indústria de fertilizantes – um problema político. *Fertilizantes*, v.5. n. 1. Julho, p.1-3,1983.

- CAPUTO, M.V. Apostila de Estratigrafia Moderna. Cursos de Pós Graduação em Geologia, do Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará. 2000 (modificado de FISCHER, A.G., ARTHUR, M.A, Soc. Econ. Paleont. And mineral, Spec. Publ., n. 25, p. 19-50, 1977).
- CASTRO, C., SILVA, G.R., COSTA, M.L. A viabilidade de termofosfatos a partir de matérias-primas de Maicuru e sua importância para o desenvolvimento mineral e agrônômico da Amazônia. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3, Belém, 1991. *Anais ...*Belém: SBG, 1991. P. 260 – 274.
- COLEMAN & THOMAS (1967) In: MELLO, F.A.F. *Origem, natureza e componentes da acidez do solo: critérios para calagem*. Seminário sobre corretivos...1985. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 375p. P. 67 – 93.
- COOK, P.J. Sedimentary phosphate deposits. In: WOLF, K. H. ed. *Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits*. Amsterdam: Elsevier, 1976. v.7. P. 505-535.
- CORAL, R.P.S.P. et al. *Viabilidade para implantação de unidades moageiras de calcário e fosfato no Estado do Pará*. Belém: SEICOM - PA, 1996.
- COSTA, M. L. *Minerais, Rochas e Minérios – Riquezas Minerais do Pará*. Pará: Falângola, 1996, 309p. il.
- CPRM. Nota Explicativa do Mapa Síntese do Setor de Fertilizantes Minerais (NPK) no Brasil. 1997.
- DAMASCENO, B.C. *Gipsita no Rio Cupari, Região Centro-Oeste do Estado do Pará*. Belém: CPRM, 2000. (Informe de Recursos Minerais, Série Oportunidades Minerais, 9).
- DAVIS, C. L. Peat. *Mineral Facts and Problems*. US Bureau of Mines, 675, 1985. P.563-571.
- DIDYK, B.M., et al. Organic Geochemical indications of paleoenvironmental conditions of sedimentation. *Nature*, v. 272, n.5850, p.216-222, 1978.
- EMBRAPA. Adubar e manejar é a alternativa para reduzir o fogo na pecuária. *Jornal do Trópico Úmido*, Belém: v.12, n.29. Abril/Maio/Junho, 2000. p.6.
- FAO. *Production Yearbook, 1995*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1995.
- FEIGL, F., BRAILE, N., MIRANDA L.I. A solubilização da Bauxita Fosforosa do Maranhão, Brasil. In: OLIVEIRA, COSTA (1984). CONGRESSO PAN-AMERICANO DE ENGENHARIA DE MINAS E GEOLOGIA, 2, 1946. *Anais...* 1946. P. 2-141.
- FRANCHI, J.G. *Turfa para fins agrícolas*. Apostila de suporte ao curso apresentado a profissionais da CPRM no 2 *Workshop* do PIMA. São Paulo, julho/1997.
- GALLO,J.R., CATANI, R.A., GARGANTINI, H.(1956) In: ALCARDE,J.C. *Corretivos da acidez dos solos: características de qualidade*. Seminário sobre corretivos...1985. Campinas: Fundação Cargill, 375p. Cap.3. P. 97-119.
- GALVÃO, A. A. Demanda estimada de pó calcário no Pará no ano agrícola 99/00. Informações repassadas a Nélio das Graças de Andrade da Mata Rezende, em 06.03.2001, na SAGRI.

- GOEDERT, W.J., REIN., T.A., SOUZA, D.M. G. Eficiência Agronômica de fertilizantes fosfatados não-tradicionais. In: CASTRO, et al. (1991) ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA, 3. Brasília, 1986. *Anais...* Brasília: IBRAFOS, 1986. P 415 – 426.
