

---

# GEOTECNOLOGIA

## tendências e desafios

OMAR YAZBEK BITAR

*Geólogo, Pesquisador da Divisão de Geologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo*

WILSON SHOJI IYOMASA

*Geólogo, Pesquisador da Divisão de Geologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo*

MARSIS CABRAL JR.

*Geólogo, Pesquisador da Divisão de Geologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo*

---

*Resumo:* Este artigo apresenta considerações sobre tendências e desafios no campo das aplicações do conhecimento das geociências, abordando aspectos relacionados ao uso da geotecnologia no monitoramento de processos geológicos naturais e induzidos, prevenção de riscos, recuperação de áreas degradadas, construção de obras civis, aproveitamento de recursos hídricos e mineração. Discute-se, em especial, a partir de observações gerais acerca do panorama mundial, as perspectivas da geotecnologia no contexto do Estado de São Paulo em face do desafio do desenvolvimento sustentável.

*Palavras-chave:* geociências; processo geológico; recursos naturais.

---

O panorama mundial de tendências no campo da geotecnologia, compreendendo em especial as múltiplas aplicações das geociências para a solução de problemas de engenharia e o aproveitamento de recursos naturais, particularmente os recursos hídricos, minerais e energéticos, encontra-se hoje fortemente influenciado pelo debate globalmente difundido em torno da crescente degradação ambiental do planeta e do desafio de alcançar um desenvolvimento verdadeiramente sustentável para a sociedade humana.

A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada em junho de 1992 na cidade do Rio de Janeiro, tinha o objetivo de elaborar estratégias que pudessem interromper e reverter os efeitos da degradação em curso, reduzindo as ameaças à sobrevivência da humanidade e, ainda, tornando viável o desenvolvimento e interrompendo o ciclo causal e cumulativo entre subdesenvolvimento, condições de pobreza e problemas ambientais. A Agenda 21, principal produto da Conferência, avalia que a crescente demanda por recursos naturais tem gerado competição e conflitos que resultam na degradação do solo, indicando que a solução desse problema exige uma abordagem integrada do uso do solo, focalizando a tomada de decisões e a consideração simultânea das questões ambientais, sociais e econômicas.

Surge, então, talvez até como esboço de um novo paradigma para a humanidade, a busca da qualidade de vida

como referência existencial, em um contexto no qual os investimentos e as proposições de projetos de engenharia e uso de recursos naturais começam a deixar de ser analisados apenas pelo seu caráter tradicionalmente desenvolvimentista, passando a ser concebidos e avaliados sob a perspectiva de sua efetiva contribuição à sustentabilidade ambiental, social e econômica, tanto sob o ponto de vista local quanto regional e global.

De fato, as geociências se adaptam a essa tendência geral e começam a direcionar parte significativa de suas pesquisas e aplicações para o desafio do desenvolvimento sustentável, procurando dar respostas às demandas correlatas. A realização do 31º International Geological Congress, evento quadrienal que reuniu cerca de 5 mil geocientistas de 120 países em agosto de 2000 na cidade do Rio de Janeiro, reflete claramente essa tendência, porque teve como foco principal o tema “Geologia e Desenvolvimento Sustentável: Desafios para o Terceiro Milênio”.

Cordani (1998), ao discutir o papel das geociências na construção de um mundo sustentável, a partir de um panorama global, identifica importantes áreas de contribuição: monitoramento contínuo dos processos que compõem o sistema Terra; pesquisa, gerenciamento e suprimento de recursos minerais; pesquisa, gerenciamento e suprimento de recursos energéticos; conservação e gerenciamento de recursos hídricos; conservação e gerenciamento de recursos dos solos agricultáveis; e redução de desastres naturais.

Nesse contexto, as demandas em geotecnologia no Estado de São Paulo, sejam públicas ou privadas, estão hoje associadas sobretudo às necessidades de caracterização, avaliação e solução de problemas decorrentes da intensificação das relações continuadas entre intervenções humanas e o meio físico geológico, tanto na construção de obras de engenharia como na utilização de recursos hídricos e minerais, sob a perspectiva da sustentabilidade.

### **MONITORAMENTO DE PROCESSOS E PREVENÇÃO DE RISCOS**

O cenário da situação ambiental do território paulista evidencia o modo inadequado e insustentável pelo qual o meio físico tem sido historicamente ocupado e utilizado no Estado. Problemas como erosão laminar na agricultura, que ocorre em amplas áreas do oeste paulista, erosão linear (sulcos, ravinas e boçorocas) em diversas cidades médias e grandes (como Bauru, Casa Branca e Franca), assoreamento de cursos e corpos d'água (como demonstram os canais dos rios Tietê e Pinheiros na cidade de São Paulo), enchentes e inundações (como em São Paulo, Piracicaba e Presidente Prudente), subsidências e colapsos de terrenos (como em Cajamar e Apiaí), recalque de fundações de edifícios (como em Santos), escorregamentos em encostas ocupadas por habitações (como nos municípios da Baixada Santista, Litoral Norte e Vale do Paraíba), entre outros, são manifestações que notabilizam um quadro de deseconomias e severas ameaças à qualidade de vida da população e, portanto, ao desenvolvimento sustentável do Estado de São Paulo.

Diante disso, o perfil de perspectivas para atender a essas demandas no Estado inclui a necessidade de desenvolvimentos tecnológicos dirigidos ao monitoramento de processos geológicos, entre os quais, pelas características do meio físico e o histórico de ocupação territorial, destacam-se os processos erosivos e os escorregamentos induzidos por diferentes formas de uso do solo, como obras civis e urbanização. Em obras civis, por exemplo, é o caso de reservatórios hidrelétricos, cuja formação tende a produzir efeitos que precisam ser monitorados continuamente, como a dinâmica de erosão e assoreamento, elevação e oscilação do lençol freático e sismicidade induzida. Tais desenvolvimentos inclinam-se em contemplar métodos e técnicas de avaliação e controle desses processos, bem como de análise e gerenciamento de áreas de risco.

Outro aspecto relevante diz respeito aos diversos fenômenos de afundamento de terrenos em áreas ocupadas sobretudo por habitações ou indústrias, relacionados com a ocorrência de processos cársticos (abrangendo regiões de domínio de rochas carbonáticas, como no setor noroeste da Região Metropolitana de São Paulo e no alto vale do rio Ribeira) ou com problemas de contração/expansão de maciços terrosos e, ainda, decorrentes da presença de solos colapsíveis que provocam recalques diferenciados nas fundações de obras.

### **Serra do Mar**

Uma das porções do território paulista que tende a merecer atenção especial é a Serra do Mar, que é hoje uma região de importância estratégica para o desenvolvimento sustentável do Estado, pelo fato de abrigar as principais porções remanescentes da Mata Atlântica no Estado, e pelo significado da infra-estrutura pública e privada construída ao longo da história que comporta hoje em suas encostas obras essenciais às economias estadual e nacional, como ferrovias, rodovias, dutovias (óleo, gás, água) e linhas de transmissão de energia elétrica, além dos assentamentos humanos e das instalações industriais e portuárias adjacentes.

