

©Copyright, 2006. Todos os direitos são reservados. Será permitida a reprodução integral ou parcial dos artigos, ocasião em que deverá ser observada a obrigatoriedade de indicação da propriedade dos seus direitos autorais pela INTERFACEHS, com a citação completa da fonte. Em caso de dúvidas, consulte a secretaria: [interfacehs@interfacehs.com.br](mailto:interfacehs@interfacehs.com.br)

## **AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIA DE CONTROLE DE EFLUENTES GASOSOS: CONSIDERAÇÕES PARA A GESTÃO AMBIENTAL REGIONAL**

Wilma Carvalho Pereira<sup>1</sup>; D. M. Silva<sup>2</sup>; R. C. Villas Boas<sup>3</sup>.

*<sup>1</sup>DSc em geoquímica pela Universidade Central de Barcelona (UCB), Espanha; <sup>2</sup>DSc em saúde pública pela ENSP/Fiocruz (2000), pesquisador associado da Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP/Fiocruz); <sup>3</sup>Ph.D. em engenharia de materiais, presidente da Pan American Committee on Mining, Metallurgy and Materials (Copam) da The Pan American Association of Engineering (Upadi) desde 1996. Editor e editor-associado do jornal das Nações Unidas Natural Resources Forum, Pergamon Press.*

### **RESUMO**

A capacidade de redução de emissões de elementos metálicos potencialmente contaminadores usando tecnologia de controle tem sido objeto de muitos trabalhos de pesquisa. A avaliação de risco relacionado à saúde humana e ambiental, no aspecto da poluição atmosférica, é bastante complexa quando relacionada a emissões industriais. Este impacto será de previsão complexa devido às condições atmosféricas que permitirão (ou não) a dispersão dos poluentes. Este estudo visa à caracterização de materiais que apresentam a função de reter elementos potencialmente contaminadores devido às suas características estruturais. Foram estudados os calcários brasileiros, calcíticos e dolomíticos, e argilominerais considerados mais propícios ao emprego dessa tecnologia. Foram selecionados um calcário dolomítico proveniente de São Paulo, Sudeste do Brasil, e um argilomineral (vermiculita), originário do Piauí, região Nordeste do País. Consta do estudo uma série de ensaios de caracterização dos materiais, os quais foram, em seguida, submetidos a ensaios de retenção de SO<sub>2</sub> e de elementos potencialmente contaminadores associados às emissões ácidas.

**Palavras-chave:** Saúde e ambiente; tecnologia de controle; materiais sorventes.

## INTRODUÇÃO

Nos últimos 30 anos, assistimos a uma transformação no comportamento da sociedade em relação ao ambiente. Os países industrializados e os que estavam em processo de industrialização passaram a adotar padrões de qualidade para o ar e para as águas, padrões de emissão para os efluentes industriais líquidos e gasosos. No entanto, as indústrias só atendiam à legislação ambiental quando obrigadas pelos órgãos competentes. A competitividade e o meio ambiente eram, então, totalmente antagônicos e as relações entre as indústrias, os governos e a sociedade eram de constante confronto. Este comportamento está, entretanto, sendo modificado. Embora o Brasil não tenha ainda o compromisso formal de reduzir suas emissões de gases, diversas iniciativas podem ser consideradas nesse sentido. Devido à crescente conscientização da sociedade como um todo, os empresários entenderam que fazia sentido investir na modificação dos seus processos de produção e o governo vem dando ênfase a iniciativas nessa área.

O problema de poluição do ar não é recente: um dos primeiros episódios registrados na história foi causado pela queima de carvão mineral na Inglaterra em 1911, segundo Braga *et al.* (2004). Deste período até os nossos dias o problema só tem se agravado: a queima de combustíveis fósseis ainda está longe de declinar. A emissão excessiva de poluentes tem provocado sérios danos à saúde, como problemas respiratórios (bronquite crônica e asma), alergias, lesões degenerativas no sistema nervoso ou em órgãos vitais. Em 1962, quatro mil pessoas morreram em Londres devido à poluição atmosférica (*smog*). No Brasil, há registro de episódios na cidade de São Paulo. No entanto, a poluição atmosférica é de controle bastante complexo e se a construção de cenários prospectivos é fundamental para o conhecimento das dimensões da questão ambiental, é mais ainda neste tipo de poluição. Também têm sido pesquisadas tecnologias de controle e materiais visando a minimizar este problema. A partir da identificação de situações críticas, as tomadas de decisão dependerão de opções – por parte de governos, sociedade e empresas – para a prevenção e mitigação de danos ao meio ambiente. Esta associação dos vários segmentos é que pode dar origem a uma gestão ambiental estratégica.