- GOMES, A.G., GARGANTINI, H., GUIMARÃES, G., WUTKE, A.C.P.(1962). In: ALCARDE, J.C. *Corretivos da acidez dos solos: características de qualidade*. Seminário sobre Corretivos... 1985. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 375p. Cap.3, P.97-119.
- GOMES, A., GARGANTINI, H. , BLANCO, H.G.(1965). In: ALCARDE, J. C. *Corretivos da acidez dos solos: características de qualidade*. Seminário sobre Corretivos.... Campinas: Fundação Cargill, 1985. 375p. Cap.3, P. 97-119.
- GUARDANI,R. Termosfosfato magnesiano fundido: novos desenvolvimentos na tecnologia de produção. In: CASTRO, C., SILVA, G.R., COSTA, M. L. A viabilidade de termosfosfatos a partir de matérias-primas de Maicuru e sua importância para o desenvolvimento mineral e agrônomo da Amazônia. SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZONIA, 3, Belém, 1991. *Anais do...* Belém: SBG, 1991. P. 264-274.
- GUIMARÃES, P.T.G. O gesso agrícola na neutralização do alumínio nas camadas subsuperficiais do solo: aplicação às culturas anuais e perenes. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1, Brasília, 1985. *Anais do...*Brasília: EMBRAPA, DDT, 1986, 296p. P.145-167.
- HARBEN, P.W. The Industrial Minerals Handbook: A Guide to Markets, Specifications & Prices. In: HOFFMAN, G. K., AUSTIN, G.S. Agricultural materials: soil additives. *Industrial Minerals and Rocks*. 6 ed. Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 1994. P.96.
- HARRE, E.A., MORTVEDT, J.J. *Agricultural Materials: Fertilizers*. In: INDUSTRIAL MINERALS AND ROCKS. 6ed. Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 1994. P. 81 – 87.
- HOFFMAN, G.K., AUSTIN, G. S. *Agricultural materials: Soil Additives*. In: INDUSTRIAL MINERALS AND ROCKS. 6ed. Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 1994. P. 89-96.
- IBGE (a) *Censo agropecuário 1995 – 1996*. Brasil. Rio de Janeiro, n.1, 1998.
- IBGE (b) *Censo agropecuário 1995 – 1996*. Rondônia. Rio de Janeiro, n.2, 1998.
- IBGE (c) *Censo agropecuário 1995 – 1996*. Acre, Roraima, Amapá. Rio de Janeiro, n.3,1998.
- IBGE (d) *Censo agropecuário 1995 – 1996*. Amazonas. Rio de Janeiro, n.4, 1998
- IBGE (e) *Censo agropecuário 1995 – 1996*. Pará. Rio de Janeiro, n.5, 1998.
- IBGE (f) *Censo agropecuário 1995 – 1996*. Tocantins. Rio de Janeiro, n.6, 1998
- IBGE *Levantamento Sistemático da Produção Agrícola*. Rio de Janeiro, v.12, p.1-94, ago., 2000.
- KAZANOV, V. The phosphorite facies and the genesis of phosphorites. In: SHELDON, R.P. Ancient Marine Phosphorites. *Annual Review Earth Planetary Science*, 1981, v.9, p.251-284.

- LEMOS, R.L., FONSECA, L.R., MARTINS, L.P.B. *Petrografia do Complexo Alcalino-Ultramáfico-Carbonatítico de Maicuru – PA*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, Belém, 1988. *Anais do...* Belém: SBG, 1988. v.3. P.115.
- LEMOS, R.L., COSTA, M.L. Aspectos mineralógicos dos lateritos da Serra de Maicuru, Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 2, Rio de Janeiro, 1989. *Anais do ...Rio de Janeiro*: SBG, DNPM-CPRM, 1989, 234p P.2.
- LIMA, R.R., TOURINHO, M. M., COSTA, P.C. *Várzeas flúvio-marinhas da Amazônia Brasileira* características e possibilidades agropecuárias. Belém: FCAP, Serviço de Documentação e Informação, 2000. 342p.
