

ROBERTO KOCHEN*

Este artigo baseia-se na palestra do autor no evento "O Momento Atual da Engenharia Brasileira", realizado pela Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, ABMS, e pelo Instituto de Engenharia, no dia 7 de março de 2007. O evento foi realizado na sede do Instituto de Engenharia, em conjunto com mais três entidades representativas da engenharia brasileira: Instituto Brasileiro do Concreto, Ibracon; Associação Brasileira de Geologia e Engenharia, ABGE; e Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural, Abece. Teve ainda o apoio de mais de 22 entidades: Confea/Crea, SindusCon, Asbraco, Abenc, Cenb, Senge, CBIC, Ademi, CBT, CBME, Abeg, SBG, AEERJ, ABIPTI, USP, Andit, ABPv, ABCP, CBDB, Alconpat, Sinaenco e ASAAE



O objetivo do trabalho é mostrar sucessos e acidentes na Engenharia, não só brasileira, como no restante do mundo. Como é natural, os sucessos da Engenharia, no Brasil e no mundo, tendem a passar despercebidos. Por outro lado, os acidentes chamam a atenção de todos, e nem sempre a avaliação dos mesmos pela sociedade é precisa ou realista. Sempre que a tecnologia da Engenharia avança, podem ocorrer acidentes, e esta regra é válida para qualquer área da Engenharia. É importante colocar ambos, sucessos e acidentes, na sua correta perspectiva. Os sucessos devem servir para aprimorar as tecnologias existentes, e é necessário aprender com os acidentes e continuar avançando, apesar dos riscos. Pela formação e experiência profissional do autor, a ênfase do trabalho será em obras subterrâneas.

SUCESSOS NA ENGENHARIA

Ocorrem acidentes em todos os tipos de obras de engenharia, como edificações, rodovias, barragens, túneis, dutos etc. E naturalmente estes acidentes são amplamente noticiados, fazendo com que a sociedade muitas vezes esqueça os sucessos da Engenharia, que superam em muito os acidentes, e permitiram alcançar, em diversas economias, o nível de bem-estar atualmente desfrutado por suas populações em vários países do mundo.

Pela formação e experiência profissional do autor, a ênfase será em obras civis, mais especificamente obras de transporte, principalmente no que se refere a "obras

subterrâneas e túneis". Exemplos notáveis de sucessos alcançados pela engenharia brasileira, em obras subterrâneas, podem ser encontrados no livro *Túneis do Brasil*, publicado pelo Comitê Brasileiro de Túneis, CBT, em 2006, onde o autor teve a honra de elaborar o capítulo "Túneis de Passagens e Travessias", e do qual foram retirados a maior parte dos exemplos de sucessos em obras subterrâneas no Brasil, descritas a seguir.

Como exemplos de sucessos, pode-se citar, entre outros casos, a Linha 2-Verde (Paulista) do Metrô de São Paulo, em particular as estações Brigadeiro e Trianon, construídas sob a Avenida Paulista com baixíssima cobertura de solo (apenas 4 metros), sem que o tráfego de veículos precisasse ser interrompido por um único dia sequer, durante a construção. A foto 1 mostra uma perspectiva das estações Brigadeiro e Trianon, ilustrando a sua disposição tridimensional.

A foto 2 mostra uma vista do túnel de acesso à calota superior da Estação Brigadeiro durante a construção. Todos os acessos às estações Brigadeiro e Trianon, durante a construção, foram feitos por ruas laterais, evitando-se interferência na Avenida Paulista, de tráfego intenso, e fundamental para a fluidez do tráfego de veículos no meio urbano da cidade de São Paulo.

Nesta mesma Linha, foram construídas com igual sucesso a Estação Consolação (foto 3), Estação Vila Madalena (foto 4), e na Linha 1-Azul (Norte-Sul) do Metrô de São Paulo, a Estação Jardim São Paulo (foto



Foto 1 - Perspectiva das estações Brigadeiro e Trianon, Metrô de São Paulo (CBT - 2006)



Foto 2 - Vista do túnel de acesso à calota superior da Estação Brigadeiro durante a construção, Metrô de São Paulo (CBT - 2006)

5), entre os vários exemplos disponíveis na referência bibliográfica – Túneis do Brasil (CBT – 2006).

Da mesma forma, pode-se citar, na Linha 1 do Metrô de Salvador, a Estação Campo da Pólvora. A foto 6 mostra o poço de acesso, duplo, escavado na praça de mesmo nome em Salvador, e a foto 7 mostra a vista dos emboques dos túneis no interior do poço de acesso da Estação Campo da Pólvora.