Trabalhos realizados recentemente pelos órgãos ambientais têm definido os principais biomas (unidades espaciais) para diagnóstico e análise prospectiva. Foram

identificados os principais vetores e os impactos deles decorrentes, construindo cenários tendenciais e desejados. Os impactos e respostas identificados assumem sentido quando referenciados aos biomas e às escalas locais e regionais. Para permitir a integração das condições ecológicas com as socioeconômicas, optou-se por utilizar as zonas fisiográficas (grupamentos de municípios com características ambientais semelhantes) como unidade territorial de base para a definição dos biomas.

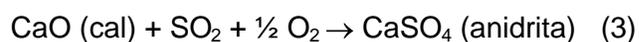
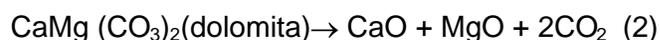
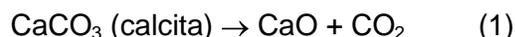
Mesmo tendo sido identificada e diagnosticada durante as últimas três décadas como uma questão relevante para a efetiva implementação de políticas ambientais, poucas foram as ações efetivas realizadas até os anos 1990 com o propósito de reduzir a fragmentação das políticas setoriais, sejam elas ambientais ou de outra natureza. Pelo contrário, as diferentes leis, agências, planos e programas e outros instrumentos criados durante esse período apenas contribuíram, num primeiro momento, para aumentar essa segmentação (IBAMA, s/d). Assim, o recorte por biomas (quer por sua capacidade integrativa quer pelo potencial de promoção do desenvolvimento sustentável) constitui um avanço no quadro institucional brasileiro. No entanto, deve-se ter a precaução de não tornar conflitante a legislação ambiental.

Processos tecnológicos são desenvolvidos tendo em vista a necessidade de controle das emissões gasosas; a busca de materiais que apresentem a capacidade de reter compostos deletérios à saúde e ao ambiente faz parte deste processo. Por outro lado, os materiais calcários são tradicionalmente utilizados no controle da acidez de efluentes líquidos e gasosos em vários países. No Brasil, no entanto, ainda não foram suficientemente caracterizados para o fim específico de controle das emissões gasosas. Com detalhamentos, podem vir a ser considerados mais uma ferramenta de controle, devido ao seu relativo baixo custo. Também a proximidade dos jazimentos é um aspecto importante a ser levado em conta na gestão ambiental. O emprego de argila como material sorvente no tratamento de efluentes gasosos também pode ser considerado um campo promissor a ser explorado, apresentando amplas perspectivas de utilização (UBEROL; SHADMAN, 1991).

A produção de energia a partir de combustível fóssil, a incineração de resíduos e os processos metalúrgicos geram emissões gasosas ácidas, contendo arsênio, cromo, chumbo, cádmio e mercúrio, entre outros elementos. A alta volatilidade destes elementos

nas temperaturas em que ocorrem os processos de combustão faz com que o tratamento desses efluentes se torne uma tarefa complexa. Em geral, o controle da emissão de SO<sub>2</sub> pela indústria consiste na injeção de partículas de materiais sorventes no fluxo de gás. Os sorventes sólidos, à base de compostos de cálcio, são amplamente usados, dados seu baixo custo e elevada capacidade de sorção. A utilização de calcários tem a vantagem de que o subproduto do processo, a anidrita, é um composto insolúvel em água, o que resulta em mais segurança na disposição do resíduo. Apresenta a conveniência adicional de incorporar em sua estrutura, pelo processo de sorção, alguns elementos metálicos voláteis.

