

# **AGROMINERAIS PARA O BRASIL**

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL  
RIO DE JANEIRO, 2010

# AGROMINERAIS PARA O BRASIL

## EDITORES

---

Francisco Rego Chaves Fernandes  
Adão Benvindo da Luz  
Zuleica Carmen Castilhos

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

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

**GISELE ROSE DA SILVA**  
Assistente de Pesquisa

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

Centro de Tecnologia Mineral

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

380 p.: il.

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

ISBN 978-85-61121-61-7

CDD 668.62

# APRESENTAÇÃO

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

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

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

Rio de Janeiro, Julho de 2010.

José Farias de Oliveira  
Diretor do CETEM



# SUMÁRIO

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

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

# PREFÁCIO

Francisco Rego Chaves Fernandes  
Adão Benvindo da Luz  
Zuleica Carmen Castilhos

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

# O MEIO AMBIENTE NA PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES FOSFATADOS NO BRASIL

ELVIRA GABRIELA DIAS<sup>1</sup> E ROBERTO D. LAJOLO<sup>2</sup>

## Introdução

O crescimento da produção de biocombustíveis no País irá requerer maiores quantidades de matérias-primas vegetais para sua fabricação e, conseqüentemente, o incremento das áreas plantadas e da produtividade agrícola. Diante desta perspectiva, emerge a questão da demanda por insumos indispensáveis como os fertilizantes fosfatados.

Mesmo sem a pressão do setor de biocombustíveis, o Brasil já é um grande importador de fertilizantes devido, principalmente, à escassez de matérias-primas de origem mineral, que constituem a base da cadeia produtiva do setor. Um caminho para superar esta condição começa com a intensificação dos trabalhos de pesquisa mineral, que podem resultar em aumento das reservas conhecidas, viabilizando a ampliação das taxas de extração mineral em projetos existentes ou o desenvolvimento de novos projetos.

Dentre os fatores a ser considerados no planejamento da ampliação da produção de agrominerais, destacam-se importantes restrições de caráter ambiental. Este capítulo apresenta os prováveis impactos ambientais negativos associados à cadeia produtiva dos fertilizantes fosfatados, um dos mais importantes insumos da agricultura no Brasil. A provável ocorrência de tais impactos não raro implica obstáculos à viabilização de empreendimentos, sendo necessário, em tais casos, identificar as ações e medidas que, se implementadas, poderão atenuar este efeito.

A identificação e a análise dos impactos ambientais de qualquer atividade humana envolvem aspectos relacionados à atividade em si e ao contexto ambiental em que se insere. Este capítulo não trata, contudo, de um empreendimento em particular, mas de um segmento da indústria, cujos empreendimentos se distribuem amplamente no território nacional e se associam a variados tipos de ambiente. Assim, os vários tipos de impacto terão maior ou menor probabilidade de ocorrência ou significância conforme as especificidades das relações entre cada empreendimento e seu ambiente de inserção.

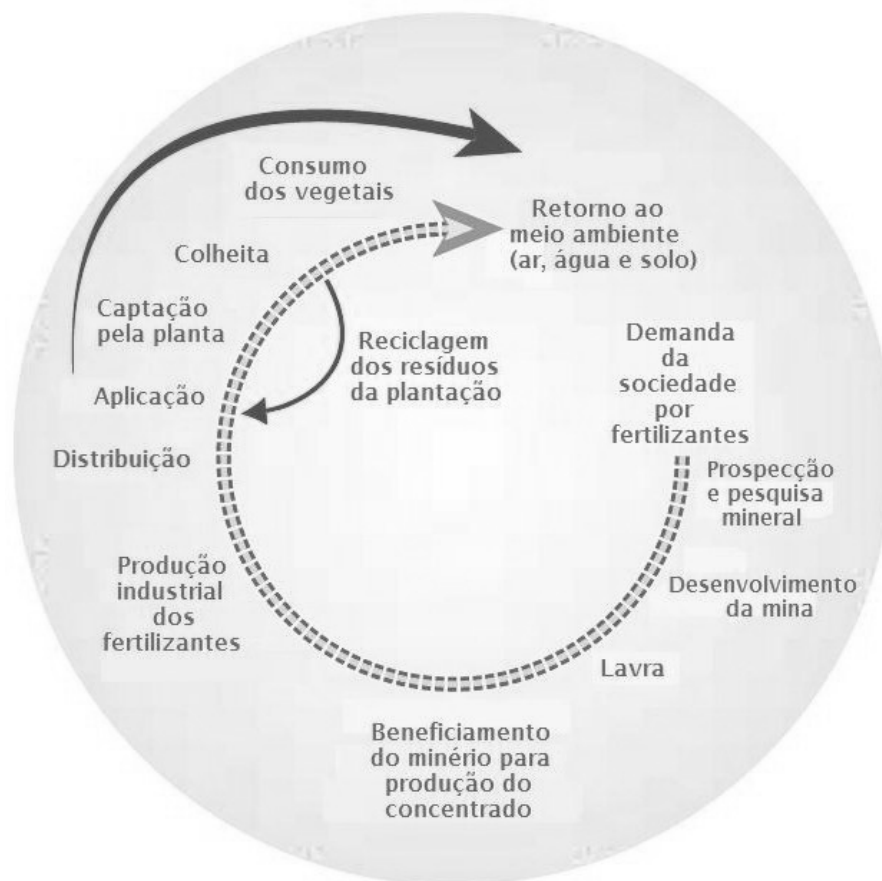
## Delimitação da abrangência

O tema meio ambiente na produção de fertilizantes fosfatados no Brasil abrange, a rigor, desde as atividades que precedem a produção dos insumos e matérias-primas, até a etapa de aplicação dos produtos nas plantações, passando por todos os estágios intermediários, como a mineração, o beneficiamento dos minérios, a fabricação dos produtos intermediários, a produção dos diversos tipos de fertilizantes e sua distribuição até os locais de consumo. A Figura 1 ilustra este ciclo de vida para os fertilizantes minerais.

Em face desta amplitude e considerando-se as limitações de espaço, tempo e recursos, optou-se por definir uma linha de corte com relação às etapas do ciclo de vida: incluem-se a mineração, o beneficiamento e a industrialização destes produtos; ficam excluídas as etapas de prospecção e pesquisa mineral, no início do ciclo, e as etapas de distribuição, aplicação e outras, no final do ciclo.

<sup>1</sup> D.Sc Universidade de São Paulo (USP). Mineração, Geologia e Meio Ambiente Ltda. (MULTIGEO). E-mail: egdias@multigeo.com.br.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Mecânico. Universidade de São Paulo (USP). Instituto Mauá de Tecnologia. E-mail: rlajolo@gmail.com



Fonte: UNEP; IFA (2001) modificado.

Figura 1 - Ciclo de vida dos fertilizantes minerais.

## Tipos de fertilizantes fosfatados e suas cadeias produtivas

Os fertilizantes fosfatados são produtos do processamento de rochas naturais ricas em fosfato e, dependendo da rota tecnológica adotada, podem ser mais ou menos solúveis. Outros capítulos deste livro tratam em detalhe das fontes de matérias-primas minerais, da indústria de fertilizantes fosfatados e das rotas tecnológicas em uso e em desenvolvimento. Com o propósito de organizar a análise dos impactos e aspectos ambientais, apresenta-se a seguir um breve resumo das principais etapas do processo produtivo e dos vários tipos de fertilizantes fosfatados produzidos no Brasil.

A cadeia produtiva de todos os fertilizantes fosfatados inicia-se na extração do minério, geralmente uma rocha rica em fosfato de cálcio do grupo da apatita. De acordo com Lapido-Loureiro *et al* (2008), a lavra das jazidas de fosfato no Brasil é realizada a céu aberto, é totalmente mecanizada, podendo ou não utilizar explosivos no desmonte.

O minério lavrado é geralmente submetido a operações de beneficiamento, que incluem vários estágios de cominuição e classificação, separação magnética, deslamagem e concentração por flotação. O produto gerado nesta etapa é o concentrado.

Visando ao aumento da solubilidade do fósforo contido no concentrado, promove-se seu ataque por ácido sulfúrico ou fosfórico, ou ambos, obtendo-se os superfosfatos. O superfosfato simples (SSP) resulta do ataque por ácido sulfúrico. Estes mesmos componentes (concentrado fosfático e ácido sulfúrico), em diferentes proporções, reagem formando ácido fosfórico. O ataque do concentrado fosfático por ácido fosfó-

rico resulta no superfosfato triplo (TSP); já a reação de amônia com ácido fosfórico produz o fosfato de monoamônio (MAP) e fosfato de diamônio (DAP). As figuras 2, 3 e 4, a seguir, ilustram o esquema de produção.

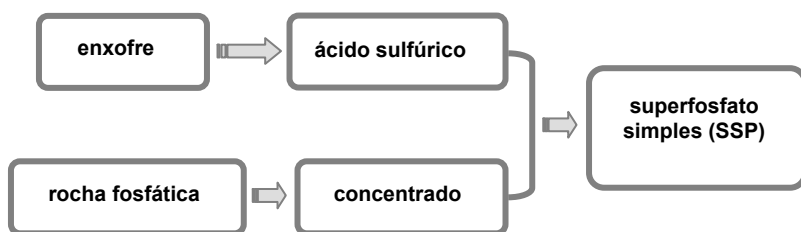


Figura 2 - Esquema de produção do superfosfato simples (SSP).