Já no Metrô de Brasília (DF), foram construídas 8 estações subterrâneas na Asa Sul, inclusive com passagens por fundações profundas pelo interior do túnel. A foto 8 mostra uma vista de uma das estações já escavadas, com o emboque do túnel sob a Asa Sul em andamento. A foto 9 mostra um trecho do túnel via dupla do Metrô de Brasília já com o revestimento final, parte em concreto moldado in loco, parte em concreto projetado. E a foto 10 mostra a passagem do túnel sob estrutura com fundação profunda (Galeria dos Estados), na Asa Sul, que requereu técnicas especiais de tratamento do solo, realização de estrutura de transferência de carga por dentro do túnel, e corte dos tubulões. Isto foi realizado sem que houvesse interferências de quaisquer tipos na superfície.

ACIDENTES NA ENGENHARIA

Da mesma forma que ocorrem sucessos na Engenharia, ocorrem acidentes. Estes ocorrem com frequência baixa, porém são traumáticos em termos de repercussão na mídia e na sociedade. Por outro lado, os sucessos caem no esquecimento, pois tendem

a ficar despercebidos após o seu impacto inicial. Quem se lembra da Torre Eiffel como obra de engenharia marcante na sua época, construída em tempo recorde na cidade de Paris, de 1888 a 1889? Todos se lembram desta torre como ponto turístico!

O autor, pela sua experiência profissional e acadêmica, irá se focar principalmente nos acidentes de túneis e obras subterrâneas. Para uma análise mais abrangente e extensa do tema, que não é passível de ser realizada no curto espaço deste artigo, recomenda-se ver o artigo "Segurança, Colapso e Ruptura de Túneis Urbanos em NATM", publicado na **REVISTA ENGENHARIA**, n.º 540/2000; e também a dissertação de mestrado do eng.º Francisco Ribeiro na Escola Politécnica da USP, de mesmo nome, apresentada em 1999.

Destacam-se, entre os diversos acidentes pesquisados em obras subterrâneas, os seguintes:

Metrô de Munique, Alemanha (1994) - Uma das linhas de metrô em expansão nesta cidade estava sendo construída, e um túnel NATM escavado a partir do emboque pela estação adjacente encontrou um bolsão de areia e cascalho não previsto, situado abaixo do teto do túnel, sob o lençol freático, acarretando uma "chaminé" que se propagou até a superfície (foto 11). O acidente ocorreu de madrugada, e a equipe de escavação do túnel foi retirada a tempo. No entanto, um ônibus que trafegava na superfície não teve tempo de se desviar, caindo na cavidade formada, com duas vítimas (o motorista e o único passageiro neste horário).

Metrô de Londres, Inglaterra (1994) - A cidade de Londres, na Inglaterra, começou a planejar uma ligação expressa sobre trilhos entre seu aeroporto principal (Heathrow) e o sistema metroviário, na estação de Paddington. Esta ligação, com cerca de 8 quilômetros, tem duas estações (a de Heathrow e uma intermediária), além da ligação em Paddington. Totalmente subterrânea (atualmente já se encontra em operação há vários anos), permite ao passageiro embarcar e fazer o check-in em Paddington (ou na estação intermediária), e desembarcar diretamente no terminal de passageiros de Heathrow, o aeroporto mais movimentado da Europa.

Na sua construção, esta ligação totalmente em NATM (túneis, estações e acessos) sofreu um acidente de proporções catastróficas em 1994, justamente na estação de Heathrow, danificando vários prédios do aeroporto, sem que fosse necessário, no entanto, interromper a operação do mesmo, o que teria aumentado em muito a magnitude dos danos.

O autor participou, como convidado, da comissão de investigação técnica do acidente de Heathrow, estabelecida por uma entidade independente, o Institution of Civil Engineers, ICE. Este trabalho resultou em um manual de aprimoramento das práticas correntes até então, no projeto e construção de obras subterrâneas na Europa (NATM for Tunnels in Soft Ground, The Institution of Civil Engineers, Design and Practice Guide, Thomaz Telford, 1996).

