

GERENCIAMENTO DE RISCOS

em obras subterrâneas de engenharia

ROBERTO KOCHEN*

Este trabalho baseia-se na palestra do autor no evento Tunnelling Code of Practice Event (lançamento do Código de Prática para o Gerenciamento de Riscos em Obras de Túneis, na versão em português), realizado pelo Munich Re Group e Munchener do Brasil, no dia 18 de março de 2008. O evento foi realizado em São Paulo, por iniciativa da Munich Re (uma das maiores empresas de resseguros do mundo), para divulgar diversos aspectos importantes da segurança de túneis e obras subterrâneas, e abordar boas práticas de gestão de risco neste tipo de obra de engenharia.

Diversos aspectos importantes do gerenciamento de riscos em obras subterrâneas são abordados neste trabalho, como a importância de um projeto correto e detalhado, abrangendo inclusive medidas de contingência, antes do início das obras, a identificação de anomalias e riscos geológicos, e a correta identificação, redução e eliminação de riscos geotécnicos.

O grande número de obras subterrâneas, principalmente as urbanas, em execução no mundo, podem gerar acidentes, e para evitá-los ou minimizar seus impactos é necessário seguir uma série de critérios, como os que estão expostos no Código de Prática para o Gerenciamento de Riscos em Obras de Túneis, iniciativa do The International Tunnelling Insurance Group (ITIG), das mais relevantes para se alcançar maior segurança neste tipo de obra de engenharia.

RISCOS EM OBRAS SUBTERRÂNEAS (CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO)

Obras subterrâneas sempre apresentam risco mais elevado do que obras a céu aberto, por se lidar com materiais geológicos que, por mais detalhada que seja a investigação prévia de campo e laboratório, sempre podem apresentar alguma característica não prevista inicialmente, e que só será detectada na construção. O risco geológico é sempre presente em obras subterrâneas, como bem demonstra o artigo técnico de Pastore (2009).

Com esta característica peculiar, o engenhei-

ro geotécnico de projeto de obras subterrâneas tem de "prever o imprevisível": antecipar possíveis anomalias e características geotécnicas e geológicas, ao longo do traçado dos túneis e obras subterrâneas, e que poderão resultar em impactos e aumento dos riscos na construção destas obras de engenharia. Só há riscos comparáveis aos de obras subterrâneas, na engenharia, em obras hidráulicas e marítimas, em que as forças da natureza, por sua característica intrínseca de imprevisibilidade, desempenham papel relevante.

Os riscos geológicos, geotécnicos e impactos nas construções subterrâneas sempre ocorrem e são maiores nas escavações de grande porte. Para reduzi-los, é necessário examinar a probabilidade dos riscos possíveis (quais riscos podem efetivamente se concretizar), identificar os riscos a serem superados diante de desconformidades geotécnicas e geológicas graves, e se estruturar quanto às respostas aos riscos em casos concretos.

Risco é o evento ou condição incerta, que poderá ter efeitos positivos e/ou negativos. Quando tem efeitos positivos, costumamos chamá-lo de sorte. Quando tem efeitos negativos, devem ser identificados, mitigados e, se possível, eliminados. A propensão ao risco é subjetiva, há indivíduos e empresas com maior propensão ao risco, e indivíduos e empresas

com menor propensão ao risco. A figura 1 mostra esta situação para uma obra subterrânea típica em rocha: aqueles com menor propensão ao risco irão certamente exagerar na adoção de medidas de suporte (tirantes e chumbadores). Aqueles com maior propensão ao risco irão pelo lado oposto – adotar medidas de suporte aquém do necessário e conviver com o risco de queda de blocos, ou mesmo de um colapso do túnel.

No caso de túneis há riscos nas etapas de construção e operação. Para exemplificar o primeiro caso (risco na construção), a figura 2 mostra um colapso na escavação de um túnel no metrô de Munique, em 1994. O túnel atingiu uma camada de pedregulho e areia no seu teto, não prevista, e formou-se um funil até a superfície. A equipe de trabalho dentro do túnel foi evacuada a tempo e nada sofreu. No entanto, um ônibus que trafegava pela rua (eram 2 horas da manhã, horário de pouco movimento), caiu na cratera e com isto ocorreram duas vítimas: o motorista e o passageiro.