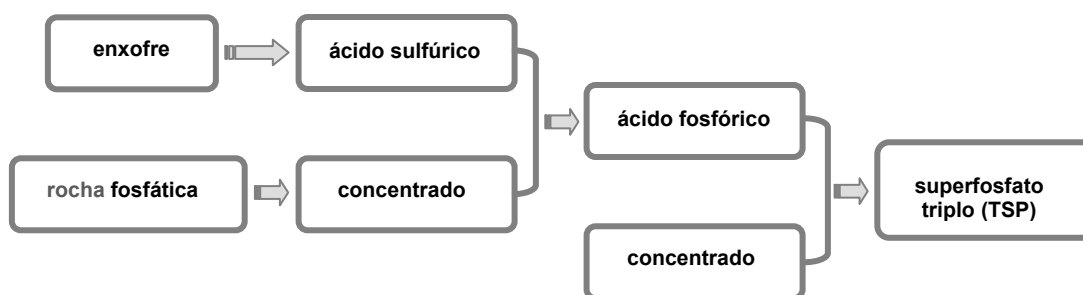


Figura 3 - Esquema de produção do superfosfato triplo (TSP).



Figura 4 - Esquema de produção de fosfatos de amônio (MAP/DAP).

O ácido sulfúrico empregado no processo é produzido a partir de enxofre, que na maior parte dos casos é importado, já que o Brasil não possui reservas economicamente viáveis de enxofre natural.

Com exceção das rotas alternativas e potenciais – que incluem a aplicação direta de pó de rocha, as rotas clorídrica ou nítrica, a lixiviação em pilhas ou tanques, a produção de fertilizantes organo-fosfatados e os termofosfatos – a indústria de fertilizantes fosfatados opera complexos minero-industriais que englobam operações de lavra, beneficiamento, produção de ácido sulfúrico e produção de ácido fosfórico. Estes componentes podem ou não operar em uma mesma área ou áreas próximas; no caso do complexo minero-químico de Tapira-Uberaba, da Fosfertil, por exemplo, o concentrado apatítico produzido em Tapira é transportado por mineroduto para as instalações industriais situadas a 120 km, na cidade de Uberaba.

Apresentam-se, a seguir, os principais aspectos e impactos ambientais associados a cada uma das grandes etapas da cadeia produtiva da indústria de fertilizantes fosfatados, quais sejam: a lavra, o beneficiamento e a industrialização, priorizando-se os processos mais significativos do ponto de vista ambiental.

## Aspectos e impactos ambientais na lavra

O fluxograma simplificado das atividades normalmente desenvolvidas em uma mineração a céu aberto, apresentado a seguir (Figura 5), destaca os principais aspectos ambientais identificados em cada atividade, que são analisados na sequência.

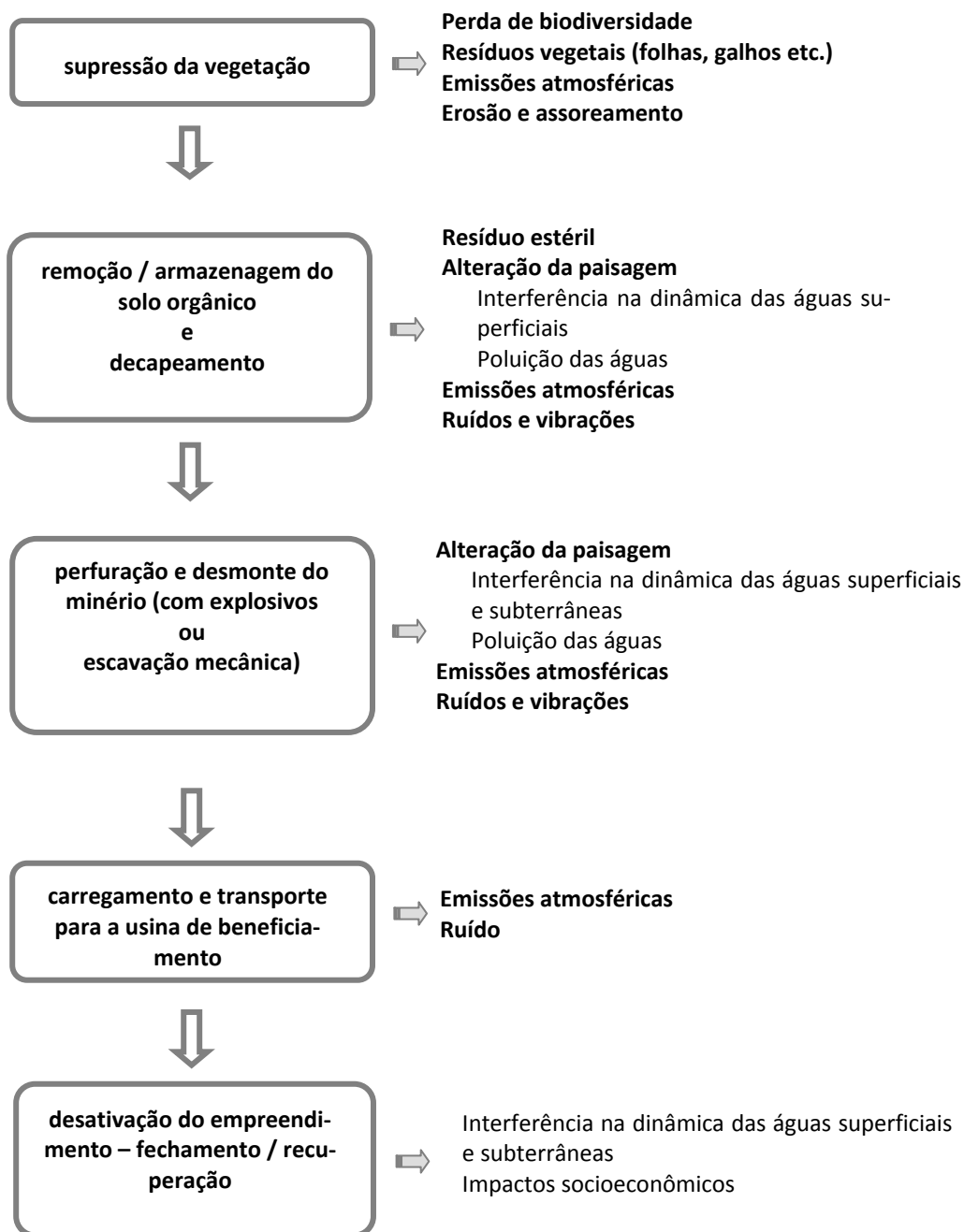


Figura 5 - Fluxograma de atividades e aspectos ambientais – lavra.

### SUPRESSÃO DA VEGETAÇÃO

A supressão da vegetação que recobre a área a ser lavrada ou a ser utilizada para acessos, disposição de estéreis e rejeitos, pátios e edificações de apoio, quando necessária e dependendo do tipo de vegetação e da extensão das áreas a ser desmatadas, acarreta vários impactos ambientais negativos.

UNEP; IFA (2001) destacam que a área afetada por operações a céu aberto pode variar amplamente dependendo da geometria e espessura do depósito mineral, assim como das taxas de extração. De acordo com esses autores, a taxas de extração equivalentes, o aproveitamento de camadas planas e pouco espessas como as encontradas na Flórida (USA) afeta áreas muito mais extensas do que a mineração das camadas mais espessas ou fortemente inclinadas encontradas no Brasil e em Idaho (EUA).

O principal impacto associado à supressão da vegetação é a própria perda da biodiversidade; determinados biomas brasileiros, reduzidos atualmente a uma pequena fração de sua área de domínio original, têm importância ecológica reconhecida, abrigam espécies endêmicas de flora e fauna, representam um papel fundamental para a conservação da qualidade das águas, assim como para o equilíbrio das condições climáticas locais e regionais. Outros impactos estão associados à geração de resíduos – galhos e folhas –, a emissões atmosféricas – material particulado proveniente da ação dos ventos sobre o solo desprotegido – e ao aumento das taxas de erosão do solo e consequente assoreamento de corpos d'água.

A maior ou menor importância dos impactos causados por esta operação depende principalmente da extensão relativa das áreas a ser desmatadas quando comparadas com os remanescentes de vegetação nativa da região e da presença de espécies de flora e fauna ameaçadas de extinção. Estes fatores são extremamente variáveis conforme a região do País e o tipo de depósito mineral.

Os dados do projeto Anitápolis ilustram a análise dessa questão. Trata-se de projeto proposto pela Indústria de Fosfatos Catarinense Ltda. – (IFC), formada pela associação entre a Bunge Fertilizantes S.A., recentemente adquirida pela Vale S.A., e a Yara Brasil Fertilizantes S.A., que pretende implantar um complexo minero-industrial para aproveitamento de jazida de rocha fosfática situada no Município de Anitápolis, a cerca de 90 km de Florianópolis, no Estado de Santa Catarina. A Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina (FATMA) concedeu, em abril de 2009, a Licença Ambiental Prévia para o empreendimento, válida por dois anos<sup>3</sup>.

De acordo com os dados apresentados no Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) do empreendimento (PROMINER; CARUSO JR, 2008), para uma produção anual de 300 mil toneladas de minério durante 33 anos, terão de ser suprimidos aproximadamente 280 ha de vegetação arbórea nativa em diversos estágios de regeneração. O projeto insere-se na área de domínio do Bioma Mata Atlântica, cujos remanescentes florestais são estimados em 7 a 8% de sua extensão original. De acordo com Ibama (2009), a Mata Atlântica é a quinta área mais ameaçada e rica em espécies endêmicas do mundo.

### REMOÇÃO DO SOLO ORGÂNICO E DECAPEAMENTO

A remoção do solo orgânico e sua armazenagem para uso futuro constituem uma das boas práticas amplamente adotadas em empreendimentos de mineração para evitar a perda deste importante recurso. O decapeamento é a operação de remoção da camada de solo de alteração, minério marginal ou estéril que recobre o depósito mineral de interesse. Dependendo do tipo de estéril, esta operação pode ser realizada com auxílio de escavadeiras ou mediante uso de explosivos para desmonte ou desagregação do material, que é geralmente transportado em caminhões para o local de disposição.