As fotos 12 a 14 mostram um trecho



Foto 3 - Vista do interior da Estação Consolacão durante a escavação, Metrô de São Paulo (CBT – 2006)

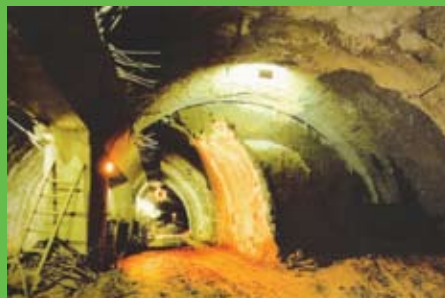


Foto 4 - Vista do interior da Estação Vila Madalena durante a escavação, Metrô de São Paulo (CBT – 2006)

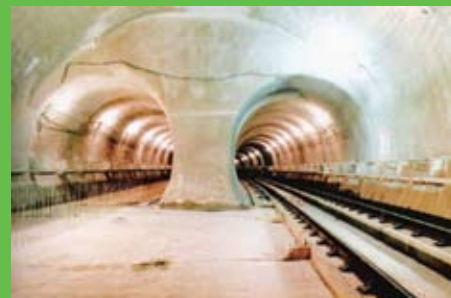


Foto 5 - Vista do interior da Estação Jardim São Paulo durante a escavação, Metrô de São Paulo (CBT – 2006)



Foto 6 - Poço de acesso duplo na Estação Campo da Pólvora, Metrô de Salvador (CBT - 2006)



Foto 7 - Vista dos emboques dos túneis no interior do poço de acesso, Estação Campo da Pólvora, Metrô de Salvador (CBT - 2006)

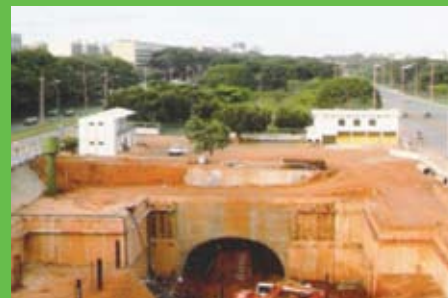


Foto 8 - Vista de estação na Asa Sul, com emboque do túnel já escavado, Metrô de Brasília (CBT - 2006)

do acidente próximo ao emboque do túnel na Estação Heathrow, onde o colapso de três túneis paralelos resultou em recalques de grande magnitude e na ruína do prédio sobrejacente e estruturas próximas. A foto 12 mostra o início do processo de ruína da edificação, com ocorrência de trincas e fissuras severas na mesma. A foto 13 mostra a ruptura do túnel, pela superfície, junto ao poço de emboque. E a foto 14 mostra a edificação em questão já em estado de ruína total, inutilizada.

Na pesquisa realizada por Ribeiro (1999), Ribeiro & Kochen (2000) e outros autores (Assis, 2006), e que não foi exaustiva (porém permite obter uma idéia razoavelmente precisa dos riscos e acidentes em obras subterrâneas), foram identificadas mais de 50 ocorrências em todo o mundo, de 1973 a 2005. Esta lista (ênfatisa-se novamente: não é exaustiva) objetiva apenas mostrar os riscos inerentes a obras de engenharia, em particular as subterrâneas, tendo sido baseada em referências bibliográficas ou da mídia.

Como lista de acidentes identificados no Metrô de São Paulo, temos seis ocorrências de 1981 a 1997:

Extensão Norte da Linha 1-Azul (Norte/Sul - 1981); Extensão Leste da Linha 3-Vermelha (Leste/Oeste), Túnel Itaquera (Leste/Oeste - 1989); Linha 2-Verde (Paulista 1.ª Etapa-Túnel Cardoso de Almeida - Poço Sorocaba - 1989); Linha 2-Verde (Paulista 1.ª Etapa-Túnel de Acesso - Cardoso de Almeida - 1989); Linha 2-Verde (Paulista 2.ª Etapa-

Estação Vila Madalena - Poço Cristovam de Burgos - 1991); Linha 2-Verde (Paulista 2.ª Etapa-Túnel Jaciporã entre Estação Sumaré e Vila Madalena - 1997).

Como lista de acidentes de túneis NATM identificados em São Paulo, temos sete ocorrências de 1982 a 1998:

Sanegran (1982 - nove vítimas); Complexo Viário Maria Maluf - Mini Anel (1993); Tribunal de Justiça (Santo Amaro - ruptura dupla, em dois trechos, antes e após a Av. Santo Amaro - 1993), Túnel 3-Pista Direita - Rodovia Carvalho Pinto (ruptura do emboque - 1994), Túnel Senna Madureira (acesso ao Ayrton Senna sob o Ibirapuera - 1996), Túnel 3-Pista Direita - Rodovia Carvalho Pinto (1997), Túnel Eletropaulo (1998).