A recorrência histórica de fenômenos associados a escorregamentos nas encostas da Serra do Mar, muitas vezes ocasionando a perda de vidas humanas e expressivos prejuízos à economia e à sociedade, expõe a vulnerabilidade da infra-estrutura instalada e ameaça sua sustentabilidade. Os acontecimentos relacionados às chuvas do final de 1999 e início de 2000, que afetaram severamente diversos trechos nas encostas da Serra, como no km 42 da Via Anchieta (Foto 1), ilustram de maneira dramática os riscos de escorregamentos aos quais estão submetidas as instalações existentes.

O caso do km 42 fornece uma dimensão das deseconomias envolvidas com a ocorrência de escorregamentos, uma vez que exigiu despesas com obras corretivas emergenciais da ordem de R\$ 20 milhões, provocou a interrupção da rodovia por 55 dias (em dois períodos alternados: 40 e 15 dias), ocasionando perdas significativas à economia paulista (incluindo lucros cessantes), o que se depreende pela redução do fluxo mensal de veículos no sistema Anchieta-Imigrantes em até 18% no período, com evidentes efeitos negativos à atratividade turística do litoral e ao movimento de cargas de exportação no Porto de Santos.

**FOTO 1**

**Evolução de Escorregamento na Pista Sul da Via Anchieta (km 42)  
Estado de São Paulo – 1999**



Fonte: IPT.

Nota: O escorregamento ocorreu entre os dias 11 e 12.12.1999 e atingiu, em 23.12.1999, a pista sul interrompendo o tráfego de veículos.

Em decorrência disso, é urgente a necessidade de se desenvolver um sistema de monitoramento que permita ao Estado, concessionárias de serviços públicos e demais usuários anteciparem-se eficazmente à ocorrência de escorregamentos naturais e induzidos e, uma vez ocorridos, evitar a ampliação de seus efeitos negativos. O monitoramento contínuo das encostas e adjacências da Serra do Mar, tendo como foco o problema dos escorregamentos e demais tipos de movimentos de massa, deve ser desenvolvido de modo a apoiar as ações do Estado e da sociedade na prevenção de desastres associados a escorregamentos, reduzindo os riscos para instalações e ocupação existentes e mantendo a comunidade permanentemente informada sobre os riscos, bem como propiciar a geração de bases técnicas para o ordenamento sustentável da ocupação e das obras de transposição da região.

O estabelecimento operacional de um sistema de monitoramento em toda a extensão da Serra do Mar contempla alguns desafios tecnológicos fundamentais, entre

os quais se destaca o desenvolvimento de competências para os seguintes objetivos: realizar continuamente avaliações de risco para planejamento e execução antecipada de obras e medidas mitigadoras; fornecer subsídios de curto prazo sobre a probabilidade ou iminência de desastres associados a escorregamentos naturais e induzidos; caracterizar rapidamente os efeitos de escorregamentos ocorridos; orientar a tomada de decisões em situações emergenciais; e fornecer bases técnicas para a execução de obras de ampliação ou reformulação da infra-estrutura instalada e, ainda, para o planejamento de novos empreendimentos.

### RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Ao mesmo tempo que, por um lado, evidencia-se a tendência da necessidade de melhoria dos sistemas de prevenção de impactos ambientais e de riscos associados a processos geológicos, de modo a mitigar problemas futuros, por outro, cresce a convicção de que é igualmente essencial corrigir o que se encontra degradado ou, ao menos, interromper os processos atuais de degradação.

Por isso, outro tema que requer dedicação especial no campo da geotecnologia envolve a contribuição para a flagrante necessidade de equacionar a questão das áreas degradadas no Estado, particularmente das condições do meio físico. Isso deve ocorrer tanto nos casos que provocaram a contaminação de solos e águas subterrâneas pela disposição inadequada de resíduos industriais (como na Região Metropolitana de São Paulo, Cubatão e municípios vizinhos e no Vale do Paraíba) e domiciliares (como nas centenas de lixões existentes em grande parte dos municípios paulistas), como naqueles em que se proporcionou a geração de áreas instáveis sob o ponto de vista geológico-geotécnico a partir da construção de obras civis ou da urbanização. Também na agricultura, além da erosão, as atividades de irrigação têm gerado alterações na estrutura física dos solos e, portanto, requerem medidas de recuperação.

Nos casos de áreas contaminadas por substâncias químicas perigosas à saúde humana, a contribuição da geotecnologia deve estar associada principalmente à avaliação detalhada das condições de degradação do meio físico, para auxiliar a definição da melhor alternativa tecnológica de remediação. Aplicações prévias desse procedimento são fundamentais em sítios abandonados e suspeitos de contaminação, nos quais se pretende instalar

alguma forma de uso do solo, como projetos de conjuntos habitacionais ou áreas de lazer.

Na origem do problema da degradação causada pela disposição inadequada de lixo está a dificuldade de localizar e estabelecer áreas adequadas, particularmente em razão da carência de terrenos disponíveis para tal finalidade. Isso coloca à geotecnologia o desafio adicional de tornar viáveis os locais comumente disponibilizados pelo poder público, ainda que, idealmente, possam haver outras áreas mais favoráveis, mas que muitas vezes encontram impeditivos de ordem legal ou socioambiental.

A degradação decorrente de obras civis (barragens, linhas de transmissão e estradas), urbanização (especialmente na implementação de projetos de parcelamento do solo, como loteamentos e condomínios) e extração mineral, pode apresentar problemas mais restritos aos de natureza geológico-geotécnica, o mesmo ocorrendo na mineração, porque no Estado os sistemas de lavra e beneficiamento raramente envolvem processos químicos. Nas áreas instabilizadas, as possibilidades de contribuição estão relacionadas com o entendimento da dinâmica dos processos geológicos que geraram a degradação e, com base nisto, a indicação de soluções (obras, medidas) adequadas que deve ser feita em conjunto com a engenharia.

## REDUÇÃO DE IMPREVISTOS EM OBRAS CIVIS

A última década do século XX representou um período de estagnação para o segmento de construção de grandes obras civis no país, como as usinas hidrelétricas e os reservatórios para abastecimento de água. Entre vários fatores, destaca-se a redução de investimentos em obras públicas de infra-estrutura, motivada em parte pelos débitos financeiros dos governos federal e estaduais, embora alguns Estados, como Minas Gerais, mantivessem investimentos em estudos geológico-geotécnicos para a construção futura de obras, o que se verificou especialmente no setor energético com as usinas hidrelétricas.