Vários impactos ambientais negativos podem ser causados pelas atividades de decapeamento. As escavações, detonações, operações de carregamento do material e o deslocamento de veículos e máquinas so-

<sup>3</sup> Em setembro de 2009, a Justiça Federal deferiu liminar suspendendo, até o julgamento final da ação, os efeitos da Licença Ambiental Prévia concedida pela FATMA.

bre vias não pavimentadas favorecem a emissão de material particulado que pode ser transportado para áreas vizinhas.

Tais operações geram ruídos e, quando há emprego de explosivos, vibrações que são transmitidas pelo ar ou pelo solo. A ação das chuvas sobre áreas desprotegidas pode carrear sólidos para os corpos d'água, assoreando-os e prejudicando a qualidade de suas águas pelo aumento da turbidez e da concentração de sólidos.

Em muitos casos as áreas de decapeamento são cortadas por cursos d'água, cujo desvio é necessário. Juntamente com os outros fatores que afetam as águas, esta interferência na dinâmica das águas superficiais pode ter consequências negativas importantes sobre a fauna aquática e sobre os usos da água – abastecimento, irrigação etc.

A disposição dos minérios marginais e estéreis é uma questão importante na mineração de minerais fosfatados devido às quantidades envolvidas e à complexidade dos minerais fosfatados, do ponto de vista de sua mineralogia. As quantidades estão diretamente relacionadas às características dos depósitos e dependem da relação estéril/minério. Esta relação é bastante variável de mina para mina e até entre frentes de lavra segundo Lapido-Loureiro *et al* (2005), que exemplifica com os casos da mina de Cajati (1,4) e Catalão – Ultrafértil (0,8 a 1,0).

Uma mina com relação estéril/minério igual a 1,0, por exemplo, irá gerar quantidades de estéril equivalentes à produção bruta total de minério ao longo de sua vida útil. No caso do projeto Anitápolis, citado anteriormente, serão gerados cerca de 12 milhões de metros cúbicos de estéril para a produção de 25 milhões de metros cúbicos de rocha fosfática. Para acomodar essas grandes quantidades de material, os depósitos de estéril ocupam grandes áreas e são responsáveis por importantes alterações na paisagem local.

O Complexo de Tapira, conforme descrito por Araújo *et al* (2002), ocupa cerca de 7,8 mil hectares e movimentada anualmente aproximadamente 28 milhões de toneladas entre minério e estéril. Uma camada de estéril com espessura de 30 a 40 metros e uma camada de minério de titânio (ainda sem aproveitamento econômico) com 25 a 30 metros de espessura têm de ser removidas para permitir a lavra do minério. Estes materiais são estocados em pilhas, ocupando grande parte da área diretamente afetada do complexo.

A complexa mineralogia dos minerais fosfatados pode representar um agravante dos impactos relacionados à disposição dos estéreis e minérios marginais, uma vez que os efluentes atmosféricos e líquidos podem conter substâncias tóxicas ou radioativas.

De acordo com Lapido-Loureiro *et al* (2008), praticamente todos os elementos podem ser encontrados em minerais fosfatados, uma vez que o radical  $\text{PO}_4$  combina-se com mais de 30 elementos para formar esses minerais, que podem apresentar um grande número e variedade de substituições iônicas, como  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$ ,  $\text{VO}_4^{3-}$ , ou pequenas quantidades de  $\text{UO}_4^{2-}$ ,  $\text{AsO}_4^{2-}$  ou  $\text{SiO}_4^{4-}$ . Já o radical  $\text{Ca}^{2+}$ , também presente na apatita, pode ser substituído por íons positivos como elementos de terras-raras, urânio e chumbo, além de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Sc}^{2+}$ ,  $\text{ETR}^{3+}$  (DUTRA; FORMOSO, 1995 *apud* LAPIDO-LOUREIRO *et al*, 2008).

#### EXTRAÇÃO DO MINÉRIO

A etapa de extração do minério é caracterizada por atividades muito semelhantes às da etapa de decapeamento, podendo ser executada com auxílio de escavadeiras ou requerer a utilização de explosivos, dependendo do tipo de minério. As semelhanças estão presentes também nos aspectos ambientais associados: alterações na paisagem, interferência na dinâmica e qualidade das águas superficiais, emissões atmosféricas, ruídos e vibrações.

As principais diferenças entre a operação de decapeamento e a extração do minério, do ponto de vista ambiental, são as possíveis interferências na dinâmica e qualidade das águas subterrâneas e a não geração de resíduos sólidos em grande quantidade que caracteriza a etapa de decapeamento.





De acordo com UNEP, IFA (2001), a profundidade das cavas de minas de fosfato pode variar de poucos metros a mais de 100 m. Dependendo da profundidade da cava e da posição do nível freático, para garantir as operações de lavra faz-se necessário seu rebaixamento por meio de bombeamento. Esta operação tem potencial de causar vários impactos ambientais, tanto relacionados ao próprio rebaixamento do freático, como associados à contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

O rebaixamento do freático pode afetar as condições das áreas do entorno, prejudicando os sistemas de abastecimento de água utilizados pela população, causando redução de vazão em corpos d'água ou afetando a biota de áreas naturais próximas. Além disso, a água bombeada do fundo da cava pode carrear contaminantes provenientes do minério ou das operações de lavra, como óleos e graxas oriundos de vazamentos de veículos e máquinas. Em outras palavras, o bombeamento de água do fundo da cava retira água limpa do freático e devolve água eventualmente contaminada para o meio.

#### **CARREGAMENTO E TRANSPORTE**

O transporte do minério da frente de lavra para a usina de beneficiamento é feito em caminhões, que são carregados com auxílio de carregadeiras. Estas operações têm potencial de causar poluição do ar pelo lançamento na atmosfera de gases emitidos pelos motores de combustão e de poeiras levantadas pelo tráfego de veículos em vias não pavimentadas e pelo próprio manuseio do minério. Além disso, são operações geradoras de ruídos e favorecem a contaminação do solo e das águas – superficiais e subterrâneas – pelo lançamento de óleos e graxas provenientes de veículos e máquinas.

#### **DESATIVAÇÃO DO EMPREENDIMENTO**

A maior parte dos impactos sobre o meio físico e biótico associados a esta etapa da vida de um empreendimento mineiro é positiva. Os principais impactos negativos relacionam-se ao meio socioeconômico, pois o encerramento da atividade pode acarretar desemprego e vários impactos na economia local ou regional. A importância desses impactos depende muito da própria importância do empreendimento com relação à socioeconomia local ou regional.

Com relação aos outros componentes do meio ambiente, merece destaque os impactos sobre a dinâmica das águas superficiais e subterrâneas. Com o fechamento da mina, cessa o bombeamento de água da cava, formando-se grandes lagos que podem representar risco às populações e à fauna da região. Uma nova dinâmica se estabelece nesta etapa e a vazão dos corpos d'água afetados durante a operação da mina pode ser parcial ou totalmente recuperada. Mas esta exposição das águas do aquífero freático favorece sua contaminação, pois as lagoas formadas pela inundação de cavas de mineração, se não houver controle, podem receber cargas poluentes que irão contaminar o aquífero.

### **Considerações sobre os aspectos ambientais relevantes na etapa de lavra**

Na etapa de mineração, mais do que nas outras etapas, a previsão e a avaliação dos impactos ambientais dependem das condições específicas de cada projeto. Considerando as principais minas de fosfato do Brasil, no entanto, algumas questões merecem destaque.

**Vegetação** – A necessidade de supressão da vegetação representa um dos principais obstáculos à implantação de novos projetos. O principal impacto associado é a própria perda da biodiversidade, de espécies endêmicas de flora e fauna, nem sempre plenamente conhecidas. Esta é tipicamente uma questão que envolve conflito de valores, de um lado o aproveitamento do recurso mineral, de outro a conservação da floresta e da biodiversidade. Para fazer frente a estes impactos – irreversíveis e praticamente não mitigáveis – plantios compensatórios são usualmente propostos pelos empreendedores ou exigidos pelos órgãos ambientais. Mas nem sempre é fácil encontrar áreas adequadas para esses plantios na mesma região em que haverá a supressão. Mesmo quando esta questão é solucionada satisfatoriamente, o efeito compensatório da medida somente será pleno quando a vegetação plantada atingir um estágio avançado e sustentável, o que deverá ocorrer várias décadas depois da supressão.

Nível freático – O rebaixamento do nível freático pode prejudicar o abastecimento de água de populações, reduzir vazões em corpos d'água, afetar a biota de áreas naturais próximas ou carrear contaminantes para as águas superficiais do entorno. Boas práticas ambientais em operações de lavra são capazes de impedir o lançamento de poluentes para o meio ambiente, mas as alterações nas vazões e suas consequências nem sempre são possíveis de ser evitadas, devendo ser bem estudadas previamente e durante a operação do empreendimento e compensadas devidamente.

Ao final da vida da mina, os grandes lagos formados podem representar risco de acidentes ou vias de contaminação do aquífero. Tecnicamente é possível controlar riscos e contaminação, mas a gestão de áreas após o fechamento das minas é sempre mais problemática, exigindo fiscalização por parte do poder público e responsabilidade por parte dos empreendedores.

Estéreis e minérios marginais – As grandes quantidades desses materiais e a complexidade de sua mineralogia fazem da questão de sua disposição uma questão importante, principalmente quando medidas de controle não são adequadamente implementadas. As medidas necessárias para evitar o avanço dos processos de erosão eólica e pluvial são bastante conhecidas e já estão incorporadas às boas práticas do setor. Dependendo das características dos materiais estéreis e minérios marginais e da localização da mina, é importante buscar alternativas de utilização para esses materiais, de modo a reduzir os volumes para disposição e, conseqüentemente, as áreas ocupadas e as alterações na paisagem.

## Aspectos e impactos no beneficiamento

Para o processamento dos minérios fosfáticos no Brasil, Lapido-Loureiro *et al* (2008) identificam os seguintes grupos de operações:

- britagem primária, secundária e terciária.
- estocagem e homogeneização.
- moagem primária e separação magnética de baixo campo.
- moagem secundária e classificação.
- deslamagem;
- concentração por flotação e espessamento.