Os efluentes gasosos contêm espécies ácidas agressivas, tais como SO<sub>2</sub>, HF e HCl. A sorção de um elemento metálico volátil por um sólido qualquer poderá ocorrer por meio de adsorção física ou química, por uma reação química ou, ainda, como uma consequência da combinação desses processos. No caso do processo de captura do dióxido de enxofre pelo uso de um material calcário, acontecerão as seguintes reações (ALVORS; SVEDBERG, 1992):



Das reações (1), (2) e (3) vê-se que, no caso de ser utilizado como sorvente um calcário dolomítico (2), o periclásio (MgO) se comportaria como inerte, na faixa de temperatura em que ocorre o processo (da ordem 750-850°C, à pressão atmosférica). Assim, pois, os elementos metálicos voláteis podem ficar retidos nos sorventes não somente como resultado de reações químicas, mas também como consequência de processos de condensação que ocorram na superfície das partículas dos sorventes (SLOSS, 1992).

É conhecido que as rochas calcárias que apresentam alta porosidade têm maior capacidade de reagir com o SO<sub>2</sub>. Dam-Johansen e Ostergaard (1991) mostraram que a possibilidade de retenção dos sorventes estava correlacionada à textura física – que, por sua vez, apresentava uma estreita relação com a idade geológica da rocha. Nesse sentido, foi realizado um estudo prévio sobre a porosidade das rochas, e a partir dos resultados apresentados foi feita uma pré-seleção dos materiais utilizados neste trabalho.

A princípio, foram estudados os argilominerais que atuavam junto com materiais calcários. Na natureza, estes ocorrem associados a outros tipos de minerais e, no caso de calcários de origem sedimentar (os mais adequados para utilização nesse tipo de tecnologia), a presença de alumino-silicatos é muito comum. Destes, os mais freqüentes são os argilominerais, como a ilita, a montmorillonita e a caulinita, entre outros. Os calcários utilizados podem ser tanto calcíticos como dolomíticos.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Foram realizados testes exploratórios, em escala de bancada, utilizando um óleo combustível pesado (Classificação ANP 1A, 2-4% de teor de enxofre) como fonte geradora de SO<sub>2</sub>. Esta simulação é interessante devido à grande quantidade de indústrias de pequeno porte no Brasil que vêm queimando óleos pesados em seus processos. As experiências de combustão foram realizadas com cada um dos sorventes escolhidos. A quantidade de calcário utilizada foi calculada tomando como base as reações anteriores, assumindo uma relação mínima estequiométrica 2:1, a partir do teor de enxofre do combustível.