Na categoria de riscos na operação, há diversos tipos de acidentes que podem ocorrer, e o mais comum (e possivelmente também o mais perigoso) é a ocorrência de incêndios (*ilustrado na figura 3*), com grande potencial de vítimas. No Túnel Montblanc, na Europa, incêndio recente



Figura 1 - A propensão ao risco é subjetiva (Hoek, 1998)



Figura 2 - Acidente no Metrô de Munique em 1994 (Reiner, 2008)

provocou dezenas de vítimas, e no Túnel do Canal da Mancha, danos causados ao revestimento por um incêndio recente pararam a operação por vários meses, causando grande prejuízo à empresa concessionária desta ligação.

IDENTIFICAÇÃO E GERENCIAMENTO DE RISCOS EM OBRAS SUBTERRÂNEAS

Um bom plano de identificação de riscos começa com perguntas que vão relacionadas abaixo.

1) O que é risco para esta obra subterrânea especi-



Figura 3 - Exemplo de incêndio em túnel viário

fica? Por exemplo, um túnel não urbano pode gerar recalques elevados sem nenhuma consequência, e esta mesma característica em obra urbana não é aceitável, pela interferência com as edificações e utilidades subterrâneas ao longo do traçado.

2) Como percebo que existem riscos? Os riscos são inevitáveis, não são bons nem maus, são simplesmente parte de qualquer empreendimento de engenharia. Devem ser gerenciados: identificados, reduzidos, e se possível eliminados.

3) Quais riscos devo aceitar? Quais devo rejeitar? A definição de um nível de risco máximo cabe às entidades envolvidas no empreendimento (proprietário, construtor, comunidades afetadas e usuários), lembrando que a noção de risco é

subjetiva (há pessoas que correm na Fórmula 1, e outras que nem sequer dirigem – por este motivo tanto o nível de risco aceitável como os riscos que precisam ser rejeitados, é algo que deve ser definido por um colegiado).

4) Como fazer para não ficar inconsciente dos riscos? A monitoração, acompanhamento e supervisão técnica, e avaliação constante do projeto e construção fazem parte dos procedimentos de gerenciamento e minimização de riscos.

O risco, em qualquer empreendimento de engenharia, é composto de três elementos: probabilidade de ocorrência, escolha e consequência. Para exemplificar de forma simples e esclarecer estes conceitos, vamos considerar o caso de um engenheiro que vá de sua casa até o escritório da empresa na qual trabalha. Molhar-se com água de chuva durante o percurso de sua casa até o escritório... é um risco. A probabilidade de isto ocorrer é o número de dias que choveu, no horário de ida ao trabalho, durante o ano passado, dividido por 365. As consequências (ou impactos) deste evento, são: (i) gripe; (ii) constrangimento; (iii) desconforto durante o expediente.

As possíveis escolhas para este evento são: aceitar o risco (... não me importo de me molhar e odeio guarda-chuvas), ou implantar um conjunto de controles que minimizem (ou mitiguem) as chances de ser vitimado pelo evento, caso ele ocorra.

Controles são políticas, procedimentos, práticas ou estruturas organizacionais projetados e implantados de forma a prover uma garantia razoável de que os objetivos do empreendimento serão atingidos, e que eventos indesejáveis serão detectados e corrigidos, em tempo hábil.

Para o exemplo anterior temos a seguinte situação: o objetivo é trabalhar sempre seco.

Os controles neste caso são as práticas rela-

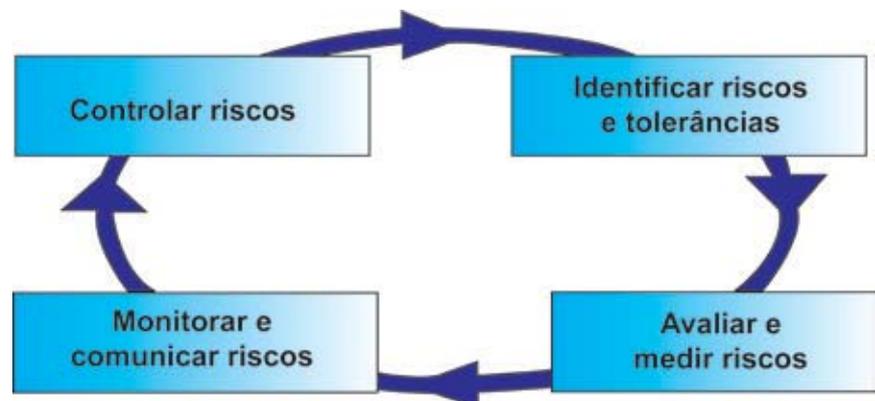


Figura 4 - Atividades do Plano de Gerenciamento de Riscos de Obras Subterrâneas



Figura 5 - Colapso em túnel em construção na Suíça

cionadas a seguir.