O beneficiamento do minério fosfático envolve, de modo geral, esses seis grupos de operações e cada um dos quais pode ser desdobrado em vários outros; apesar disso, do ponto de vista da identificação dos aspectos e impactos ambientais, o processo pode ser examinado como um todo. O esquema da Figura 6 mostra as principais interações com o ambiente.

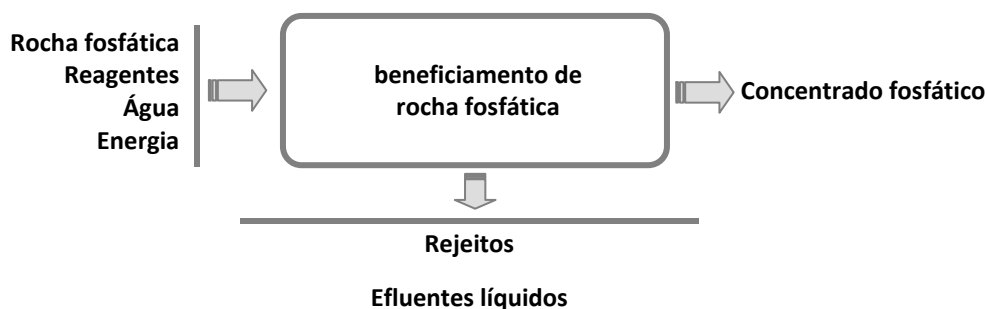


Figura 6 - Aspectos ambientais do processo de beneficiamento de rocha fosfática.

### CONSUMO DE ÁGUA

No beneficiamento de rocha fosfática, a maior parte das operações é desenvolvida a úmido, razão pela qual se utiliza muita água no processo. Dependendo da disponibilidade deste recurso natural na região, esse aspecto pode implicar importantes impactos ambientais locais e regionais.

O projeto Anitápolis ilustra esta questão. De acordo com Tucci *et al* (2009), as atividades previstas (que incluem lavra, beneficiamento e unidade industrial) irão consumir cerca de 777 m<sup>3</sup>/h de água limpa, captada do rio Pinheiros, cuja vazão média é de 0,629 m<sup>3</sup>/s (que equivale a 2.264 m<sup>3</sup>/h). Ou seja, o projeto irá requerer mais de 30% da vazão média da bacia hidrográfica de abastecimento. O projeto prevê a manutenção de uma vazão mínima de 537 m<sup>3</sup>/h, ou seja, pouco mais de 20% da vazão média da bacia.

A avaliação da importância deste impacto irá depender do contexto local de recursos hídricos, se são escassos ou abundantes frente à demanda para os vários usos requeridos para as demais atividades desenvolvidas no entorno. Mesmo que o consumo de água do empreendimento não comprometa a disponibilidade de água para os demais usos, a redução da vazão do corpo d'água a jusante do empreendimento pode causar impactos na fauna aquática.

### CONSUMO DE ENERGIA

Para reduzir as distâncias de transporte de grandes quantidades de minério bruto, as plantas de beneficiamento localizam-se sempre o mais próximo possível das jazidas minerais, em locais onde raramente há disponibilidade de energia elétrica na tensão e potências requeridas. Por esta razão, quase todos os empreendimentos de mineração de rochas fosfáticas requerem a instalação de linhas de transmissão de energia elétrica, às quais estão associados numerosos impactos ambientais, muitos deles de grande significância.

### GERAÇÃO DE LAMAS E REJEITOS: BARRAGENS

As várias operações de beneficiamento de rocha fosfática visam à produção de concentrados com teores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> adequados à alimentação da indústria química. De acordo com Lapido-Loureiro *et al* (2008), cerca de 95% da capacidade nominal de produção de concentrados apatíticos no Brasil provém de complexos alcalino-carbonatíticos, cujas minas ativas apresentam teores de minério entre 5,5 e 15% e concentrado na faixa de 35 a 38%, como mostra o Quadro 1, a seguir:

Quadro 1 – Minas ativas de rochas fosfáticas do Brasil

Localização	Minério	Concentrado	
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	CP (10 <sup>3</sup> t/ano)
Catalão - GO	9,00	36,5	905
Tapira - MG	8,36	35,5	1.600
Araxá - MG	14,88	35,0	530
Cajati - SP	5,50	36,0	560
Ouvidor - GO	14,16	38,0	1.208

Nota: CP: Capacidade de produção.

Fonte: Lapido-Loureiro (2008), modificado.

Esses números dão uma idéia da ordem de grandeza da quantidade de lamas e rejeitos gerados em cada um desses empreendimentos. No caso de Tapira, por exemplo, Araújo *et al* (2002) estimam que 85% da massa alimentada na usina de beneficiamento são descartados na forma de lamas, rejeitos magnéticos e rejeitos de flotação. Ou seja, para produzir os 1,6 milhões de t/ano de concentrado correspondentes à

capacidade de produção registrada por Lapido-Loureiro *et al* (2008), seriam gerados mais de 9 milhões de t/ano de lamas e rejeitos.

Com exceção dos rejeitos magnéticos, que em alguns casos são dispostos em pilhas, os demais são lançados em bacias de contenção, nas quais ocorre a sedimentação dos sólidos e a clarificação das águas, que são retomadas para utilização no processo. Para garantir a decantação dos sólidos são necessárias grandes áreas que, por limitações associadas ao relevo e drenagens naturais, são obtidas mediante o barramento de drenagens naturais.

Para conter as lamas e rejeitos gerados na produção de 300.000 t/ano de concentrado fosfático, as bacias de rejeito do projeto Anitápolis ocuparão cerca de 124 ha. Serão duas barragens, que irão interromper o fluxo hídrico e de fauna ao longo do rio Pinheiros, comprometendo mais de 60% do seu curso. (PROMINER; CARUSO JR, 2009).

Além da alteração nas vazões dos rios, da ocupação de áreas florestadas ou agricultáveis e do comprometimento das condições de vida da fauna aquática associados a esses sistemas de contenção, as barragens podem apresentar problemas de estabilidade geotécnica, colocando em risco, em caso de ruptura, todas as atividades e formas de ocupação existentes a jusante.

#### LANÇAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS

O processo de beneficiamento de rocha fosfática emprega vários reagentes, como coletores, depressores, corretores de pH e floculantes. Resíduos dessas substâncias podem estar presentes nos efluentes líquidos lançados nas drenagens naturais, causando alteração de sua qualidade.

Uma das principais alterações de qualidade das águas associadas a projetos de lavra e beneficiamento de rochas fosfatadas é o aumento do teor de fósforo. Áreas de ocorrência de minério fosfatado muitas vezes apresentam teores de fósforo nas águas naturais mesmo antes do início de qualquer atividade de mineração. Com as atividades de lavra e beneficiamento, esses teores podem aumentar, causando eutrofização de corpos d'água. Este fenômeno é causado pelo excesso de nutrientes (fósforo, nitrogênio, matéria orgânica) em um corpo d'água, o que acarreta a proliferação excessiva de algas que, ao entrarem em decomposição, fazem crescer o número de micro-organismos aeróbios e, por conseguinte, provocam escassez de oxigênio.

#### GERAÇÃO DE RUÍDO E EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Ruídos são gerados principalmente nas operações de britagem, moagem e classificação. Dependendo da localização da planta de beneficiamento com relação a eventuais receptores sensíveis, as principais fontes de ruído devem ser isoladas por barreiras físicas. Diversas medidas de atenuação de ruídos são conhecidas e consagradas, devendo ser projetadas conforme cada situação.

As emissões atmosféricas associadas às operações de beneficiamento de rocha fosfática ocorrem principalmente nas operações realizadas a seco – britagem, homogeneização e estocagem. Assim como no caso das emissões sonoras, as medidas de contenção de emissões atmosféricas neste tipo de atividade são bem conhecidas e consagradas.

### Considerações sobre os aspectos ambientais relevantes na etapa de beneficiamento

Também na etapa de beneficiamento, a previsão e a avaliação dos impactos ambientais dependem fortemente do contexto de cada projeto. Considera-se nesta etapa que as principais questões ambientais estão relacionadas à geração de rejeitos e lamas em grandes quantidades e ao consumo de água.

Rejeitos e lamas, barragens e reservatórios – A enorme quantidade de rejeitos e lamas gerada no beneficiamento de minério fosfatado requer soluções de tratamento e disposição em grande escala. A solução

adotada amplamente no Brasil são as barragens de rejeito e respectivas bacias de contenção, nas quais ocorre a sedimentação dos sólidos e a clarificação das águas, que são retomadas para utilização no processo.

As bacias de contenção de rejeitos ocupam grandes áreas, disputadas com outros usos da terra, como agropecuária e conservação; o barramento de corpos d'água naturais promove alterações significativas em toda a dinâmica das águas, refletindo-se fortemente nas condições de vida da fauna aquática; se estes sistemas não forem bem dimensionados e operados, as águas a jusante podem ter sua qualidade alterada em prejuízo dos usos pretendidos pelas populações do entorno.

As barragens, por falha de projeto, construção, operação ou manutenção, podem se romper, liberando quantidades gigantescas de lamas e rejeitos, que promovem grandes desastres para todos os tipos de ocupação da terra situados a jusante.

Embora amplamente adotada em projetos de beneficiamento mineral, a disposição de rejeitos e lamas em barragens e bacias de contenção enfrenta resistência crescente por parte dos interessados na proteção do meio ambiente. Alimentada por casos de ruptura de barragens, de graves consequências para populações instaladas a jusante, ou pela não aceitação de que o corpos d'água pertencentes à sociedade como um todo sejam apropriados por empreendimentos privados, esta resistência crescente deve motivar o desenvolvimento ou aprimoramento de técnicas de espessamento que permitam dispor esses rejeitos em espaços menores, como pilhas. Soluções desse tipo terão de ser adotadas mesmo que os custos sejam maiores.