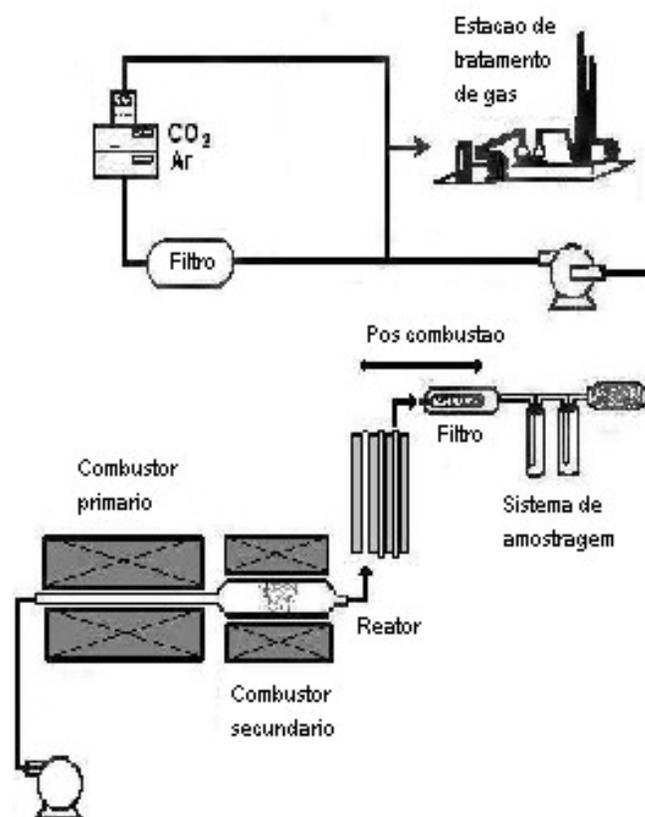
### **Amostragem e métodos analíticos**

As amostras foram submetidas a etapas de preparação que envolveram redução de tamanho, homogeneização e quarteamento. As análises químicas foram realizadas pelo Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD – Rio de Janeiro – Brasil). As amostras, após solubilização, foram analisadas usando um ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry). A determinação da área superficial e o estudo da porosidade do material foram realizados utilizando o Asap (Accelerated Surface Area and Porosimetry System), Micromeritics, 2010, pela técnica de adsorção/desorção de nitrogênio. As análises mineralógicas foram efetuadas no Cetem empregando um SEM/XDS (Scanning Electron Microscopy/X-ray Dispersive Spectroscopy) LEO S440, equipado com sistema de microanálise por dispersão de energia Link ISIS L300 com detetor de SiLi Pentafet, janela ultrafina ATW II, de resolução de 133 eV para 5,9 keV. As análises foram executadas com 20 kV de tensão de aceleração de elétrons. Para a determinação da composição mineralógica foram utilizados um difratômetro de raios X (XRD), Siemens AXS, D505 e a

técnica de fluorescência de raios X (Phillips, modelo TW2400). As análises térmicas utilizaram termobalança (Simultaneous DTA/TGA, TA Instruments, modelo SDT 2960), enquanto para a determinação de enxofre foi utilizado o LECO SC – 232, Modelo 781 – 400 – 100.

### Aparato experimental

O aparato experimental usado no teste de combustão em leito estático consiste, essencialmente, de dois fornos tubulares, com um sistema que admite a passagem do gás e uma serpentina, além de filtro e ampolas para captação do gás. O aparato utilizado para nos experimentos de adsorção está mostrado na Figura 1.



**Figura 1: Esquema do aparato experimental**

Da Figura 1 vê-se que no primeiro forno o combustível fóssil é preaquecido e queimado, liberando uma corrente gasosa para um segundo forno, que contém o reator e o leito de sorvente. Para promover maior turbulência utiliza-se um leito de quartzo.

## RESULTADO E DISCUSSÃO

O óleo utilizado apresenta uma perda de peso inicial a 319°C, sendo que a maior perda de peso ocorre a 458°C, aproximadamente. A 700°C já foi totalmente decomposto, conforme verificação experimental no reator. Em relação à análise dos gases, verificou-se a presença de metano, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, além do SO<sub>2</sub>, que pode ser mascarado pela presença do vapor d'água.

### Caracterização dos materiais sorventes

Inicialmente, foi realizada uma série de ensaios com diferentes calcários, em função de sua idade geológica. A análise em relação à porosidade dos calcários chegou aos resultados apresentados na Figura 2. De acordo com ele foi selecionado o calcário Irati.

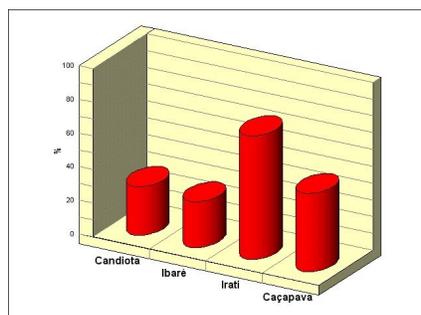


Figura 2: Estudos de porosimetria realizado com os calcários estudados no Asap.

Os resultados obtidos com o estudo da porosidade parecem coerentes com o aspecto das amostras. As mais cristalinas (Ibaré e Candiota) são as menos porosas e de menor superfície específica.

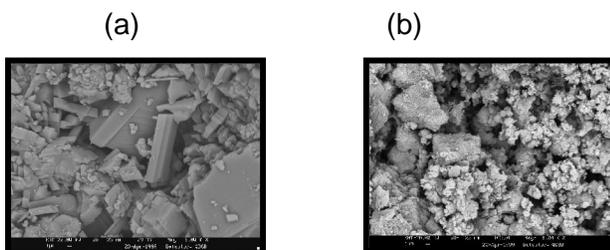
Na Formação Irati é lavrada uma fácies carbonática correspondente a um banco tabular de calcário dolomítico com 2 m a 4 m de espessura, encimado por uma seqüência rítmica de folhelhos e calcários silicificados.