- LIMA, E. de A. M. , LEITE, J.F. *Projeto estudo global dos recursos minerais da bacia sedimentar do Parnaíba*. Integração geológico-metalogenética. Relatório final de etapa ...Texto. Recife: CPRM, 1978. 4v.
- LOPES, A. S. *Guia das melhores técnicas agrícolas*. São Paulo: ANDA, 1996. 28p. il. (Boletim Técnico).
- LYRA SOBRINHO, A.C.P., AMARAL, A.J.R. Gipsita. *Sumário Mineral*. Brasília: DNPM, v.20, 2000.
- MACAMBIRA, E.M.B. et al. *Projeto Sulfetos de Altamira-Itaituba*. Relatório Final. Belém: DNPM – CPRM, 1977.
- MACAMBIRA, E. M. B. Índícios de rochas fosfatadas no flanco sul da Bacia Amazônica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, Recife. 1978. *Anais do...* Recife: SBG, 1978. v.4: 1494-1509.
- MALAVOLTA, E., ROMERO, J.P., LIEM, T.H., VITTI, G .C. (1981) Gesso Agrícola: seu uso na adubação e correção do solo. In: PAOLINELLI, M.T. et al. *Seminário sobre uso do fosfogesso na Agricultura*. 1, Brasília, 1985. *Anais do...*Brasília: EMBRAPA, 1986. P.197-207.
- MALAVOLTA, E., GUILHERME, M.R., LIEM, T.H. Associações fosfogesso-calcário: princípios e aplicações. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA. 1, Brasília, 1985. *Anais do...*Brasília: EMBRAPA, DDT, 1986, 296p. P.177-196.
- MALAVOLTA, E. Calagem, Adubação e Produtividade Agrícola. Piracicaba-SP. In: BECKER, F.C. *Calcários Agrícolas. WORKSHOP DO PROGRAMA DE AVALIAÇÃO GEOLÓGICO-ECONÔMICA DE INSUMOS MINERAIS PARA AGRICULTURA NO BRASIL – PIMA*. 1, Rio de Janeiro: CPRM, Maio/1996. [Relatório Final].
- MELLO, F.A. Origem, natureza e componentes da acidez do solo: critérios de calagem. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 375p. P.67–93.
- MITCHELL, A. H. G., GARSON, M. S. Mineral Deposits and Global Tectonic Settings. In: BLATT,H., BERRY, W.B.N., BRAND,S. *Principles of stratigraphic analysis*. Blackwell Scientific Publications. 1991. Cap. 12 – I.
- MONTEIRO, R. W., OLIVEIRA, N. P. Estudo de solubilidade dos fosfatos de Pirocaua e Trauíra (MA) e Itacupim e Jandiá (PA) a diferentes temperaturas, visando seu aproveitamento agrícola. In: OLIVEIRA, N. P., COSTA, M. L. Os fosfatos aluminosos do Pará e do Maranhão: estágio atual de conhecimentos e estratégia para o aproveitamento econômico. *Ciências da Terra*, n.10, 1984.

- NUNES, H.F. *O Estado do Pará e a democratização do subsolo*. Belém-Pará: Delta, 2000. 73p. il.
- OLIVEIRA, N. P., COSTA, M. L. Os fosfatos aluminosos do Pará e do Maranhão: estágio atual de conhecimentos e estratégia para o aproveitamento econômico. *Ciências da Terra*, n.10,1984.
- OLIVEIRA, L.A.M. *Potássio*. Sumário Mineral. Brasília: DNPM, v.1, 2000.
- PAOLINELLI, M.T., OLIVEIRA, P.M., SANTOS, P.R.R.S., LEANDRO, V.P., MORAES, M.V. O gesso agrícola na neutralização do alumínio nas camadas do solo: aplicações às culturas anuais e perenes. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1, 1985. *Anais do...*Brasília: EMBRAPA-DDT, 1986.296P.