Consumo de água – As operações de beneficiamento de minério requerem grandes quantidades de água. Embora a prática de recirculação das águas seja amplamente difundida na mineração de fosfato no Brasil, há sempre necessidade de água nova para reposição de perdas ou saídas de água do sistema. Dependendo das características climáticas e da abundância ou escassez desse recurso ambiental, o consumo de água pode causar impactos ambientais significativos, seja na captação, que geralmente depende de barramentos, seja provocando escassez deste recurso para outras atividades desenvolvidas na região. Também esta é uma questão típica de conflito de interesses, mas pode ser atenuada com medidas de reuso. O espessamento dos rejeitos para disposição em pilhas é um dos caminhos para obtenção de melhores resultados na recirculação da água e, conseqüentemente, redução das quantidades de água nova requeridas.

## Aspectos e impactos ambientais na industrialização

No ciclo de vida dos fertilizantes minerais, a etapa de industrialização compreende um diversificado conjunto de processos químicos e físicos (rotas), por meio dos quais as matérias-primas e insumos são transformados em produtos intermediários, fertilizantes simples e fertilizantes compostos com formulação adequada para cada tipo de cultura. Para caracterizar seus principais aspectos e impactos ambientais foram adotadas fronteiras que englobam essas rotas produtivas e se estendem da recepção das matérias-primas processadas pela indústria mineral ao estoque dos produtos, embalados ou a granel, para entrega aos distribuidores ou agricultores. Esses estágios são representados esquematicamente na Figura 7, na qual são destacadas as matérias-primas e produtos mais relevantes para este trabalho.

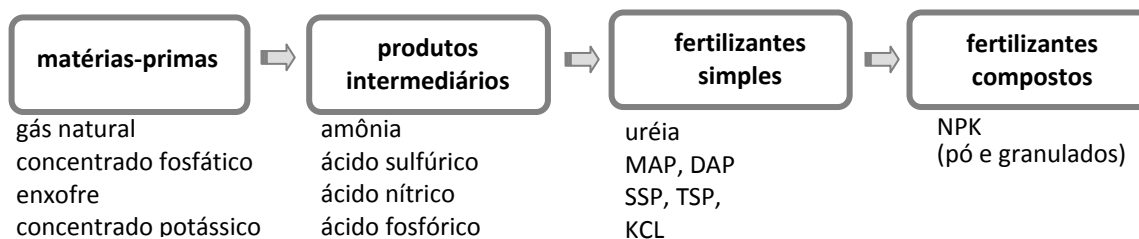


Figura 7 - Representação da produção industrial de fertilizantes minerais.

Apesar da variedade de produtos e rotas, de modo geral os fluxogramas básicos se mantêm há décadas, incorporando periodicamente inovações incrementais induzidas por alterações de qualidade e custos de matérias-primas, pela necessidade de aumento de competitividade, pela disponibilidade e custo da energia, e fatores ambientais, entre outros.

#### OS PRINCIPAIS ASPECTOS AMBIENTAIS

Os aspectos ambientais mais relevantes associados às fronteiras escolhidas dizem respeito: ao consumo de energia, principalmente gás natural; às emissões de gases de efeito estufa; às demais emissões atmosféricas; e à produção de resíduos sólidos, com predominância do fosfogesso. Este é considerado o principal desafio ambiental do setor, em razão do passivo ambiental já existente e do volume que continua a ser gerado, pois no processo de obtenção do ácido fosfórico pela via do ácido sulfúrico são produzidas em média de 4 a 5 toneladas de fosfogesso para cada tonelada de ácido fosfórico.

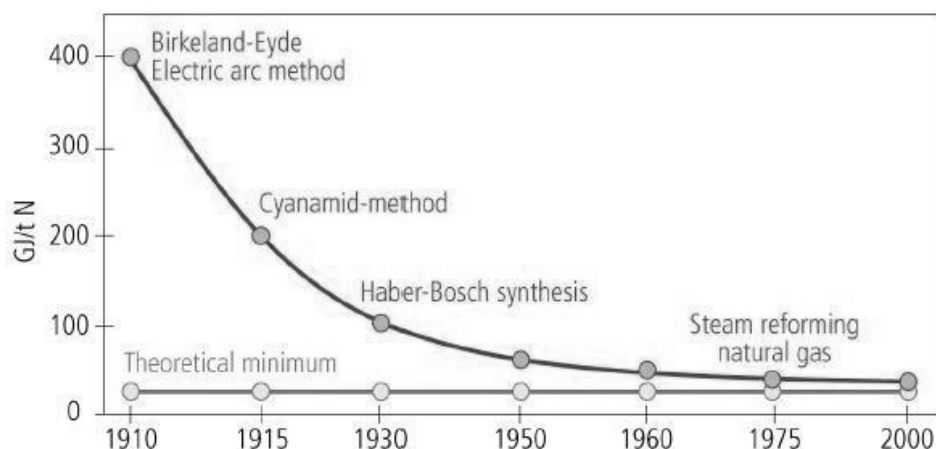
#### *Energia e emissões de gases de efeito estufa*

A indústria de fertilizantes é responsável por 1,2% do consumo de energia e da emissão antrópica global de gases de efeito estufa (SUKALAC, 2005). Dessa energia, estima-se que 92,5% sejam destinadas ao componente nitrogênio, 3% ao  $P_2O_5$ , e 4,5% ao  $K_2O$  (KONGSHAUGH, 1998). Quanto aos gases de efeito estufa, este autor calcula as emissões globais do setor em 283 milhões de toneladas de  $CO_2$  eq., das quais 134 milhões como gases de chaminé, 75 como  $CO_2$  puro, e 74 como óxido nitroso, resultante principalmente da produção de ácido nítrico. Em consonância com o consumo energético, 92% das emissões estão associadas ao componente N, 3,5% ao  $P_2O_5$  e 4,5% ao  $K_2O$ . Esses números indicam que a produção de fertilizantes fosfatados tem peso relativamente pequeno no consumo setorial de energia e em suas emissões de gases de efeito estufa.

A discrepância entre as participações do N,  $P_2O_5$ , e  $K_2O$  no consumo e emissão setorial é consequência das características dos processos produtivos. Para ilustrar, ainda segundo estimativa de Kongshaugh (op. cit.), enquanto para a produção de uma tonelada de N ( $NH_3 + NH_4$ ) são consumidos em torno de 44,5 GJ de energia e emitidas 2,7 t de  $CO_2$  eq., para produzir uma tonelada de  $P_2O_5$  (SSP), esses valores são respectivamente 3,2 GJ e 0,21 t  $CO_2$  eq. Convém lembrar que na produção do ácido sulfúrico, produto intermediário para a produção do ácido fosfórico e do SSP, há um balanço energético positivo, com exportação líquida para outros processos de cerca de 6,0 GJ/t  $H_2SO_4$ . E ainda que o gás carbônico emitido na produção da amônia pode ser parcialmente aproveitado para a produção de ureia, atenuando as emissões. Esta última observação reforça um aspecto relevante para a gestão ambiental e a economicidade no setor: o necessário nível de integração entre processos e complexos produtivos, visando a otimização dos balanços de massa e energia e das emissões.

Segundo Sukalac (op. cit.), os fluxogramas dos processos produtivos pouco mudaram nos últimos 30 ou 40 anos, mas houve no período expressivas reduções de consumo e emissões devido à incorporação de inovações tecnológicas e mudanças em padrões gerenciais. Em termos termodinâmicos, as eficiências de projeto se aproximaram do limite possível, conforme ilustra a Figura 8, na qual é apresentada a evolução do consumo específico de energia com diferentes rotas tecnológicas para a produção da amônia. A Figura 9 detalha essa tendência, mostrando a evolução do consumo médio global de energia na produção de amônia de 1965 a 1995, destacando-se a inflexão da curva por ocasião da crise do petróleo. Decorre daí que novas melhorias expressivas, neste caso, devem ser buscadas em rotas alternativas de síntese.

Por outro lado, Sukalac (2005) indica, baseado em Jensem e Kongshaugh (apud Sukalac, 2005), que há ainda potenciais expressivos de melhoria a explorar, pois são poucas as empresas que incorporam, em curto prazo, as melhores tecnologias e práticas disponíveis. Encontram-se instalações de diferentes idades, escalas de produção, padrões tecnológicos e gerenciais, operando em variados contextos institucionais, econômicos e ambientais. A indústria de fertilizantes europeia, por exemplo, que já passou por um intenso processo de reestruturação econômica, apresenta um consumo por tonelada de amônia 14% menor do que a média mundial.



Fonte: IFA, 2008

Figura 8 - Evolução do consumo de energia na produção da amônia com diferentes rotas tecnológicas.

O Quadro 2 ilustra essas possibilidades. Nele está indicada, na linha “média global hoje”, a estimativa global do consumo de energia e emissões na produção de amônia – como visto, muito próximos dos valores totais para todo o setor – com dados da IFA (2003). Na linha “BAT<sup>4</sup> hoje” o autor apresenta os valores que os mesmos parâmetros teriam caso fossem adotadas as melhores tecnologias disponíveis, revelando uma economia potencial de energia e emissões respectivamente de 37% e 58%. Por outro lado, mantido o valor da produção mundial, o autor assinala que a “média global há trinta anos” para o consumo energético seria 83% maior com as tecnologias então adotadas, e apenas 14% maior se fossem adotadas as melhores tecnologias então conhecidas (BAT há 30 anos), apontando para um potencial de redução de 69%. Vale destacar que o consumo energético “global hoje” (100%) é muito próximo do consumo “BAT há trinta anos” (114%), sinalizando que 30 anos depois o setor como um todo mal incorporou as “BATs” daquela época. Raciocínio análogo vale para o cálculo das emissões.