### **Análise térmica dos sorventes**

A reatividade do  $\text{SO}_2$  com os sorventes sólidos tem sido relacionada à área superficial e à porosidade intrínseca dos materiais. Para a determinação das faixas de temperatura de trabalho foram realizados ensaios usando análises térmicas diferenciais (TGA/DTA). Da queima do combustível resulta uma corrente gasosa que passará através do sorvente, transformando o  $\text{SO}_2$  em  $\text{CaSO}_4$ , como mostra a reação (3). O fato de essas reações acontecerem a elevadas temperaturas conduz ao aparecimento de uma estrutura porosa no sorvente que, ao início, apresenta-se pouco desenvolvida. O tempo requerido para a etapa de calcinação (1) é muito pequeno, se comparado ao associado à segunda reação, de sulfatação (3).

A partir dos resultados iniciais obtidos foi escolhida a temperatura de  $650^\circ\text{C}$  como a ideal para minimizar a ocorrência de resíduos decorrentes da combustão do óleo pesado, já que a combustão total ocorre em torno de  $550^\circ\text{C}$ . Em relação ao calcário, observou-se que, à temperatura em torno de  $760^\circ\text{C}$ , ocorreu a sua transformação de  $\text{CaCO}_3$  em  $\text{CaO}$ .

As microfotografias referentes aos resíduos de calcário obtidos após os testes podem ser vistas nas figuras abaixo.



*Figura 3 (a): Microfotografia do calcário cru obtido com MEV; 3 (b) Microfotografia do resíduo calcário.*

## Resultados dos ensaios de adsorção

Observou-se uma maior concentração de alguns dos elementos (tais como Co, Cu, Ge, Nb e U nos resíduos) quando se operou a baixa temperatura (300°C) do que quando se operou a temperaturas elevadas (850°C). A partir dos resultados obtidos nesse estudo, podemos observar que a temperatura adequada para o emprego de materiais calcários *in natura* em processos de sorção de elementos potencialmente contaminadores deve se situar entre 750°C e 850°C.

Nas condições ensaiadas, observou-se uma volatilização de cádmio e arsênio, ainda que empregando o material calcário como sorvente. Os resultados ora obtidos contrariam o que foi observado por outros autores, como Ho *et al.* (1994), que destacaram, em especial, a possibilidade de utilização de materiais dessa natureza para uma eficiente captação/sorção de cádmio em fluxos gasosos, a temperaturas elevadas. O molibdênio apresentou um comportamento similar ao observado para o germânio; uma fração ficou retida nos materiais sorventes. Alguns dos elementos considerados não voláteis nas condições de temperaturas ensaiadas (cobre, cobalto) poderiam apresentar um comportamento volátil em função da afinidade com elementos reconhecidamente voláteis, como flúor e cloro. Nesse caso, um tratamento conjunto com carvão ativado que considerasse a retenção desses elementos seria de grande importância.

Os resultados se apresentaram, em geral, bastante satisfatórios, tendo em vista que foram obtidos em simulação em escala de laboratório. Seriam necessários novos testes, com alterações de algumas condições – não só de escala, mas também na câmara de combustão e na granulometria do material, por exemplo. Isso contribuiria para o entendimento do processo de adsorção dos elementos metálicos traços. Uma das possibilidades que devem ser consideradas também seria realizar um pré-tratamento do material calcário, em especial à temperatura de 765°C, que resulta numa maior área superficial específica e no maior volume de microporos.