A possibilidade de construir novas obras gigantescas no país, como as hidrelétricas de Itaipu e Tucuruí, torna-se cada vez mais remota em face da dimensão dos custos e dos impactos ambientais que obras desse porte podem gerar. Além disso, os locais propícios para construção de grandes barragens foram reduzidos, como no Estado de São Paulo, onde se concluiu o último barramento de grande porte, a usina hidrelétrica de Porto Primavera, consolidando a convicção de que “fecha-se o ciclo do gigantismo das barragens” (Carvalho, 1996) no país, iniciado na década

de 70. As preocupações agora devem se voltar para a questão da estabilidade e segurança das barragens instaladas, sobretudo as mais antigas, o que poderá exigir a desativação de alguns empreendimentos. A tendência de construção de novas obras aponta para as de pequeno a médio porte, de acordo com necessidades regionais e de conformidade com as características dos terrenos, às vezes exigindo soluções não-convencionais.

Comparativamente a países mais desenvolvidos, o Brasil carece ainda de obras de infra-estrutura, como o aprimoramento da malha viária, integrando linhas de transporte multimodais (rodovias, ferrovias e hidrovias), além de usinas hidrelétricas reversíveis e termelétricas no setor energético. Para essa última, começam a ser direcionados grandes investimentos, especialmente a partir da operação do Gasoduto Bolívia-Brasil, com incremento considerável de gás natural, devendo o consumo nacional passar dos atuais 1,5 milhão de m<sup>3</sup>/dia para cerca de 10 milhões de m<sup>3</sup>/dia em poucos anos.

## A Demanda por Obras Urbanas

A despeito das grandes obras, assim como das duplicações de rodovias que se desenvolvem em virtude da implementação do regime de concessões rodoviárias para empresas privadas, nota-se expressivo crescimento na demanda de obras de infra-estrutura em áreas urbanas, como túneis viários e metroviários, estacionamentos subterrâneos, canalizações de córregos, redes de abastecimento de água e esgoto, disposição de resíduos, melhorias em ferrovias urbanas, entre outras. Índícios recentes desse crescimento são os projetos e as obras metroviárias das cidades de Belo Horizonte, Salvador, Rio de Janeiro, São Paulo, Brasília, entre outras, bem como os do rodoanel metropolitano em torno da capital paulista.

Outra evidência da crescente demanda por obras urbanas é a grande quantidade de edificações de *shopping centers* e condomínios verticais, bem como o desenvolvimento de megaempreendimentos imobiliários. Ilustram isso iniciativas na cidade de São Paulo, como as dos projetos Panamby, com 715 mil m<sup>2</sup> nas margens do rio Pinheiros, e Maharishi São Paulo Tower, edifício com 510m de altura, 108 andares e 1,3 milhão de m<sup>2</sup> de área construída e idealizado para remodelar a região do atual Parque Dom Pedro II, situado no centro da cidade de São Paulo, que traz também a tendência do aumento de exigências da qualificação dos materiais naturais de construção empregados, como as rochas ornamentais.

O crescimento de obras urbanas geralmente está associado ao aumento populacional das cidades. Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, na segunda metade do século XX a população nas cidades passou de 25% para 75%, sendo que no caso do Estado de São Paulo esse último número chegava a 93% na década de 90. Considerando-se ainda que, sob o ponto de vista econômico, 82% do faturamento nacional ocorre nas cidades (Paiva, 1991), reforça-se a tendência de aumento na demanda de obras de infra-estrutura em áreas urbanizadas, parte das quais devem exigir parcelas significativas de investimentos financeiros governamentais.

A crescente necessidade de construção de obras de infra-estrutura em áreas urbanizadas parece ser mundial, conforme atestam as novas linhas executadas nos metrô de Lisboa e de Paris, entre outros. Em consequência, nota-se o crescimento de trabalhos técnico-científicos sobre esse assunto apresentados em eventos internacionais, como se verificou no 31<sup>st</sup> International Geological Congress realizado em 2000.

Um levantamento efetuado no planejamento da Fase III do PADCT, promovido pela Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental – ABGE (Zuquette, 1996), a fim de identificar as necessidades requeridas pelas obras civis, registra as tendências internacionais para o início do século XXI das principais atividades de geologia aplicada à engenharia, a Geologia de Engenharia. O estudo, efetuado com base em consultas a profissionais de outros países, publicações de congressos internacionais e em artigos referentes ao assunto publicados em 50 periódicos do mundo, mostra a seqüência dos assuntos abordados e destaca o posicionamento principal do tema de pequenas e médias obras urbanas em relação a outros, como:

- obras civis de pequeno a médio porte destinadas às mais diferentes finalidades, principalmente nos centros urbanos;
- estudos do meio físico voltados ao planejamento territorial e geoambiental;
- intensificação da atuação junto a áreas de conhecimento em interface com a engenharia;
- métodos de investigação mais adequados, tanto em resultados como em custos;
- desenvolvimento e aplicação de *softwares*;
- disposição de resíduos e rejeitos;
- geologia de engenharia e processos geomorfológicos;
- impactos ambientais devidos à exploração e às atividades antrópicas;

- aplicação em mineração;
- caracterização, classificação e recuperação de áreas degradadas; e
- remoção de obras antigas, como usinas hidrelétricas que já ultrapassaram a vida útil.

Nas atividades listadas, destaca-se também a modificação ocorrida nas últimas décadas do século XX, qual seja o direcionamento de atividades técnico-científicas em Geologia de Engenharia para questões ambientais e de uso do solo. No Brasil, a análise dessa transferência de atenções foi demonstrada por vários autores em congressos nacionais da ABGE e inclui informações dos congressos internacionais promovidos pela International Association of Engineering Geology and the Environment – IAEG (Tabela 1).

TABELA 1

Comparação Quantitativa de Artigos Publicados em Congressos Nacionais (ABGE) e Internacionais (IAEG), segundo Áreas de Atuação Brasil – 1969-1990

Áreas de Atuação	Congressos ABGE (1969-1990)		Congressos IAEG (1970-1990)	
	Número de Artigos	%	Número de Artigos	%
<b>Total</b>	<b>594</b>	<b>100,0</b>	<b>1.349</b>	<b>100,0</b>
Obras	340	57,0	639	47,0
Uso do Solo	107	18,0	385	29,0
Propriedades de Solos e Rochas	125	21,0	168	13,0
Investigação	15	3,0	63	5,0
Sismicidade	3	0,5	46	3,0
Hidrogeotecnia	3	0,5	17	1,0
Ensino	1	-	31	2,0

Fonte: Vaz, 1996.

### Melhoria das Investigações Prévias

O crescimento das metrópoles vem exigindo, cada vez mais, tanto da Geologia de Engenharia quanto da Engenharia Civil, o direcionamento de atividades para resolver problemas de interferências das obras com as construções pré-instaladas.