Quadro 2 – Projeções de consumo de energia e emissões globais para a indústria de fertilizantes.

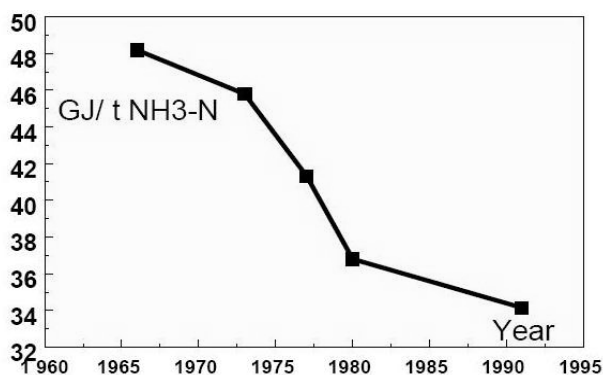
	GJ/ano	% de hoje	CO <sub>2</sub> eq./ano (tx10 <sup>6</sup> )	% de hoje
Média global há 30 anos	7925	183	676	183
BAT hoje	2714	63	118	42
Média global hoje	4342	100	279	100
BAT há 30 anos	4953	114	338	121

Fonte: Sukalac (2005), modificado

Em relação ao potencial de redução de emissões, que corresponde a cerca de 161 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> eq., Kongshaugh (1998) mostra que 32% estão relacionados à adoção de novas tecnologias de redução de N<sub>2</sub>O, 29% à economia de combustíveis em plantas de amônia e 39% às melhorias energéticas em diferentes processos. Convém ressaltar que as novas tecnologias de redução de N<sub>2</sub>O se demonstram efetivas, mas implicam custos consideráveis e são mais viáveis em plantas mais modernas.

Kongshaugh (1998) considera que esses potenciais possam ser efetivados até 2020 ou 2030, principalmente por meio de renovações tecnológicas. Ampliações de capacidade produtiva são momentos propícios para esses aprimoramentos, pois a maior parte deles depende de mudança de escala de produção para ser custo-efetivo.

<sup>4</sup> BAT - Best Available Technologies.



Fonte: Kongshaugh, 1998.

Figura 9 - Evolução do consumo médio global de energia na produção de amônia.

Um exemplo de iniciativa na indústria brasileira é o projeto de redução de cerca de 85% das emissões de óxido nítrico na Unidade de Ácido Nítrico nº 2 da Fosfertil Piaçaguera, parcialmente financiada com a “comercialização de cerca de 837.352 créditos de carbono até 2012” (FOSFERTIL, 2009).

Por fim, o Quadro 3 ilustra que apesar de pouco impactantes no consumo e emissão setorial, em comparação àqueles de produção de nitrogênio, os processos de produção de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> apresentam possibilidades expressivas de redução do consumo energético e da emissão por tonelada de produto.

Quadro 3 – Potencial de redução de consumo energético e emissões de gases de efeito estufa.

Produto	Consumo específico (GJ/t P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		Emissão específica (t CO <sub>2</sub> eq./t P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	
	Global	BAT	Global	BAT
TSP	7,0	- 6,1	0,466	- 0,422
SSP	3,2	- 3,8	0,214	- 0,257

Fonte: Kongshaugh (1998).

### **Disposição de resíduos: fosfogesso é o desafio**

Entre os resíduos sólidos gerados na produção de fertilizantes o mais preocupante é o fosfogesso, que resulta da acidulação do concentrado fosfático por ácido sulfúrico, um conjunto de reações que geram ácido fosfórico e sulfato de cálcio hidratado. Para cada tonelada de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> são produzidas de 4 a 5 toneladas de fosfogesso. Segundo o pesquisador Wellington Massayuki Kanno, da Universidade de São Paulo, o Brasil tem um estoque de cerca de 150 milhões de toneladas desse material e uma produção anual de cerca de cinco milhões, com tendência ao crescimento (Site Inovação Tecnológica, 2009).

O fosfogesso incorpora uma parcela das impurezas da rocha de origem, que se transformam em contaminantes. De acordo com Mazzilli (1997), alguns contaminantes podem acarretar “um acréscimo da radioatividade natural devido à presença de produtos do decaimento do urânio e tório, particularmente Ra-226 e Th-232, que inviabilize seu uso como material de construção ou para outros propósitos”.

Normalmente, o fosfogesso é estocado a céu aberto, nas proximidades das unidades produtoras de ácido fosfórico, em pilhas que apresentam potencial de poluir o ambiente do ponto de vista químico e radiológico. Conforme Saueia (2006), “as principais vias de contaminação ambiental associadas a este armazenamento são: a contaminação atmosférica por fluoretos e outros elementos tóxicos; a poluição de águas subterrâneas por ânions lábeis, acidez, elementos traço e radionuclídeos; a emanção de radônio; a inalação de poeira radioativa e a exposição direta à radiação gama. Outros problemas de armazenagem do fosfogesso incluem o escoamento na superfície, a erosão, e a instabilidade das pilhas (Rutherford e col., 1994)”



Em linhas gerais, UNEP (1998) também aponta que as principais impurezas do fosfogesso, cujos teores variam dependendo da origem do minério e do controle das variáveis de processo, são: arsênio, níquel, cádmio, chumbo, alumínio, flúor e radio – que produz o gás radônio em seu processo de decaimento – além do próprio ácido fosfórico produzido na reação.

Dependendo da concentração, o cádmio é tóxico para os organismos vivos. Por essa razão, a *North Sea Declaration* já previa, em 1990, uma redução do teor de cádmio no fosfogesso lançado no Mar do Norte em 90% com relação aos teores de 1985 até o ano 2000. O objetivo era alcançar naquele ano o teor de 500 mg Cd/t de fosfogesso. Seu teor na rocha fosfática pode variar de 0 a 300 mg/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, a depender de sua origem. Parte do cádmio fica retida no fosfogesso e parte no ácido fosfórico. Várias pesquisas estão sendo desenvolvidas com perspectivas promissoras para reduzir o teor de cádmio no ácido fosfórico, mas ainda sem resultados economicamente viáveis. Assim, o controle do teor de cádmio no produto e nos resíduos é realizado, atualmente, por meio da escolha do minério de menor teor, ou de mistura de minérios com teores variados (UNEP, 1998; IFA 1998).

Parte variável do flúor existente na rocha fosfática, dependendo das características da rocha e das condições em que se processam as reações, é incorporada no fosfogesso (UNEP, 1998; IFA 1998). Estudos realizados em pilhas de fosfogesso no Brasil constataram, além da presença de contaminantes como sulfato, fósforo e fluoreto, a tendência de acumulação deste último na base de argila da pilha e no solo da valeta de percolados (BORGES, 2003).

Do ponto de vista de gerenciamento ambiental, é essencial praticar um rigoroso controle da percolação de fluidos para o lençol freático em virtude da possibilidade de concentração dos contaminantes; além de cuidados especiais com o controle da água de transporte, que envolve sua reciclagem segura.

Várias alternativas têm sido estudadas e/ou adotadas para reduzir o passivo de fosfogesso, entre elas a produção de argamassa e cimento; a pavimentação de estradas; a produção de componentes de construção civil; e o uso como corretivo para solos salino-sódicos. No entanto, alguns problemas têm sido enfrentados, entre eles a distância entre as indústrias geradoras e os potenciais consumidores, que implica custos de transporte; e a falta de definições científicas e tecnológicas mais claras e consolidadas sobre os limites impostos à sua utilização pela presença dos contaminantes, em especial das emissões radiativas.

Entre os demais resíduos da indústria de fertilizantes, há numerosos resíduos tóxicos, cuja disposição é normalmente regulamentada pelos órgãos ambientais do País e para os quais há boas práticas disponíveis, cuja aplicação depende basicamente das empresas. Entre eles, incluem-se catalisadores usados, que contém óxidos metálicos e outras substâncias recicláveis; cinzas que podem ser reutilizadas para recuperar metais quando se produz ácido sulfúrico a partir de compostos que não o enxofre; lamas de tratamento de gases; resíduos e poeiras de filtragem.

### ***Emissões atmosféricas***

Além dos gases de efeito estufa, a indústria de fertilizantes emite várias outras substâncias que impactam a saúde e o meio ambiente. Normalmente, seus padrões de emissão são definidos e controlados pelos órgãos ambientais e as tecnologias de prevenção ou controle são conhecidas pelas empresas. A lacuna maior, nesse aspecto, diz respeito a substâncias que emitem partículas radiativas, que ainda carecem, em âmbito industrial, de regulamentação e normas suficientemente precisas e adequadas aos processos e produtos em que são utilizadas.

### ***Óxidos de enxofre e névoa ácida***

Emitidos nos processos de produção do ácido sulfúrico e fertilizantes fosfatados, são responsáveis pela chuva ácida e por fortes irritações nos pulmões. Os principais compostos são o H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> e SO<sub>3</sub>, que reagem rapidamente com água e outros poluentes para formar aerossóis de sulfatos. As tecnologias de controle são bem conhecidas e sua eficácia varia com a idade das instalações, adequação dos projetos e padrões de gestão das unidades (UNEP, 1998).