## Efeitos das emissões de elementos contaminadores sobre a saúde humana

Os elementos traços considerados de primordial interesse no estudo ambiental são: As, Cd, Cr, F, Hg, Ni, Pb, Se. A seguir estão B, Be, Cl, Co, Cu, Mn, Mo, Sb, Sn, Th, Tl, U, V, Zn, considerados de interesse (SWAINE, 1994), embora menos importantes do ponto de vista da contaminação. No entanto, até mesmo os elementos químicos essenciais à saúde humana, quando em excesso, podem se tornar prejudiciais. Por outro lado, o impacto dos compostos envolvidos em emissões gasosas é difícil de prever, porque são misturas complexas de substâncias químicas. Entrando em contato com a atmosfera, os poluentes primários darão origem, através de reações químicas, aos poluentes secundários. Este impacto será de previsão ainda mais complexa, devido às condições atmosféricas que permitirão (ou não) a dispersão dos poluentes. Em situações adversas, como é o caso do fenômeno da inversão térmica, no estado subadiabático, haverá uma restrição à dispersão no sentido vertical, podendo ocorrer situações críticas de poluição do ar (BRAGA *et al.*, 2004).

O impacto dos elementos genotóxicos no ambiente e o significado para a saúde ambiental, por sua parte, também são de difícil avaliação. Muitos indicadores de saúde dos sistemas biológicos têm sido testados nos últimos anos. Cada um tem sensibilidade a diferentes níveis de degradação e a diferentes tipos de estresse antropogênico. Portanto, a complexidade dos sistemas biológicos e a diversidade dos fatores responsáveis pela sua degradação tornam pouco provável que alguma medida tenha efetividade suficiente para ser usada sob todas as circunstâncias. (KARR *apud* MORAES *et al.*, 2002). O alvo toxicológico é o DNA, o qual existe em todas as formas celulares vivas. Portanto, pode-se supor que compostos que se mostram reativos com DNA em uma espécie têm o potencial de produzir efeitos similares em outras espécies. Em geral, perturbações do material genético são deletérias para o organismo e podem conduzir a conseqüências severas e irreversíveis à saúde ambiental (HOUK *apud* MORAES *et al.*, 2002).

O cádmio é um elemento considerado de interesse, pois dá origem a uma doença degenerativa. Aparentemente, alguns íons de  $Ca^{+2}$  são substituídos por íons  $Cd^{+2}$ , uma vez que seus raios iônicos são muito próximos.

O calcário é um material tradicionalmente usado em tecnologia de retenção de  $\text{SO}_2$ . Trata-se de um bem mineral que se encontra disponível em várias regiões do Brasil, conforme pode ser observado na Figura 4. Desta forma, é um recurso que pode se tornar interessante em processos de controle ambiental.