- PARÁ. *Produção Agrícola do Estado do Pará 1993 – 1997*; dados estatísticos. Belém: SAGRI, 1998. v.2.
- PARAHIBA, R.E.R. *Ca*. Sumário Mineral. Brasília: DNPM, v.1, 2000.
- PARAMINÉRIOS/CPRM. Projeto Calcário - Alvo Palestina; texto e mapas. Belém, 1999a.
- PARAMINÉRIOS/CPRM. Projeto Calcário - Alvo Redenção; texto e mapas. Belém, 1999b.
- PASTANA, J.M.N. Síntese geológica e favorabilidade para tipos de jazimentos minerais do Município de Monte Alegre-PA. Programa Informações para Gestão Territorial – Estado do Pará, Santarém/Belém: CPRM – PRIMAZ, 1999. 36p. il.
- PAVAN, M.A. Toxicity of Al (III) to coffee (*Coffea arabica* L.) in nutrient solution culture and in Oxisols and Ultisols amended with CaCO_3 , MgCO_3 , and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. In: MALAVOLTA, E. GUILHERME, M.R.; LIEM, T.H. Associações fosfogesso-calcário: princípios e aplicações. SEMINÁRIO SOBRE USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1, Brasília, 1985. *Anais do...*Brasília: EMBRAPA, DDT, 1986, 296p. p.177-196.
- PETRI, S., FÚLFARO, V.J. Geologia do Brasil. (Fanerozóico). São Paulo: T.A. Queiroz - USP, 1983.
- PETROMISA. *Relatório de Pesquisa*. Processos DNPM 880.111/80 e DNPM 880.112/80, 1988.
- PLOEG, R.R., VAN DER BOHRN, W., KIRKHAM, M.B. On the origin of the theory of Mineral Nutrition of Plants and the Law of the Minimum. *Soil Science Society of America Journal*, n.63, p.1055-1062, 1999. Disponível em: <http://link.springer-ny.com/link/service/journals/10089/bibs/63n5p1055.html> (acesso em 01.06.2000).
- PRESSLER, J.W. Gypsum. *Mineral Facts and Problems*, US Bureau of Mines, Bulletin 675, p 349-356, 1985.
- PRIMAVESI, A. *O Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais*. 4ed. São Paulo: Nobel. 1982. 541p. il.
- PRUD'HOMME, M. (1989) Peat.. In: HOFFMAN, G.K., AUSTIN, G.S. *Agricultural materials: soil additives*. INDUSTRIAL MINERALS AND ROCKS. 6ed. Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 1994. P. 89-96.
- REIS, N.P. *Tendências do Mercado Brasileiro de Fertilizantes e suas Matérias-Primas*. In: II Workshop do PIMA, São Paulo, 1997. Rio de Janeiro: CPRM, 1997, V.1 [Relatório Final].

- RIKER, S.L. *Calcário para agricultura em parte da Amazônia Legal*: Mapa de localização das Minas, Jazidas e depósitos, e a situação legal junto ao DNPM. Manaus: CPRM. Programa Insumos Minerais Para Agricultura no Brasil – PIMA. 1998.
- ROCHA, M. Difusão do uso agrícola do fosfogesso: Diretrizes. SEMINÁRIO SOBRE USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1, Brasília, 1985. *Anais do...*Brasília: EMBRAPA, DDT, 1986, 296p. p. 217-227.
- RODRIGUES, C. S., LIMA, P.R.A.S. *Complexos Carbonatíticos do Brasil: Geologia*.- São Paulo: CBMM, Departamento de Geologia. 1984. 44p.
- SAD, A.R.E., SCHNEIDER, R.L. *Enxofre Nativo na Formação Codó*: Programa de avaliação preliminar. Rio de Janeiro: Petrobrás Mineração SA, 1979.
- SHELDON, R.P. Ancient Marine Phosphorites. *Annual Review Earth Planetary Science*, 1981, v.9, p.251-284.