Na Geologia de Engenharia, a grande evolução tecnológica ocorreu a partir da segunda metade da década de 50, principalmente para atender às necessidades da indústria de construção de hidrelétricas e de túneis, que exigia

estudos para a quantificação de parâmetros geológicos para a engenharia, o desenvolvimento de ensaios tecnológicos em materiais de construção e a busca de soluções para situações inéditas de geologia (Ruiz, 1998). Alguns aspectos dessas atividades ainda merecem atenção, porém atualmente os principais desafios são diferentes daqueles do passado. Exemplo disso é o caso de aterros sanitários, que não podem ser construídos apenas com os tradicionais parâmetros geológicos e geotécnicos, sendo necessária a consideração simultânea de aspectos ambientais e sociais.

O apoio fundamental que a geotecnologia pode oferecer às demandas urbanas é o levantamento geológico prévio e adequado do terreno (solo e subsolo), muitas vezes efetuado de modo precário ou mesmo negligenciado em importantes obras de engenharia, o que tem gerado diversos acidentes e colapsos durante as escavações (como ocorreu na abertura do túnel Tribunal de Justiça na cidade de São Paulo e em túneis das rodovias Carvalho Pinto no Vale do Paraíba e Fernão Dias na transposição da Serra da Cantareira). O subsolo não é homogêneo e nem as camadas geológicas são perfeitamente horizontais. Por isso, é necessário pesquisá-lo para conhecer as estruturas presentes, de maneira que a ocupação subterrânea, para instalação dos aparelhos de infra-estrutura, seja feita com maior segurança e menor custo.

Convém salientar as dificuldades em mapear áreas densamente ocupadas, devido aos poucos e reduzidos locais com afloramentos dos maciços rochosos ou terrosos que compõem o subsolo a ser escavado. Trata-se de um dos principais desafios geotecnológicos, que deve buscar o entendimento do comportamento do terreno por meio de testemunhos de sondagens mecânicas e ensaios indiretos do tipo geofísico, muitas vezes realizados longe da área de interesse.

A elaboração de um cadastro georreferenciado de informações e a montagem de um banco informatizado de dados geológico-geotécnicos, extraídos de sondagens executadas para diversos fins, como o da cidade de Londres, por exemplo, permitiria confeccionar a carta geotécnica detalhada da cidade, auxiliar na elaboração de projetos de obras urbanas e no zoneamento do subsolo.

A ocupação desordenada do espaço subterrâneo da metrópole paulista, bem como de outras grandes cidades do Estado, com a instalação de inúmeros cabos (telefônicos, de TV e de transmissão de energia elétrica), dutos de gás, redes de água e esgotos, galerias de águas pluviais, entre outros, tende a produzir danos materiais e causar

sérios prejuízos financeiros ao país, podendo às vezes colocar vidas humanas em perigo. Nesse aspecto, o desafio é auxiliar a elaboração de um plano de zoneamento do espaço subterrâneo, a fim de que os aparelhos de infra-estrutura sejam posicionados de acordo com as características geológicas presentes no subsolo.

O panorama dos desafios geotecnológicos associados às aplicações em obras civis no país, particularmente em áreas urbanas, revela os seguintes temas específicos:

- correlação de ensaios SPT manual e mecânico;
- ensaios *in situ* em furos de sondagens;
- ensaios geofísicos *in situ*: aprimoramento das técnicas existentes e desenvolvimento de novos métodos com equipamentos de última geração;
- desenvolvimento de técnicas para detecção de obstáculos;
- caracterização geotécnica de perfis de alteração;
- comportamento geotécnico de rochas brandas;
- identificação de áreas para estocagem de GLP e resíduos radioativos;
- estado de tensão e mecânica e hidráulica de fraturas em rochas;
- *performance* dos equipamentos de escavação;
- efeito de sismos sobre obras subterrâneas;
- desenvolvimento de técnicas para melhorar o desempenho de maciços;
- disposição de resíduos e rejeitos: projetos que envolvam todas as vertentes do problema;
- elaboração do zoneamento geológico e geotécnico do subsolo urbano; e
- informática: desenvolvimento de bancos de dados geotécnicos e de *softwares*.

O grande desafio, contudo, tanto para as obras distantes dos centros urbanos como no interior deles, é a redução dos “imprevistos geológicos”, aos quais têm sido imputados os altos custos construtivos, mas que na verdade são provenientes de um planejamento da obra mal-efetuado ou de inadequada investigação e conseqüente desconhecimento das características geológicas do terreno. Para reduzir esses imprevistos, deve-se buscar o conhecimento do subsolo por meio de um plano adequado de investigação prévia, envolvendo desde os mapeamentos geológico-geotécnicos, passando pelas tradicionais sondagens

mecânicas até os novos métodos de prospecção com ensaios *in situ* em furos e ensaios geofísicos efetuados na superfície do terreno.

### CONSERVAÇÃO E PROTEÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

A situação dos recursos hídricos no território paulista, exposta por casos críticos como o da Região Metropolitana de São Paulo, exhibe um cenário extremamente preocupante sobre a quantidade e qualidade das águas no Estado.

No que se refere aos mananciais superficiais, o controle da erosão dos solos, de modo que evite o assoreamento de reservatórios e represas e a conseqüente perda da capacidade de armazenamento, mostra-se como a principal tendência de contribuição geotecnológica. Há, no Estado, algumas situações críticas, como a do reservatório Paiva Castro, no município de Mairiporã, que fornece água para a cidade de São Paulo e tem perdido parte significativa do volume útil em razão da acumulação de sedimentos em seu fundo. Outro aspecto se relaciona com a qualidade da água, sobretudo em regiões industrializadas e urbanizadas, pois os efluentes produzidos na sua bacia de contribuição, ao atingir os reservatórios, carregam contaminantes que podem ser adsorvidos aos sedimentos acumulados no fundo, tornando-os fonte permanente de poluição. Esse problema pode ser avaliado com o apoio de estudos geofísicos e geoquímicos.

Quanto às águas subterrâneas, sabe-se que o Estado possui grande potencialidade, e os desafios maiores prendem-se ao aumento do conhecimento dos aquíferos regionais e seu gerenciamento (incluindo as fontes de produção de águas minerais), o que pode ser obtido por meio de caracterização hidrogeológica dos mananciais. O conhecimento dos aquíferos é fundamental para o estabelecimento de estratégias de exploração e conservação, bem como para a definição de zonas de proteção em face de riscos de poluição provenientes do uso de agrotóxicos, vazamentos de postos de abastecimento de combustíveis, depósitos de lixo, além de inúmeras outras possíveis fontes de poluição intrinsecamente associadas às atividades antrópicas.

Outro aspecto importante é a necessidade de redução das perdas em redes de distribuição e abastecimento ocasionadas por vazamentos, cuja detecção em áreas urbanas deve ser cada vez mais apoiada pelo desenvolvimento de métodos geofísicos adaptados às condições locais.

### USO SUSTENTÁVEL DE RECURSOS MINERAIS

Nesta transição de século, a mineração apresenta profundas alterações no cenário mundial, cujos principais desdobramentos são a perda da importância estratégica das chamadas *commodities* minerais metálicas na economia global e a necessidade da incorporação dos princípios de sustentabilidade ambiental no aproveitamento dos recursos minerais.