### **Compostos de flúor**

Dependendo das concentrações, o flúor pode causar severos impactos na saúde e na vegetação, podendo atingir a cadeia alimentar de animais herbívoros. Essas emissões resultam da acidulação das rochas fosfáticas, que podem conter de 2% a 4,5% de flúor e quantidades variáveis de sílica, e ocorrem principalmente na forma  $\text{SiF}_4$  e HF. De 35 a 40% do flúor são liberados nos gases de escape e podem ser recuperados por meio de processos conhecidos de tratamento de gases na forma de ácido fluossilícico, que têm valor comercial, mas podem também ser neutralizados com carbonato de cálcio. O restante se divide entre o ácido fosfórico e o fosfogesso. Um pouco de flúor também pode ser encontrado nos efluentes líquidos do processo. Com processos eficientes de remoção, podem ser atingidas, em plantas novas, concentrações da ordem de 1 a 5 mg/Nm<sup>3</sup> ou 40 g/t P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. (UNEP 1998; IFA 1998)

### **Óxidos de nitrogênio**

O óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) foi parcialmente abordado anteriormente (item “Energia e emissões de gases de efeito estufa”). É emitido na produção do ácido nítrico em proporção de 1,2 a 10 kg/t 100% $\text{HNO}_3$ , a depender da instalação. É um gás de efeito estufa e seu potencial de aquecimento é 310 vezes maior que o do CO<sub>2</sub>, sendo merecedor de atenção especial, sobretudo considerando que as emissões de N<sub>2</sub>O do setor de fertilizantes industriais representam cerca de 6% das emissões antrópicas desse gás. O abatimento das emissões é normalmente feito por meio de redução catalítica não seletiva. Há técnicas capazes de abater em torno de 75% do óxido nitroso, mas são caras e mais adequadas a novas instalações. (UNEP, 1998)

Os demais óxidos de nitrogênio (NOx) resultam da produção da amônia e do ácido nítrico, provocam chuva ácida, *smog* e são precursores do ozônio. Por essa razão, são críticos nas proximidades de áreas urbanas. São emitidos numa proporção de 1 a 2 kg NOx/ t N e 6 a 9 kg NOx/t N, respectivamente pelos processos de produção de amônia e ácido nítrico. A redução catalítica seletiva é dos métodos mais utilizados para abatimento do NOx e responsável pelo consumo mundial de cerca de meio milhão de toneladas de amônia por ano. A escolha das opções de abatimento depende das circunstâncias técnicas e econômicas de cada planta. (UNEP, 1998)

### **Amônia**

A amônia e os aerossóis de amônio são constituintes naturais da atmosfera. A amônia pode reagir com SO<sub>2</sub> formando aerossóis de sulfato de amônio, que contribuem para a formação de *fog*, aumentando sua densidade e persistência. A depender da concentração, pode provocar irritação na mucosa da garganta e afetar a mucosa do nariz e dos olhos. Presente na água, pode ser perigosa para a vida de certas espécies de peixes. Há tecnologias e práticas para prevenção, recuperação e reciclagem das emissões, que são controladas pelos órgãos ambientais. (UNEP, 1998)

### **Radioatividade**

A ocorrência e a intensidade das emissões radioativas dependem da origem da rocha fosfática. Esta pode conter urânio ou tório, com prevalência de um deles. O urânio presente na rocha é particionado entre o fosfogesso e o ácido fosfórico. Aceita-se que cerca de 40% dos radionuclídeos da rocha passam para o produto beneficiado, sendo 2/3 para o ácido e 1/3 para o fosfogesso (UNEP 1998).

A concentração atingida no ácido fosfórico depende das características da rocha, das variáveis de processo e da concentração final do ácido, podendo variar numa ampla faixa de 0,01 a 0,026 g/kg. Pesquisas vêm sendo realizadas para reduzir o teor de urânio no ácido fosfórico, mas as alternativas vislumbradas ainda são muito caras.

O decaimento do urânio produz o Ra<sup>226</sup>, que apresenta intensa ocorrência no fosfogesso em razão da baixíssima solubilidade de seu sulfato. Este, por sua vez, decai gerando o gás radônio Ra<sup>222</sup>, motivo de preocupação, particularmente quando as pilhas de fosfogesso se localizam próximo a concentrações humanas e sujeitas a ventos. Vários fosfogessos apresentam teores de urânio em torno de 0,015 a 0,03 g/kg.

Em caso de utilização de rochas com concentração elevada de radionuclídeos, os níveis de radioatividade no ácido e no fosfogesso devem ser monitoradas, pois os componentes radioativos podem se concentrar em várias partes da planta, em especial nos concentradores a vácuo.

Fosfatos minerais, fertilizantes fosfatados, fosfogesso e plantas de ácido fosfórico apresentam níveis de radioatividade normalmente abaixo dos valores limites internacionais prescritos pela European Atomic Energy Community (EURATOM), e não estão sujeitos a regulamentos específicos sobre radiação (UNEP, 1998)

Apesar disso, os impactos radiológicos do processo de produção de fertilizantes fosfatados, apesar de muito estudados, ainda constituem tema controverso, em especial nos meios científicos e dos profissionais de saúde pública. Para ilustrar, estudos como os de Saueia (2003) apontam valores negligenciáveis para o impacto radiológico na utilização do fosfogesso na agricultura, mas alertam para a necessidade de controles no caso de sua utilização em construção civil. A mesma autora, tratando da importância dos modelos de análise adotados, enfatiza que “modelos mais restritivos que consideram a inalação do radônio podem inviabilizar a utilização do fosfogesso de algumas procedências. Por outro lado, modelos menos restritivos permitem a utilização de todo o fosfogesso de procedência nacional” (Saueia, 1998). Rajkovic e Toskovic (2002), contudo, consideram que “na opinião da maioria dos especialistas não há nível negligenciável de emissão radiativa”.

### **Poeiras**

Na indústria de fertilizantes há muita manipulação de produtos a granel – pós ou granulados – em operações potencialmente geradoras de grandes quantidades de particulados. Isso ocorre na produção, no transporte de matérias-primas e produtos finais e na manipulação no campo, exigindo práticas adequadas de gestão e controle, amplamente conhecidas.

## **Considerações sobre os aspectos ambientais relevantes na etapa de industrialização**

Na etapa de industrialização, a possível intensificação dos impactos ambientais devido ao aumento de produção está associada ao consumo de energia, em especial o gás natural; à emissão dos gases de efeito estufa e outras emissões atmosféricas; e à geração de resíduos sólidos, principalmente o fosfogesso.

Encontrar uma solução para o fosfogesso é hoje o principal desafio da indústria de fertilizantes em matéria ambiental. Ele já constitui significativo passivo ambiental que, mantidas as atuais circunstâncias, deve continuar a crescer na razão direta da expansão da produção, em virtude da rota tecnológica adotada.

Para vencer esse desafio, três tarefas devem ser prioritariamente enfrentadas: a consolidação e avaliação de trabalhos científicos, normas e documentos legais existentes a respeito do fosfogesso, como ponto de partida para regulamentar sua disposição, manipulação e uso; a promoção de um intenso trabalho de pesquisa e inovação tecnológica, visando a avaliação de sua utilização como insumo agrícola e industrial; e o estudo de alternativas para reduzir a incidência dos custos logísticos na viabilidade econômica de suas possíveis aplicações.

Por se tratar de tema controverso, em especial no que concerne às emissões radioativas, deve ser tratado de modo amplo e transparente, envolvendo todos os atores interessados – empresas, instituições de ciência e tecnologia, organismos de governo, entidades não governamentais, sociedade civil – e incorporar como pressupostos os princípios de prevenção e precaução.

No que diz respeito à energia e às emissões, destacam-se as seguintes questões:

- o consumo de energia e emissões de gases de efeito estufa do setor são significativos (1,2 % do total mundial); é razoável, portanto, considerar que possa estar sujeito, a médio prazo, a novas condições

nantes decorrentes da evolução das negociações internacionais e de iniciativas nacionais ou regionais em torno das mudanças climáticas.

- ainda neste campo, o principal potencial de prevenção e mitigação diz respeito aos compostos de nitrogênio, pois do total de energia e emissões setoriais 92% estão associados à sua produção. Apesar da eficiência dos processos modernos de produção de nitrogênio convergir para seu limite termodinâmico, ainda há potenciais de melhoria, pois nem todas as empresas adotam as *BAT – Best Available Technologies* simultaneamente, além de apresentarem ampla diversidade de idade, padrão tecnológico, níveis de inovação incremental, escala de produção e integração de processos. Apesar dos compostos fosfatados representarem apenas 3% do consumo de energia e emissões setoriais, também apresentam possibilidades de melhorias com relação aos patamares hoje existentes, pelas mesmas razões.

## Conclusões gerais

É inegável a importância dos fertilizantes fosfatados para o setor agrícola, em particular para o desenvolvimento da produção de biocombustíveis, mas é também inegável que toda sua produção – lavra, beneficiamento e industrialização – tem grande potencial de causar impactos ambientais negativos significativos.

As principais questões a ser enfrentadas variam muito de projeto para projeto, principalmente na etapa de lavra em que se destacam os impactos relacionados à supressão de vegetação, ao rebaixamento do nível freático e à disposição de estéréis e minérios marginais.

Associados ao beneficiamento mineral, o grande volume de rejeitos está na raiz dos principais impactos ambientais, que se desdobram em questões relacionadas ao uso da terra e ao uso da água, já que as barragens de rejeitos e seus reservatórios ocupam terras agricultáveis ou áreas de conservação, além da apropriação de trechos do próprio corpo d'água, convertidos em componente do empreendimento.

O fosfogesso é o principal desafio ambiental na etapa de industrialização; apesar das numerosas soluções técnicas desenvolvidas e em desenvolvimento, seus estoques aumentam a cada ano. Falta regulamentação com base científica para sua disposição, manipulação e uso em diversos setores.

Merece destaque o fato de que as principais questões ambientais associadas à lavra e ao beneficiamento dos minerais fosfáticos encontram-se no campo dos conflitos, seja pelo uso da terra ou da água, seja pelo dilema maior entre conservação e desenvolvimento econômico. Na etapa de industrialização, que tem o fosfogesso em destaque, o papel do desenvolvimento científico e tecnológico pode ser muito mais decisivo na solução dos problemas.

Este quadro se reflete nitidamente no processo de licenciamento ambiental de empreendimentos voltados à produção de fertilizantes fosfatados. As atividades que formam a base da indústria – lavra e beneficiamento – têm seu licenciamento ambiental apoiado na Avaliação de Impacto Ambiental, que é um processo caracterizado pela publicidade, participação pública e decisão colegiada. Com relação às etapas de industrialização, o licenciamento ambiental é menos sujeito a conflitos de valores e obedece a padrões estabelecidos por normas legais e adota opções tecnológicas consagradas.