- SILVA, G. H. et al. *Geologia. Folha SC. 21 – Juruena*. Rio de Janeiro: Projeto RADAM, 1980. p.21-116. (Levantamento de Recursos Naturais, 20)
- SILVA NETO, C.S. *Aspectos Geo-econômicos do Município de Serra do Navio*. Belém: CPRM-PRIMAZ, 1997.
- SILVA, V.P. Caracterização das ocorrências fosfáticas de Xambioá (TO). [Relatório em andamento]. Informação concedida a Nélcio das Graças de Andrade da Mata Rezende, em 09.01.2001.
- SINTONI, A.A. *Rochas calcárias nos Estados de São Paulo e Paraná*. Brasília: DNPM, Boletim n.45, 1978. 131p. il.
- SOUZA CRUZ, E., OLIVEIRA, R.F., OLIVEIRA, N.P., MATOS, A. O. (1983) Eficiência Agrônômica de fosfatos naturais da Amazônia Oriental. In: OLIVEIRA, N.P., COSTA, M.L. Os fosfatos aluminosos do Pará e do Maranhão: estágio atual de conhecimentos e estratégia para o aproveitamento econômico. *Ciências da Terra*. n.º 10. 1984.
- SOUZA CRUZ, E,W.A. et al. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais da Amazônia Oriental. SIMPÓSIO DO TRÓPICO ÚMIDO, I, Belém, 1984. *Anais do...*Belém: EMBRAPA-CPATU, 1986, v.1, p.224-235.
- SOUZA, J.O., MORETON, L.C. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Xambioá, Folha SB.22-Z-B. Escala 1:250.000. Brasília: CPRM,1995.
- STRAKOV, N. M. (1960) *Fundamentals of the theory of lithogenesis*. Moscou. In: SHELDON, R.P. Ancient Marine Phosphorites. *Annual Review Earth Planetary Science*, 1981, v.9, p.251-284.
- SUSZCZYNSKI, E.F. Turfa, o novo combustível nacional. In: SCHOBENHAUS, C., CAMPOS, D.A., DERZE, G.R., ASMUS, H.E. *Geologia do Brasil*; texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente, incluindo depósitos minerais, escala 1:2.500.000. Brasília: DNPM, 1984. 501p. il.
- SZATMARI, P., CARVALHO, R.S., SIMÕES I.A. A comparison of evaporite facies in the Late Paleozoic Amazon and the Middle Cretaceous South Atlantic Salt Basins. *Economic Geology* v. 74, n.2, mar./abr., p.432-437, 1979.

- TEIXEIRA, P.C. *Enxofre*. Sumário Mineral. Brasília: DNPM, v.1, 2000.
- VERDADE, F.C., GARGANTINI, H., MIRANDA, L.T. *Uso e aplicação do calcário*. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1968. 63p. (Campanha de Calagem do Solo)
- VOLKSWEISS, S.J. et al. *A calagem dos solos ácidos: prática e benefícios*. 2ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia. Boletim Técnico de Solos, n.1, 1992. 36p.
- WESSEL, G.R. Sulfur Resources. In: INDUSTRIAL MINERALS AND ROCKS, 6 ed. Colorado: Society for Mining Metallurgy, and Exploration, 1994. P.1011-1048.
- WILLIAMS STROUD, S.C., SEARLS, J.P., HITE, R. Potash Resources. In: INDUSTRIAL MINERALS AND ROCKS, 6 ed. Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 1994. P.783-802.
- WOLF, F.A.M., SILVA, V.P. *Relatório Final de Fazendinha*. Belém: PETROMISA, 1988.
- WOLF, K. H. *Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits*. Amsterdam: Elsevier, 1976, v.7
- WUTKE, A.C.P., GARGANTINI, H. (1962) Avaliação das possibilidades de escórias de siderurgia como corretivos da acidez do solo. In: ALCARDE, J.C. *Corretivos da acidez dos solos: características de qualidade*. Seminário sobre Corretivos Agrícola. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 375p. Cap.3, pp. 97-119.