Uma das tendências marcantes no setor mineral é o novo formato esboçado no mercado internacional, com a mudança dos pólos mundiais de mineração, pela progressiva transferência de empreendimentos dos países desenvolvidos para o Terceiro Mundo. Isso vem ocorrendo sobretudo em função das severas restrições ambientais que a atividade de mineração vem sofrendo naqueles países e do perfil de investimentos de suas economias, canalizados hoje nas indústrias emergentes de alta tecnologia.

Desdobramentos dessas mudanças estruturais da mineração no mundo afetaram o Brasil, sobretudo nos anos 90. Importantes oportunidades de ampliação e diversificação da produção mineral estão ocorrendo, em virtude do citado redirecionamento de capitais da mineração para países em desenvolvimento. Alia-se a esse fato, a acentuada expansão do consumo doméstico de bens minerais, em particular de substâncias não-metálicas, deflagrada, por sua vez, pelo crescimento da indústria nacional, intensificação do processo de urbanização e construção de obras de infra-estrutura.

Não menos importantes são os desafios de modernização tecnológica e gerencial colocados ao setor mineral brasileiro, diante da mudança de paradigma sobre a forma de inserção da atividade na economia atual e em particular quanto à necessidade de seu desenvolvimento em bases ambientalmente sustentáveis, o que pode ser sumarizado nas seguintes perspectivas de temas de desenvolvimento técnico-científico: otimização do aproveitamento dos minérios, da lavra à industrialização, com a maximização do aproveitamento de reservas, redução da geração de resíduos, melhoria na qualidade dos produtos minerais e aprimoramento do controle e recuperação ambiental dos empreendimentos; redução de consumo pela reciclagem, uso de rejeitos industriais e de mineração, e desenvolvimento de substitutos (naturais ou sintéticos) de melhor desempenho nos processos industriais; e aperfeiçoamento dos processos de aplicação *in natura* e de transformação industrial para

melhoria de desempenho, redução de perdas e, conseqüentemente, diminuição do consumo de insumos minerais.

### Perfil da Mineração Paulista

A mineração no Estado de São Paulo retrata claramente as tendências e desafios preconizados para o setor em âmbito nacional: entrada de empreendedores multinacionais nas áreas extrativas e de transformação, abrangendo indústrias de agregados – cimento, argamassa, areia industrial e vidro –, matérias-primas sintéticas e produtos cerâmicos; expansão do consumo de bens minerais e do mercado produtor paulista, envolvendo sobretudo os minerais industriais considerados de uso social, que incluem, basicamente, as matérias-primas para construção civil e agricultura, entre elas areia, brita, argilas e calcário; e necessidade do planejamento do desenvolvimento setorial

em bases ambientalmente sustentáveis e do aprimoramento tecnológico e controle ambiental da mineração instalada.

A extração de bens minerais ocorre na maior parte dos municípios paulistas, concentrando-se na produção de matérias-primas de uso na construção civil (areia, argila, brita, calcário para cimento e cal, e rochas para revestimento) e de insumos para agricultura (rochas calcárias e fosfáticas), além de minerais industriais diversos, utilizados pelas indústrias de transformação (metalúrgica, de alimentos, cerâmica, entre outras), e materiais de emprestimo (cascalho e saibro).

O volume da produção desses bens minerais no Estado é tão expressivo que, ainda que São Paulo não seja considerado um Estado tradicionalmente minerador, insere-se entre os grandes produtores de bens minerais do país, a partir da extração, em território paulista, de cerca de 20 variedades de minerais industriais (Tabela 2 e Gráfico 1).

**TABELA 2**  
Principais Substâncias Mineraias Não-Metálicas Produzidas no Estado  
Estado de São Paulo – 1996

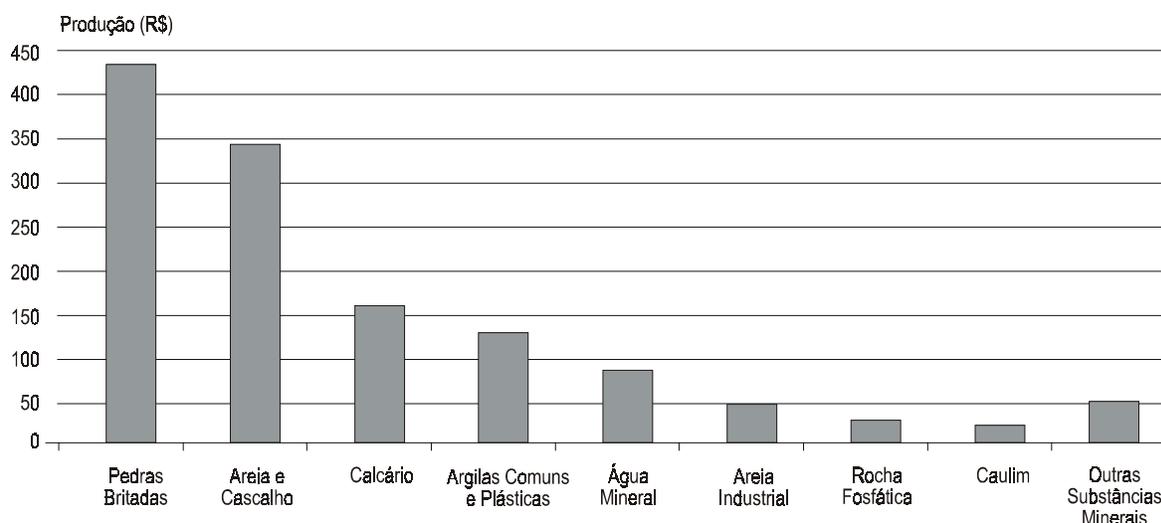
Substância Mineral	Valor Anual		Quantidade (t x 10 <sup>3</sup> )	Setor Industrial de Consumo
	R\$ x 10 <sup>6</sup>	% Total		
<b>Produção Total</b>	<b>1.259,00</b>	<b>100,0</b>	-	-
Pedras Britadas	427,5	33,9	(1) 33.313,8	Construção civil
Areia e Cascalho	337,5	26,8	(1) 48.305,8	Construção civil
Calcário	154,7	12,3	15.350,7	Cimento, Cal, Corretivo Agrícola, Siderurgia, Vidro e Cerâmica
Argilas Comuns e Plásticas	124,1	9,8	12.755,1	Cerâmica e Cimento
Água Mineral	81,7	6,5	(2) 3,35	Bebidas
Areia Industrial	43,0	3,4	3.438,4	Fundição, Vidro, Cerâmica e Tintas e Vernizes
Rocha Fosfática	25,1	2,0	3.713,2	Fertilizantes e Ácido Fosfórico
Caulim	19,2	1,5	233,4	Cerâmica, Papel e Celulose, Tintas e Vernizes, Produtos Farmacêuticos e Veterinários, Fertilizantes, Vidro, e Borracha
Dolomito	16,0	1,3	536,1	Corretivos Agrícolas, Siderurgia, Tintas e Vernizes, e Vidro
Filito	11,6	0,9	867,3	Cerâmica, Construção Civil, e Defensivos Agrícolas
Granito	6,8	0,5	(1) 11,8	Construção Civil
Argilas Refratárias	3,6	0,2	167,1	Cerâmica
Talco	2,7	0,2	58,5	Cerâmica, Defensivos Agrícolas, Borracha, e Tintas e Vernizes
Quartzito	1,8	0,1	265,9	Siderurgia, Tintas e Vernizes, Abrasivos, Perfumes, Sabões e Velas, e Cerâmica
Bentonita e Argila Descorante	1,6	0,1	23,2	Fundição, Descoramento/Recuperação de Óleos, e Fertilizantes
Turfa	1,0	< 0,1	22,7	Agricultura
Bauxita	0,7	< 0,1	15,8	Cerâmica e Sulfato de Alumínio
Feldspato	0,3	< 0,1	39,2	Cerâmica, Vidro, e Tintas e Vernizes
Calcita	0,05	< 0,1	4,1	Tintas e Vernizes, Plásticos, Tapetes e Carpetes, Vidro, Borracha, e Cerâmica
Outras Rochas Naturais	0,01	< 0,1	(1) 0,5	Construção Civil
Ardósia	0,006	< 0,1	0,7	Construção Civil, Cerâmica, e Produtos Asfálticos