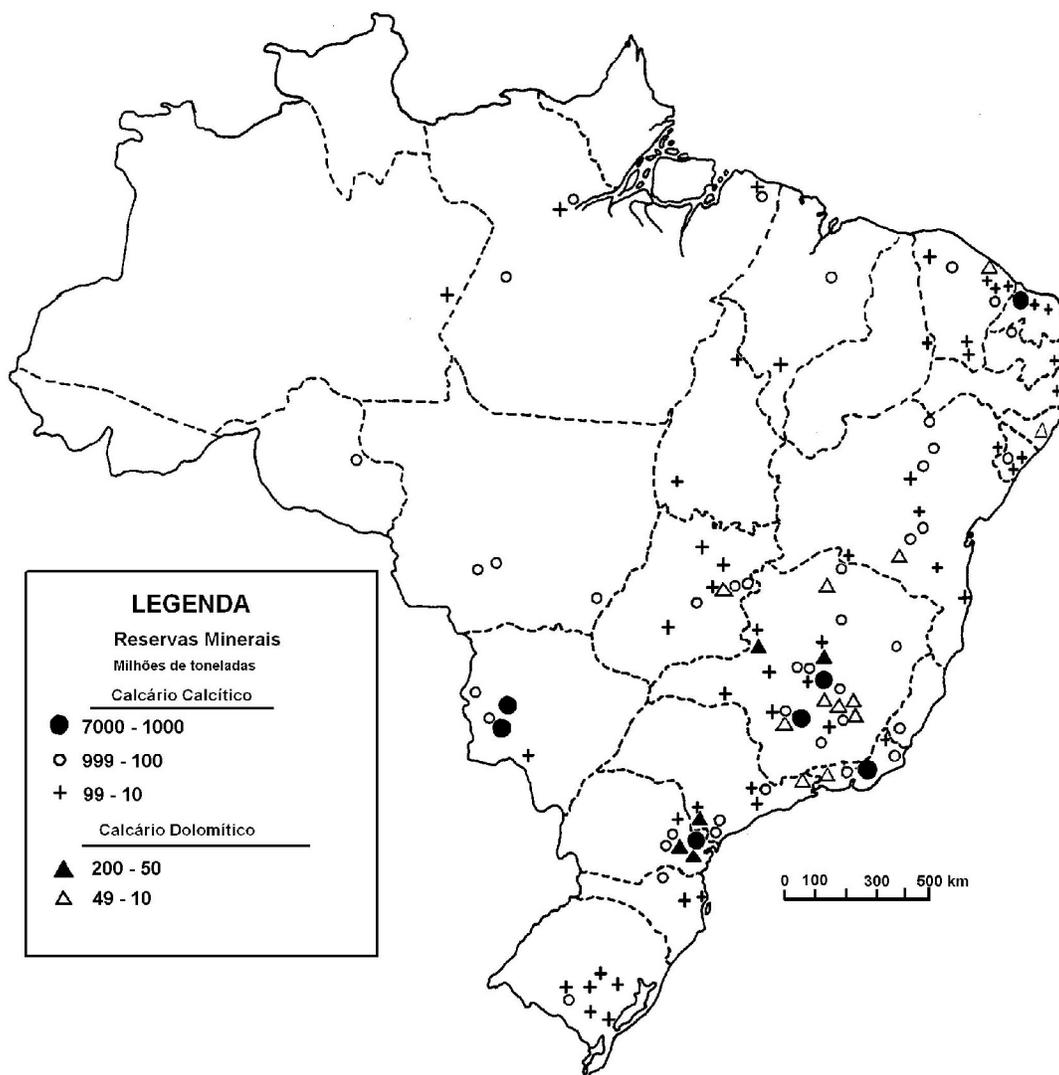


Figura 4: Mapa de ocorrência de calcário calcítico e dolomítico.

Fonte: CPRM (1995).

Através dos cenários, buscam-se alternativas possíveis, que serão resultado das pesquisas realizadas. Assim, através de cenários tendenciais busca-se, na gestão ambiental estratégica, uma nova configuração com ampla difusão de informações. A busca por uma utilização dos recursos disponíveis no País constitui uma meta para que tais condições possam tornar-se viáveis.

De acordo com documento do Senado Federal<sup>1</sup>, o preço médio do calcário em 2000 foi de R\$ 7 a tonelada, na mina, para o tipo sedimentar utilizado em agricultura. O preço do calcário para o mercado de produção de cal é apresentado na Tabela 1. O de tipo menos cristalino, como o sedimentar, é mais adequado para o emprego como material sorvente.

### Principais Estatísticas - Brasil

	Discriminação		2002 <sup>(r)</sup>	2003 <sup>(r)</sup>	2004 <sup>(p)</sup>
Produção:	Calcário bruto	(10 <sup>3</sup> )t	10.745	10.910	11.406
	Cal	(10 <sup>3</sup> )t	6.500	6.600	6.900
Preço médio <sup>(c)</sup> :		(R\$/t)	136,63	157,67	146,06
		(R\$/t)	177,11	203,67	208,27

Fontes: MDIC/Secex, Associação Brasileira dos Produtores de Cal (ABPC), DNPM, Mineral Commodity Summaries – 2005.

Notas: (e) Produção + importação – exportação; (r) dados revisados; (p) dados preliminares sujeitos a revisão; (c) Cotação FOB planta de beneficiamento.

**Tabela 1: Preços de calcário e cal**



Fonte: ABRACAL

Figura 5: Evolução da produção de calcário.

Fonte: BNDES (1997).

<sup>1</sup> Disponível em: <<http://www.senado.gov.br/web/senador/odias>>.