E como lista de acidentes de túneis NATM identificados no exterior, temos mais de 40 ocorrências de 1973 a 2005:

Paris - França (1973); Metrô de Bochum - Alemanha (1984 - Túnel Landrucken); Metrô de Bochum - Alemanha (1985 - Túneis Richtoff & Kaiserau); Túnel Krieberg - Alemanha (1986); Metrô de Munique - Alemanha (1987 - cinco colapsos); Túnel Weitkugel - Alemanha (1987); Túnel Karawanken - Áustria (1987); Túnel Kerenberg - Alemanha (1988); Túnel Michaels - Alemanha (1988); Túnel Kwachon - Korea (1991); Metrô de Seoul - Korea (1992); Túnel Lambach - Áustria (1992); Túnel Fumagata - Japão (1992); Metrô de Seoul - Korea (1993 - quatro colapsos); Taipei - Taiwan (1993); Toscana - Itália (1993); Túnel Montemor - Portugal (1994

- dois colapsos); Túnel Galgenburg - Áustria (1994); Metrô de Munique - Alemanha (1994); Aeroporto de Heathrow - Londres - Inglaterra (1994); Metrô Taipei - Taiwan (1995); Túnel Motorway - Turquia (1995 e 1996); Los Angeles - USA (1996); Metrô de Atenas - Grécia (1996); Túnel Adler - Suíça (1996); Toulon - França (1996); Eidsvoll - Noruega (1996); Metrô de Atenas - Grécia (1997); Metrô de Moscow - Rússia (1998); Hull Yorkshire Tunnel - Inglaterra (1999); TAV Bolonha - Florença - Itália (1999); Anatólia Motorway - Turquia (1999); Metrô Taegu - Korea (2000); Taiwan High Speed Railway - Taiwan (2002); Shanghai Metrô - Shanghai - China (2003); Singapore Metrô - Singapore (2004); Barcelona Metrô - Barcelona - Espanha (2005); Lausanne Metrô - Lausanne - Suíça (2005); Lane Cover Tunnel - Sydney - Austrália (2005); Kaoshiung Metrô - Taiwan (2005).

É importante notar que túneis com escavação mecanizada [usando equipamentos tipo TBM - Tunnel Boring Machine, ou Shield (conhecidos popularmente como tatuzões)], também apresentam frequência significativa de acidentes, com custo de reparação muito acima dos registrados para túneis NATM.

Projetos subterrâneos extensos frequentemente incluem séries de eventos técnicos complexos. É importante identificar os riscos envolvidos, e administrá-los de forma realista e correta. Procedimentos apropriados de gestão de risco na construção (que serão objeto de um artigo especí-

fico do autor) comprovadamente reduzem a probabilidade de ocorrência de acidentes e imprevistos, e na eventualidade da efetiva ocorrência de acidentes em Empreendimentos de Engenharia, permitem minimizar os danos associados.

Na Inglaterra, o Health and Safety Executive (divisão do Ministério do Trabalho inglês - HSE - 2006), chegou à conclusão de que, mesmo que haja bons sistemas de gerenciamento, treinamento de pessoal, trabalho de supervisão e procedimentos de controle de qualidade, falhas humanas e a erraticidade do maciço (seja em solo, seja em rocha) não podem ser eliminadas.

Na maioria dos casos de acidentes com túneis, os acidentes ocorreram tanto em países com ampla experiência, como em países com pouca experiência neste tipo de obra. É necessária a implantação da "Cultura de Segurança" entre projetistas, construtores e proprietários, o que provavelmente proporcionará uma redução dos acidentes com túneis [ver Ribeiro (1999), Ribeiro & Kochen (2000), e HSE (2006)]. Analogamente ao que ocorre no setor aéreo, é necessário um "Plano de Voo" rigoroso e detalhado, para minimizar riscos.

É importante identificar os riscos envolvidos nas obras de engenharia (sejam subterrâneas, marítimas ou terrestres). É necessário administrar os projetos e empreendimentos de engenharia, de forma a reduzir, eliminar ou mitigar os riscos, que são inerentes a este tipo de atividade, como em qualquer atividade humana. Os riscos sempre existem, não podem ser

totalmente eliminados, mas podem ser administrados.