Fonte: Brasil, 1997; Sintoni e Tanno, 1997; Cabral e Almeida, 1999.

(1) Unidade expressa em metros cúbicos.

(2) Unidade expressa em bilhões de litros.

**GRÁFICO 1**  
**Principais Substâncias Minerais Não-Metálicas Produzidas no Estado**  
**Estado de São Paulo – 1996**



Fonte: Brasil, 1997.

Assim, dados oficiais registram que são alcançados valores de produção da ordem de R\$ 1,35 bilhão/ano, o que corresponde a 9,5% do montante da produção mineral brasileira, ocupando o terceiro lugar entre os estados produtores, apenas suplantado pelo Rio de Janeiro (que inclui o petróleo) e Minas Gerais. Nesse âmbito, segundo o Anuário Mineral Brasileiro (Brasil, 1997), os não-metálicos perfazem mais de 93% da produção mineral paulista, o que corresponde a cifras anuais superiores a R\$ 1,26 bilhão. O restante refere-se à pequena produção de hidrocarbonetos na Bacia de Santos.

Considerando a inconsistência e defasagem dos dados estatísticos oficiais e, ainda, a presença de uma parcela considerável de lavras em situação legal irregular, admite-se que o volume efetivamente produzido no Estado supere em 1,5 a 2 vezes o valor oficialmente registrado.

A aptidão geológica de determinadas áreas, bem como a combinação, em certas regiões, de condicionantes geológicos para ocorrência de jazidas de minerais industriais, principalmente os de baixo valor agregado, com crescimento urbano e industrial, têm propiciado a nucleação da atividade de mineração em zonas específicas no Estado, promovendo a formação de pólos produtores regionais (Cabral Jr. e Almeida, 1999) Mapas 1 e 2.

Essa produção é proveniente de cerca de 3 mil frentes de lavra, com características distintas quanto aos volumes

de extração, qualidade dos produtos, índices de produtividade, grau de mecanização, bem como ao atendimento às exigências da legislação mineral e ambiental e, conseqüentemente, quanto ao controle ambiental dos empreendimentos.

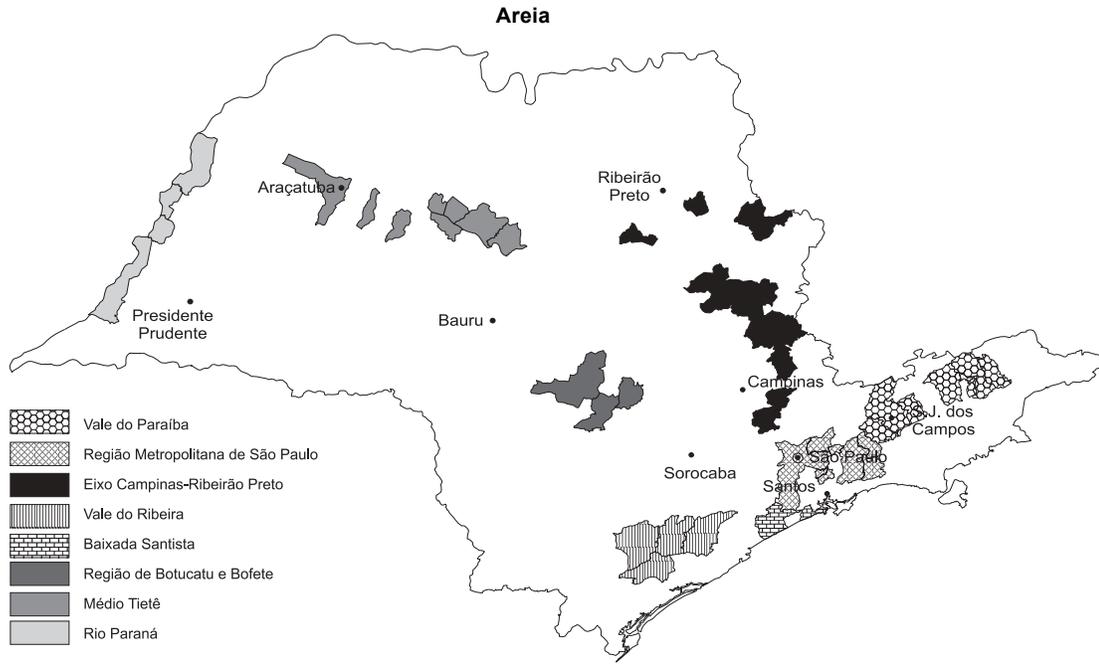
Nesse cenário, a falta de ações de planejamento por parte dos poderes públicos e a carência de adoção de procedimentos técnicos adequados de pesquisa geológica e lavra têm gerado conflitos da atividade com outras formas de uso do solo, em muitos casos com desconforto e riscos às comunidades circunvizinhas. Aliado a isso, a falta de controle e a não-recuperação ambiental satisfatória das áreas mineradas têm causado uma série de outros impactos indesejáveis ao meio ambiente, como alteração da paisagem, desmatamentos, deflagração de processos de erosão e assoreamento, emissões de ruídos e vibrações, e poluição do ar e da água.

Por outro lado, sendo a mineração uma atividade econômica fundamental que compõe a base de importantes cadeias produtivas do Estado, caso dos setores de construção civil, indústria cerâmica, cimenteira e vidreira e da agricultura, a dificuldade no controle da disponibilidade futura de insumos minerais coloca em risco a manutenção equilibrada dessas importantes atividades econômicas.