## CONCLUSÃO

As pesquisas que visam a diagnosticar e propor um tratamento para minimizar a degradação ambiental têm aumentado muito nas últimas décadas. No entanto, inexistem soluções definitivas que possam resolver os problemas causados pela queima de combustíveis fósseis. Muito mais do que medidas punitivas, o desenvolvimento de uma consciência ambientalista ainda é o meio mais eficaz de pressionar as indústrias na adoção de tecnologias de controle da poluição convenientes para cada região. O recorte por biomas – quer por sua capacidade integrativa quer pelo potencial de promoção do desenvolvimento sustentável – constitui um avanço no quadro institucional brasileiro. No entanto, deve-se ter a precaução de não tornar conflitante a legislação ambiental. Há pelo menos dois desafios para uma estratégia ambiental voltada ao desenvolvimento sustentável. O primeiro refere-se à cooperação interagências, e o segundo, à participação de amplos segmentos da sociedade no processo de tomada de decisões e à composição de fóruns que permitam a discussão entre diferentes atores.

As emissões gasosas geradas pelas indústrias têm a capacidade de influenciar zonas muito distantes do ponto de emissão (através dos fenômenos atmosféricos). Desta forma, a gestão ambiental, como comentado, torna-se bastante complexa, no sentido de uma avaliação das suas conseqüências para a saúde humana, principalmente. No entanto, com estudos caracterizando as fontes e os fenômenos envolvidos e com o controle feito a partir dos monitoramentos dos biomas é possível atingir, no futuro, um nível de desenvolvimento com sustentabilidade.

Como já mencionado, o calcário é um bem mineral de preço relativamente baixo no mercado e de ocorrência bastante comum no País. O subproduto do processo de injeção de calcário no fluxo gasoso é a anidrita, ou gesso, insolúvel em água, o que traz uma vantagem na disposição, conforme aludido. Desta forma, sua utilização pode ser justificada em alguns casos específicos, como a proximidade dos jazimentos com as indústrias que queimam combustíveis fósseis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVORS, P.; SVEDBERG, G. Modelling of the simultaneous calcination, sintering and sulphation of limestone and dolomite. **Chemical Engineering Science**, 47, 8, pp. 1.903-12, 1992.
- BRAGA, B. *et al.* **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2 ed. São Paulo, Prentice Hall, 2004.
- CHINCHÓN, J. S. *et al.* Environmental impact of mineral transformations undergone during coal combustion. **Environ. Geol. Water Sci**, 18, 1, pp. 11-5, 1991.
- DAM-JOHANSEN, K.; OSTERGAARD, K. High-temperature reaction between sulphur dioxide and limestone – I. Comparison of limestones in two laboratory reactors and a pilot plant. **Chem. Eng. Sci.**, 26, 3, pp. 827-37, 1991.
- HARTMAN M.; TRNKA, O. Reactions between calcium oxide and flue gas containing sulfur dioxide at lower temperatures. **AichE Journal**, 39, 4, pp. 615-24, 1993.
- HO, T. C. *et al.* Metal capture by sorbents during fluidized-bed combustion. **Fuel Processing Technology**, n. 39, pp. 373-88, 1994.
- IBAMA. Perspectiva do meio ambiente no Brasil: cenários para a gestão ambiental. Pnud/Escritório Regional para a América Latina e o Caribe. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2002. Disponível em: <<http://www2.ibama.gov.br/~geobr/Livro/cap4.pdf>>.
- JOZEWICK W.; GULLET, B. K. Reaction Mechanisms of dry Ca-based sorbent with gaseous HCl. **Ind. Eng. Chem. Res**, 34, pp. 607-12, 1995.
- MORAES D. S. L.; JORDÃO B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista Saúde Pública**, 36 n.3, 2002.
- SLOSS, L. L. Halogen emissions from coal combustion. **IEA coal Reserch**. IEACR/45, 1992.
- SWAINE D. J; GOODARZI, F. Environmental Aspects of Trace Elements in Coal. Ed. Springer. 1994.
- WHITE, P. A; RASMUSSEN, J. B; BLAISE, C. Comparing the presence, potency, and potential hazard of genotoxins extracted from a broad range of industrial effluents. **Environ Mol Mutag**, 27, pp. 116-39, 1996.
- UBEROL, M.; SHADMAN, F. High-temperature removal of cadmium compounds using solid sorbents. **Environ. Sci. Technol.**, 25, 7, pp. 1.285-9, 1991.

Artigo recebido em 09.02.2006. Aprovado em 09.05.2006