HSE (2006) conclui que, mesmo que haja bons sistemas de gerenciamento, treinamento de pessoal, trabalho de supervisão e procedimentos de controle de qualidade, falhas humanas e a erraticidade do maciço não podem ser eliminadas, resultando sempre em certo nível de risco, que pode ser maior ou menor, conforme a qualidade do projeto, da construção, da supervisão e do gerenciamento. Este será o tema de outro trabalho do autor, específico, sobre gestão de riscos na construção.

Ribeiro (1999), na sua pesquisa acadêmica, identificou diversas causas de acidente em túneis, que podem ser agrupadas em três categorias principais: 40% (aproximadamente) devem-se a imprevistos geológicos, 40% a imprevistos construtivos, e 20% a motivos diversos (inclusive falhas humanas).

O que podemos fazer no momento atual da engenharia brasileira?

A engenharia brasileira sempre se destacou pelos seus empreendimentos de grande porte, seja na área de barragens e energia, na área de transportes, saneamento e outras. Esta capacitação está comprovada pelo sucesso das empresas brasileiras no exterior, em projetos e obras na América, África, Europa, e até mesmo na Ásia e Oriente Médio.

No entanto, no Brasil, os últimos 20 anos foram pautados pela redução progressiva dos níveis de investimento em

infra-estrutura, o que levou a uma estagnação nas práticas e processos da engenharia brasileira. O que podemos fazer no momento atual da engenharia brasileira, para aprimorar suas práticas e processos?

Esta questão não tem uma única resposta, mas entre as diversas respostas existentes, destacam-se as que vão a seguir.

É necessário implementar a prática corrente em outros países do Peer Review (análise crítica - revisão e validação de projetos) - A análise crítica de projetos, conhecida no exterior como Peer Review (revisão pelos pares), é uma forma comprovada de aprimorar a qualidade dos projetos realizados, e eliminar erros que muitas vezes passam despercebidos às projetistas. No Brasil há um ranço cultural contra essa prática, por se achar que ela sinaliza uma desconfiança em relação à seriedade ou competência do projetista, o que não tem nenhum fundamento. Pelo contrário, é uma forma de aprimorar o projeto e garantir a sua qualidade, como é feito em diversas partes do mundo atualmente.

É necessário realizar análise de riscos do projeto e dos empreendimentos de engenharia - Muitas empresas já fazem isto de forma autônoma, especialmente na área de petróleo, onde os riscos, sejam de engenharia, sejam financeiros, são altos. A análise de riscos torna explícitos os riscos no empreendimento, permitindo reduzi-los, eliminá-los ou minimizá-los previamente.

É necessário que a contratação seja feita pelo "melhor preço" (menor preço final para o conjunto projeto - obra - ope-

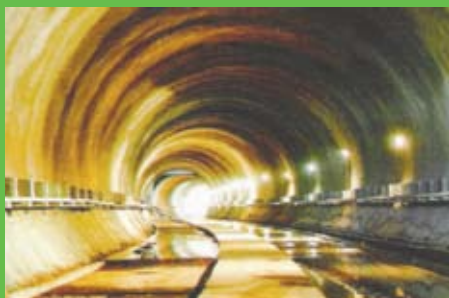


Foto 9 - Túnel via dupla com revestimento secundário já acabado (CBT - 2006)

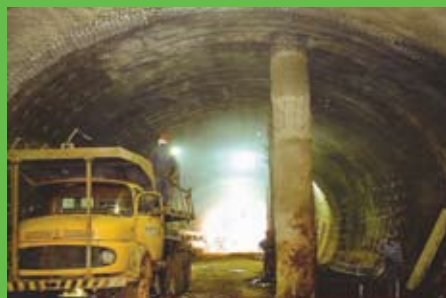


Foto 10 - Passagem do túnel de via sob estrutura com fundação profunda, Metrô de Brasília (CBT - 2006)



Foto 11 - Colapso de túnel em Munique, Alemanha (Ribeiro, 1999; Ribeiro & Kochen, 2000)



Foto 12 - Aeroporto de Heathrow (Ligação Expressa Heathrow - Paddington, 1994) - início do processo de ruína da edificação, com ocorrência de trincas e fissuras severas na mesma



Foto 13 - Aeroporto de Heathrow - ruptura do túnel, pela superfície, junto ao poço de emboque



Foto 14 - Aeroporto de Heathrow - ruína total do prédio sobrejacente aos túneis da estação final da Ligação Expressa Heathrow - Paddington

ração - manutenção), e não pelo menor preço - Atualmente, no Brasil, principalmente em obras públicas (por força da Lei de Licitações), as contratações são feitas pelo menor preço de construção (ou até por pregão, o que é pior ainda). Menor preço de construção não resulta necessariamente em menor preço de operação e manutenção, e freqüentemente os custos adicionais de operação e manutenção do empreendimento oneram de tal forma o custo do mesmo, que ele se torna muito mais caro do que um empreendimento de custo de projeto / construção inicial mais alto, porém de custo mais baixo ao longo do tempo.