Na Avaliação de Impacto Ambiental, os estudos ambientais que dão suporte à análise da viabilidade ambiental dos empreendimentos abordam, em princípio, todos os fatores intervenientes – físicos, bióticos, sociais e econômicos. A análise dos estudos, contudo, é feita por técnicos do órgão ambiental competente e a decisão final é tomada pela autoridade ambiental. A participação pública é muitas vezes intensa e capaz de exercer fortes pressões em favor de um dos lados do conflito. Após a tomada de decisão, o conflito muitas vezes migra para o Poder Judiciário que, à luz de interpretação estrita das leis pode determinar a suspensão das licenças ambientais já concedidas.

Como consequência desse processo, o licenciamento ambiental de novas minas de fosfato no Brasil, quando envolve grandes conflitos com recursos naturais, tem enfrentado crescentes dificuldades. O equacionamento destas questões depende muito do aperfeiçoamento deste importante instrumento de

política ambiental que é a Avaliação de Impacto Ambiental, o que inclui necessariamente o treinamento e aprimoramento dos profissionais envolvidos na análise dos estudos. É preciso ainda repensar a composição dos colegiados que participam da tomada de decisões, de modo a garantir a representatividade de todos os envolvidos nos conflitos, inclusive o setor produtivo.

O setor produtivo, por seu turno, não pode limitar-se à adoção das melhores práticas, deve incorporar a preocupação com as questões ambientais já nas avaliações iniciais de viabilidade dos empreendimentos, considerando diferentes opções tecnológicas, inclusive alternativas de renúncia parcial de reservas ou aumento de custos quando o nível dos conflitos com a proteção ambiental assim o exigir. As diferentes opções tecnológicas para a solução de problemas importantes, como a disposição de rejeitos, utilização de resíduos, entre outros, devem ser vistas como questão estratégica pelo setor, que deve se associar a entidades voltadas à pesquisa científica e tecnológica para seu desenvolvimento ou aprimoramento.

Em conclusão, existem desafios a serem enfrentados, tanto do ponto de vista de políticas públicas e normatização, como no desenvolvimento científico e tecnológico de alternativas para a prevenção e mitigação dos impactos ambientais. Nesse sentido, a pró-atividade do setor no campo ambiental é cada vez mais importante, não apenas por sua responsabilidade com o planeta, mas pelo fato da componente ambiental se apresentar com ênfase crescente nas negociações comerciais internacionais.

## Referências bibliográficas

- ARAÚJO, R.V.V.; SANTOS, R. L.C.; SOBRAL, L. G. (2002). Produção de fosfato no Brasil: complexo de mineração de Tapira / Fosfertil. In: ENTMM, 19, Recife, 2002. *Anais*. v. 1. p. 439-445. Disponível em <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2002-050-00.pdf>>. Acesso em 17 dez. 2008.
- BORGES, R.M.M. (2003). *Caracterização do fosfogesso no pólo industrial de Cubatão e investigação confirmatória da contaminação das águas subterrâneas*. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.
- FERNANDES, H. M.; RIO, M.A.P.; FRANKLIN, M. R. (2004). *Impactos radiológicos da indústria dos fosfatos. CETEM Série Estudos e Documentos*, n.56, 46p. Disponível em <[http://www.cetem.gov.br/publicacao/CETEM\\_SED\\_56.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicacao/CETEM_SED_56.pdf)>. Acesso em 18 mar. 2009.
- FOSFERTIL (2009) *Projeto de abatimento de óxido nítrico na planta de ácido nítrico nº 2 da Fosfertil Piaçaguera*. Disponível em <[http://www.fosfertil.com.br/www/mda/modulos/desenv\\_limpo/arquivos/Resumo%20do%20projeto%20de%20Abatimento%20de%20Óxido%20Nitroso%20em%20Piaçaguera.pdf](http://www.fosfertil.com.br/www/mda/modulos/desenv_limpo/arquivos/Resumo%20do%20projeto%20de%20Abatimento%20de%20Óxido%20Nitroso%20em%20Piaçaguera.pdf)>. Acesso em 20 mai. 2009.
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (2009). *Ecossistemas brasileiros: Mata Atlântica* <[http://www.ibama.gov.br/ecossistemas/mata\\_atlantica.htm](http://www.ibama.gov.br/ecossistemas/mata_atlantica.htm)>. Acesso em 15 jul 2009.
- IFA - International Fertilizer Industry Association; UNEP - United Nations Environment Program. (1998). *The fertilizer industry, world food supplies and the environment*. IFA [ISBN: 2-9506299-2-X] Disponível em <<http://www.fertilizer.org/Home-Page/LIBRARY/Books-selection/Fertilizer-production-technology-and-distribution.html/The-Fertilizer-Industry-Food-Supplies-and-the-Environment.html>>. Acesso em 20 mar. 2009.
- IFA - International Fertilizer Association (2008). *Fertilizer and climate change*. May 2008. Disponível em <<http://www.fertilizer.org/ifa/Home-Page/SUSTAINABILITY/Climate-change>>. Acesso em 02 abr 2009.
- KONGSHAUGH, G. (1998). Energy consumption and greenhouse gas emissions in fertilizer production. In: IFA Technical Conference, Marrakech, Morocco. 28 September-1 October 1998. *Proceedings*. Disponível em <[www.fertilizer.org/ifa/Home-Page/LIBRARY/Publications.html/Energy-Consumption-and-Greenhouse-Gas-Emissions-in-Fertilizer-Production.html](http://www.fertilizer.org/ifa/Home-Page/LIBRARY/Publications.html/Energy-Consumption-and-Greenhouse-Gas-Emissions-in-Fertilizer-Production.html)>. Acesso em 20 mar. 2009.

- LAPIDO-LOUREIRO, F. E., MONTE, M. B. M., NASCIMENTO, M. (2008). *Agrominerais – fosfato*. In: Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações. 2.ed. Disponível em <<http://www.cetem.gov.br/agrominerais/livros/07-agrominerais-fosfato.pdf>>. Acesso em 05 out. 2009
- MAZZILLI, B. (1997). Implicações radiológicas da utilização de fosfogesso como material de construção. In: *Ambiente Construído*, São Paulo, v.1, n.2, p. 17-22, jul/dez, 1997
- PROMINER PROJETOS S.C.; CARUSO JR ESTUDOS AMBIENTAIS LTDA. (2008) *Estudo de impacto ambiental – EIA*. IFC - Indústria de Fosfatados Catarinense Ltda. Anitápolis – SC. Volume VII – RIMA. REVISADO. Disponível em <<http://www.projetoanitapolis.com.br>>. Acesso em 22 mar. 2009.
- RAJKOVIC, M.B; TOSKOVIC, D.V. (2002). Investigation of the possibilities of phosphogypsum application for building partitioning walls elements of a prefabricated walls. *Acta Periodica Technologica, APTEFF*, 33,1-174 (2002). Disponível em <<http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/1450-7188/2002/1450-71880233071R.pdf>>. Acesso em 28 abr. 2010.
- SAUEIA, C.H. R. (1998). *Caracterização radioquímica do fosfogesso e implicações de sua utilização como material de construção*. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, 1998.
- SAUEIA, C.H. R. (2006). *Distribuição elementar de radionuclídeos na produção e uso de fertilizantes fosfatados no Brasil*. São Paulo, 2006. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.
- SITE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA (2009). *Fosfogesso pode ser solução para habitações populares*. 12/12/2008. Disponível em [www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/artigo=fosfogesso-construcao-blocos-habitacoes-populares](http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/artigo=fosfogesso-construcao-blocos-habitacoes-populares). Acesso em 21 set. 2009.
- SUKALAC, K.E. (2005) *Technology transfer to reduce climate change impacts from the fertilizer industry. Presented at UNFCCC COP11/MOP1 side event "Knowledge Transfer to Reduce Greenhouse Gas Emissions: Lessons from the Fertilizer Industry"*, Montreal, Canada, 6 December 2005. <[http://regserver.unfccc.int/seors/reports/archive.html?session\\_id=COP11-MOP1](http://regserver.unfccc.int/seors/reports/archive.html?session_id=COP11-MOP1)>. Acesso em 16 mar. 2009.
- TUCCI, C. E. M.; TASSI, R. D.; BUARQUE, D. C. (2009). *Avaliação do impacto nos usos da água do empreendimento da IFC na bacia do Braço do Norte em Santa Catarina*. In: Processo FATMA 2431/060 – Estudo de Impacto Ambiental – EIA. IFC – Indústria de Fosfatados Catarinense Ltda. Anitápolis – SC. Volume XIII. Complementação dos estudos da qualidade da água do rio Braço do Norte. Disponível em <<http://www.projetoanitapolis.com.br/paginas/Download.html>>. Acesso em 21 mar. 2009.
- UNEP - United Nations Environment Program; UNIDO – United Nations Industrial Development Organization; IFA - International Fertilizer Industry Association (1998). *Mineral fertilizer production and the environment*. Part 1. The fertilizer industry's manufacturing process and environmental issues. United Nations Publication [ISBN: 92-807-1640-9] Disponível em <<http://www.fertilizer.org/ifa/Home-Page/LIBRARY/Books-selection/>>. Acesso 20 mar. 2009.
- UNEP - United Nations Environment Program; IFA - International Fertilizer Industry Association (2001). *Environmental aspects of phosphate and potash mining*. United Nations Publication [ISBN: 92-807-2052-X] Disponível em <<http://www.fertilizer.org/Home-Page/LIBRARY/Books-selection/Fertilizer-production-technology-and-distribution.html/Environmental-Aspects-of-Phosphate-and-Potash-Mining.html>>. Acesso em 18 mar. 2009.