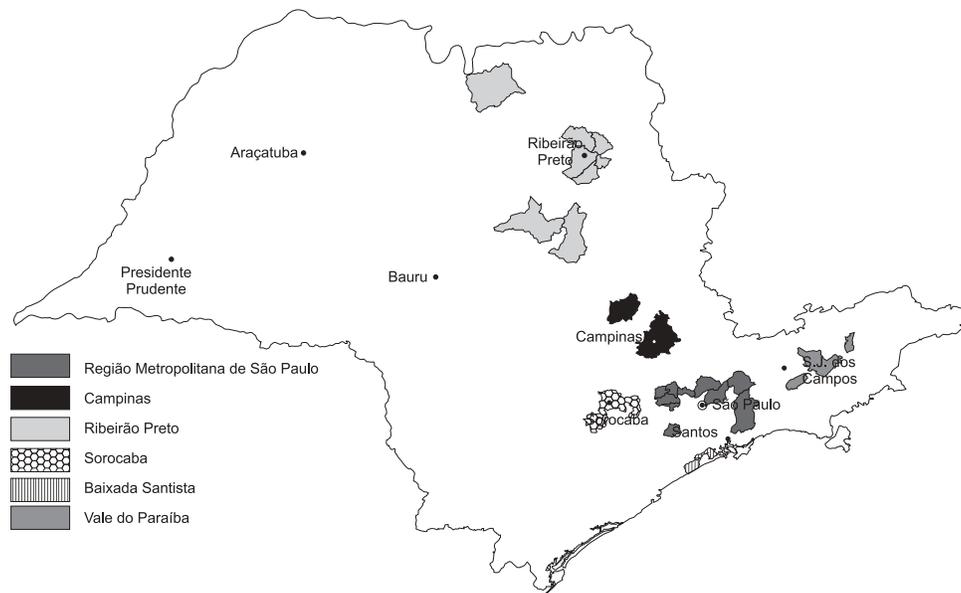
Sendo assim, estabelece-se um binômio complexo e polêmico nas relações do desenvolvimento da mineração

**MAPA 1**

**Pólos Produtores de Bens Minerais de Uso na Construção Civil  
Estado de São Paulo – 2000**



**Brita**

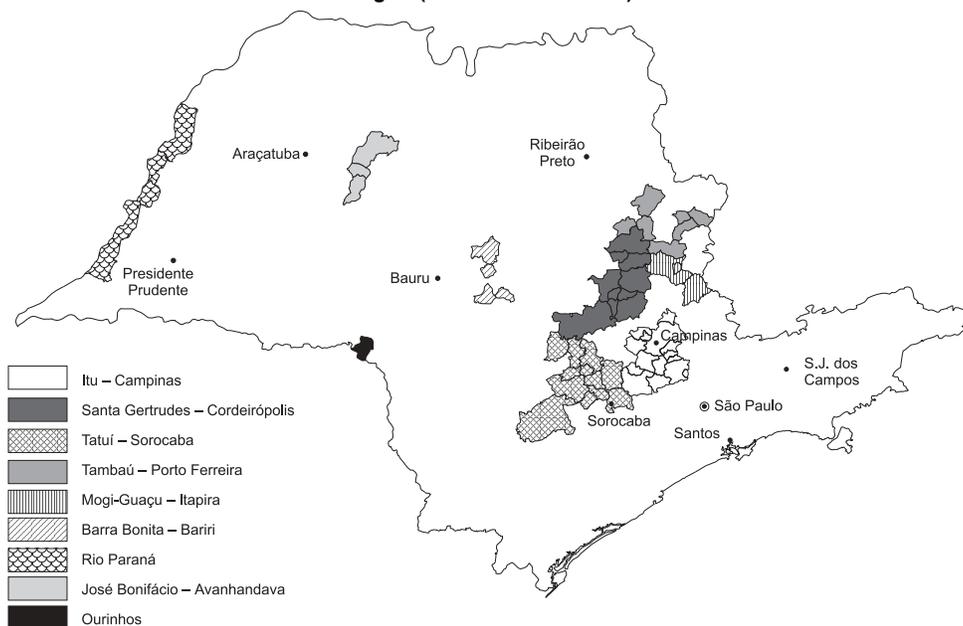


Fonte: Modificado de Mello et alii, 1997 e Almeida et alii, 2000.

**MAPA 2**

**Pólos Produtores de Bens Minerais de Uso na Construção Civil  
Estado de São Paulo – 2000**

**Argila (cerâmica vermelha)**



**Calcário (cimento e cal)**



Fonte: Modificado de Tanno et alii, 1994 e Mello et alii, 1997.

paulista em face do desafio de sua própria sustentabilidade: assegurar o suprimento futuro de matérias-primas minerais e garantir a qualidade das condições ambientais. A solução dessa equação passa necessariamente pela promoção de ações e projetos setoriais dirigidos ao planejamento, ordenamento e aprimoramento tecnológico da atividade de mineração no Estado.

### Desenvolvimentos Tecnológicos

A perspectiva de contínua expansão da mineração de São Paulo, cuja parcela significativa do setor produtivo apresenta defasagens tecnológicas e tratamento inadequado da questão ambiental, associada à necessidade de políticas governamentais voltadas ao seu desenvolvimento em bases sustentáveis, requer diretrizes gerenciais e programas tecnológicos específicos, dirigidos ao aproveitamento racional dos recursos minerais no Estado.

Os desenvolvimentos exigem, inicialmente, a promoção continuada da caracterização da estrutura do setor mineral do Estado, seus mercados produtor e consumidor, por meio da realização de levantamentos geológicos e estudos de economia e engenharia mineral, fundamentais à elaboração de políticas dirigidas ao aprimoramento tecnológico das cadeias produtivas das indústrias extrativas e de transformação, em especial das micro e pequena empresas, na garantia da otimização do aproveitamento dos bens minerais, diminuição dos impactos ambientais e na conservação estratégica dos ecossistemas primitivos intactos do território paulista.

A formulação e implementação de planos diretores de mineração no contexto de planos regionais/municipais de desenvolvimento, como principal instrumento de planejamento e gestão da atividade pelos poderes públicos, também estão entre os desenvolvimentos de base necessários, assim como a montagem e implantação de sistema informatizado de registro, acompanhamento e fiscalização da indústria mineral de São Paulo, em convênio com o Governo Federal (Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM/Ministério das Minas e Energia – MME). Esse sistema deve compor uma base de dados digitais para monitoramento da mineração, como instrumento de suporte às ações de planejamento do Estado, e constituir uma plataforma de informações ao setor produtivo (Sintoni e Obata, 1999).