É necessária a continuidade nos investimentos em obras de infra-estrutura

- No Brasil, freqüentemente um governo inicia um empreendimento e outro o interrompe, incorrendo em custos de paralisação, de capital (o que foi investido não tem operacionalidade, o montante fica parado sem que a sociedade tenha a contrapartida do empreendimento), custos sociais, e outros. É necessário que os empreendimentos tenham início e fim, de modo a que a sociedade desfrute daquele capital e esforço investido, e que foi por ela custeado através de impostos.

É necessário valorizar qualidade, durabilidade, funcionalidade e projeto nos empreendimentos de engenharia - Atualmente, o projeto de engenharia é tratado como menos importante, e no entanto é dele que depende a funcionalidade, a qualidade e a durabilidade do empreendimento de engenharia.

É necessário acompanhamento independente de projetos e obras - Esta é outra prática que comprovadamente reduz riscos e aumenta a qualidade dos empreendimentos de engenharia, conforme mostra a experiência de outros países.

É necessário buscar a excelência no projeto e na prática da engenharia - A engenharia brasileira tem condições de se destacar pela excelência dos seus projetos e empreendimentos, e é importante sair da mesmice e da estagnação, para se obter maior proeminência, não só no Brasil, como também no exterior, aonde a engenharia brasileira vem obtendo participação destacada em diversos países.

É necessário fiscalizar o exercício profissional - Em outros países, a profissão de engenheiro envolve fiscalização rigorosa, e só é permitida a profissionais de competência técnica e experiência comprovadas. E isto é realmente necessário, pois a engenharia envolve riscos ao patrimônio, à sociedade e a seres humanos, motivo pelo qual não pode ser praticada por qualquer pessoa, não qualificada como engenheiro, ou mesmo profissionais formados em engenharia, porém não habilitados, não capacitados e desatualizados. O órgão de controle da atividade profissional do engenheiro deve coibir vigorosamente o exercício profissional daqueles que não atendem aos requisitos da engenharia. No Brasil isto é feito pelo sistema Confea/Crea; nos Estados Unidos pela NSPE (National Society of Professional Engineers), onde inclusive o profissional tem de ser aprovado em um tipo de exame de

ordem - o PE - Professional Engineer; pelo Colégio de Ingenieros, nos países latino-americanos, e assim por diante.

Com isto, os "sucessos" serão mais freqüentes, e os "acidentes" mais infreqüentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) TELFORD, T. - "NATM for Tunnels in Soft Ground - Design and Practice Guide", ICE - The Institution of Civil Engineers, Thomaz Telford, Londres, Inglaterra, 1996.
- 2) ASSIS, A. - "Riscos Associados a Obras Subterrâneas", Prof. Andre Assis, Palestra, CBT, 2006.
- 3) RIBEIRO, F.; KOCHEN, R. - "Segurança, Colapso e Ruptura de Túneis Urbanos em NATM", Francisco Ribeiro e Roberto Kochen, REVISTA ENGENHARIA n.º 540/2000, Instituto de Engenharia, Engenho Editora Técnica Ltda., São Paulo, Brasil, 2000.
- 4) RIBEIRO, F. - "Segurança, Colapso e Ruptura de Túneis Urbanos em NATM", Francisco Ribeiro, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da USP, São Paulo, Brasil, 1999.
- 5) ATKINS, W. S. - "The Risk to Third Parties from Bored Tunnelling in Soft Ground", W. S. Atkins, Health and Safety Executive - HSE, Research Report 453, Londres, Inglaterra, 2006.
- 6) CBT - "Túneis do Brasil", livro publicado pelo CBT - Comitê Brasileiro de Túneis, São Paulo, Brasil, 2006. 🍌

* Roberto Kochen é engenheiro civil, professor doutor da Escola Politécnica da USP, diretor do Departamento de Engenharia Civil do Instituto de Engenharia e diretor da GeoCompany Tecnologia, Engenharia e Meio Ambiente (www.geocompany.com.br)