Incluem-se como importantes desafios técnico-gerenciais, a ampliação e diversificação da disponibilidade de

recursos minerais, com o desenvolvimento de técnicas e modelos exploratórios e de pesquisa mineral aplicáveis às condições do território paulista, bem como a melhoria da qualidade dos produtos minerais ofertados ao mercado, via aprimoramento de tecnologia de lavra e beneficiamento e por meio do desenvolvimento de substitutos de melhor *performance* na aplicação industrial (economia de consumo).

Ainda como linhas prioritárias de pesquisa e desenvolvimento para otimização do uso de recursos minerais e redução de impactos e passivos ambientais, destacam-se: o aproveitamento de resíduos industriais e rejeitos de mineração, ressaltando-se, no caso de São Paulo, a reciclagem de entulho da construção civil e a aplicação industrial de finos de portos de areia, pedreiras e serrarias de rocha; desenvolvimento de tecnologias de controle e recuperação ambiental de áreas mineradas, em conformidade com as condições socioeconômicas, culturais e ambientais da circunvizinhança; e estabelecimento de indicadores geoambientais para controle de impactos e reabilitação das áreas degradadas.

Ressalta-se que a promoção do desenvolvimento sustentável da mineração requer uma ação tripartite, envolvendo o setor produtivo, agentes do governo (instâncias de gestão e planejamento, órgãos de fomento e de crédito) e centros de pesquisa. Nesse contexto, a organização de um suporte tecnológico mais efetivo às indústrias extrativa e de transformação agregada pode se dar pela articulação de uma organização institucional, congregando os principais centros de pesquisa e universidades na área de geociências, engenharia e economia mineral. Suas ações abrangeriam a coordenação do desenvolvimento das pesquisas dirigidas ao setor, as atividades de treinamento e disseminação, particularmente para a pequena e a média mineração, e a assessoria técnica diretamente nas minas e “chãos de fábricas” (segmentos industriais agregados, como centrais moageiras, olarias, cerâmicas, entre outras).

### CONCLUSÕES

Cabe, enfim, sintetizar os objetivos gerais que se apresentam à geotecnologia, ante as demandas e perspectivas colocadas pelo desafio do desenvolvimento sustentável no Estado de São Paulo:

- proporcionar aos órgãos governamentais a aquisição de informações geológico-geotécnicas efetivamente úteis ao planejamento e gestão do uso do solo urbano e do rural por parte dos órgãos competentes, com ênfase naquelas

que se prestam objetivamente a identificação, avaliação e monitoramento de processos geológicos induzidos, sobretudo os erosivos e de escorregamentos;

- avaliar áreas de riscos geológicos e prever a ocorrência de acidentes, de maneira que os órgãos governamentais e de defesa civil disponham dos meios técnicos necessários para o gerenciamento desses riscos e para a implementação de medidas preventivas e corretivas;

- caracterizar a qualidade dos solos e das águas subterrâneas em áreas degradadas, especialmente no contexto de disposição de resíduos industriais e domiciliares, fornecendo aos promotores das obras e medidas corretivas as informações sobre as condições existentes e as alternativas tecnológicas para recuperação;

- aprimorar a qualidade das investigações geológico-geotécnicas em obras de engenharia para reduzir a ocorrência dos chamados “imprevistos geológicos”, sobretudo em escavações subterrâneas e em áreas urbanas;

- avaliar a disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos subterrâneos e propiciar aos órgãos governamentais, produtores, usuários e consumidores as informações e orientações técnicas necessárias para aumentar a oferta de água e promover a proteção dos mananciais;

- avaliar e propiciar o aprimoramento da disponibilidade de recursos minerais, fornecendo aos órgãos governamentais, produtores e consumidores as informações e orientações técnicas necessárias à garantia de suprimento regular desses recursos e à redução do consumo de insumos por meio de reciclagem, uso de rejeitos e desenvolvimento de substitutos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A.S.; SARAGIOTTO, J.A.R. e CABRAL Jr., M. “Mercado de brita na Região Metropolitana de São Paulo: situação atual e perspectivas”. *Areia e Brita*. São Paulo, Anepac, n.9, jan.-mar. 2000, p.26-30.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia – DNPM. *Anuário mineral brasileiro*. Brasília, 1997, (www.dnpm.org.br).
- CABRAL Jr., M. e ALMEIDA, E.B. “Geologia e principais aplicações dos minerais industriais no Estado de São Paulo”. In: Encontro de Mineradores e Consumidores, VII. Rio Claro – SP. *Anais...* São Paulo, ABC, 1999, p.1-3.
- CARVALHO, E.T. de. “Linhas de pesquisa em Geologia de Engenharia”. *Relatório final sobre o diagnóstico da sub-área de Geologia de Engenharia*. São Paulo, Projeto PADCT-CNPq, ABGE, 1996, p.30-32.
- CORDANI, U.G. “Geosciences and development: The role of the earth sciences in a sustainable world”. *Ciência e Cultura Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science*. São Paulo, v.50, n.5, september-october 1998, p.336-341.
- MELLO, I.S. de C.; CABRAL Jr., M.; MOTTA, J.F.M. e CUCHIERATO, G. “Pólos produtores de bens minerais de uso na construção civil no Estado de São Paulo”. V Simpósio de Geologia do Sudeste. *Atas...* Penedo, SBG, 1997, p.445-446.
- PAIVA, G. de. “Importância do mapeamento geológico urbano do Brasil”. *Revista Escola de Minas*. Ouro Preto, v.44, n.3 e 4, 1991, p.121-122.
- RUIZ, M.D. “Evolução tecnológica da Geologia de Engenharia no período 1956-1970”. *ABGE 30 Anos*. São Paulo, ABGE, 1998, p.11-19.
- SINTONI, A. e OBATA, O.R. “Sistema estadual de registro, acompanhamento e fiscalização das atividades de mineração”. VI Simpósio de Geologia do Sudeste. *Boletim de Resumos*. São Pedro, SBG. 1999, p.148.
- SINTONI, A. e TANNO, L.C. “Minerais industriais e de uso social: panorama do mercado consumidor no Brasil”. *Brasil Mineral*. São Paulo, n.147, 1997, p.34-39.
- TANNO, L.C.; MOTTA, J.F.M. e CABRAL Jr., M. “Pólos de cerâmica vermelha no Estado de São Paulo: aspectos geológicos e econômicos”. Congresso Brasileiro de Cerâmica. *Anais...* Rio de Janeiro, ABC, 1994, p.378-383.
- VAZ, L.F. “Perspectivas da Geologia de Engenharia para o ano 2000”. *Relatório final sobre o diagnóstico da sub-área de Geologia de Engenharia*. São Paulo, Projeto PADCT-CNPq, ABGE, 1996, p.46-49.
- ZUQUETTE, L.V. “Relatório final sobre o diagnóstico da sub-área de Geologia de Engenharia”. In: *Relatório final sobre o diagnóstico da sub-área de Geologia de Engenharia*. São Paulo, Projeto PADCT-CNPq, ABGE, 1996, p.1-19.