De forma detectiva – Consultas realizadas diariamente à previsão do tempo (não sair de casa se a previsão for de tempo chuvoso).

De forma preventiva – Portar diariamente um guarda-chuvas; utilizar automóvel diariamente – desde o estacionamento coberto de sua casa, até o estacionamento coberto do prédio do escritório.

De forma corretiva – Gerenciar a crise (trabalhar molhado com risco de pegar uma gripe ou pneumonia).

Este exemplo simples acima será traduzido adiante para uma filosofia de gerenciamento de riscos na engenharia.

PONTOS BÁSICOS NO GERENCIAMENTO DE RISCOS EM OBRAS SUBTERRÂNEAS

Para um empreendimento bem sucedido, do ponto de vista de riscos em obras subterrâneas (ou seja, realizar a obra no prazo e no cronograma previstos, sem ocorrência de acidentes de impacto médio ou grande), é necessário se ter os seguintes planos e processos, previamente ao

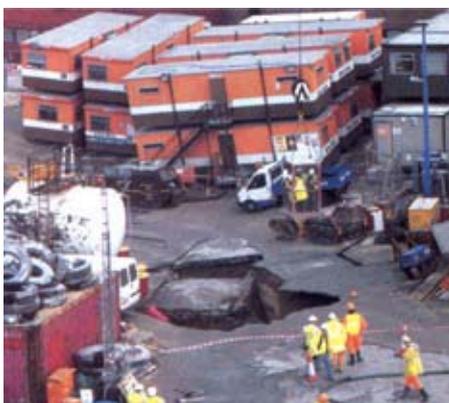


Figura 6 - Aeroporto de Heathrow, Londres, 1994: início do colapso dos túneis, com formação de cratera na superfície

início da obra: plano e estratégia de gerenciamento de riscos; processo de identificação dos riscos; processo de qualificação dos riscos; processo de quantificação dos riscos; processo de monitoramento e controle dos riscos.

Os projetos usuais de obras subterrâneas compreendem as seguintes fases: a fase preliminar de estudo de viabilidade econômica; discussões das necessidades de desapropriações e impactos ambientais e urbanos prováveis, bem como envolvimento com o meio urbano; projeto básico e quantitativos; elaboração do Termo de Referência e licitação; projeto executivo; execução, acompanhamento e fiscalização da obra.

Em todas estas fases, e desde o início, é necessário introduzir os conceitos de gerenciamento de riscos, através de sistemas de controle adequados, para evitar nível de risco elevado na construção e operação do empreendimento.

Toda esta sistemática é consolidada em um "Plano de Gerenciamento de Riscos" para as obras subterrâneas do empreendimento, que inclui uma sequência obrigatória de atividades, representada na figura 4.

O Plano de Gerenciamento de Riscos é essencial para reduzir riscos em obras subterrâneas atuais. Isto porque as tendências gerais na indústria da construção, que prevalecem nos contratos atuais, aumentaram em muito o nível de risco em relação ao que ocorria décadas atrás.

Hoje a indústria de construção tem de lidar com: métodos construtivos de alto risco; tendência para contratos de preço global; condições de contrato unilaterais; cronogramas apertados; orçamentos financeiros baixos; competição leonina na indústria da construção civil.

Os fatores expostos aumentam o nível de risco na construção e operação do empreendimento, tornando necessária a elaboração e implementação do Plano de Gerenciamento de Risco em cada obra subterrânea, para se obter níveis de risco aceitáveis.



Figura 7 - Colapso de edificação subsequente ao colapso dos túneis de Heathrow (1994)

O aumento do nível de risco ocorreu, nos últimos anos, não apenas no Brasil, mas em todo mundo. Por exemplo, a figura 5 mostra um colapso ocorrido em Lausanne (Suíça), na construção de um túnel, que provocou o desabamento de edificação no centro desta cidade.

Alguns exemplos de riscos excessivos na construção de obras subterrâneas, que resultaram em colapsos, podem ser visualizados nas figuras 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14.

RISCOS EM OBRAS SUBTERRÂNEAS: CENÁRIO DA ÚLTIMA DÉCADA

As figuras 5 a 14 mostram casos de gestão inadequada de riscos em obras subterrâneas, e que não são mais aceitáveis pelos padrões atuais. O cenário da última década, em que os riscos em obras subterrâneas aumentaram, em parte pelo aumento no número de obras, em parte pelos motivos apontados no item anterior, pode ser caracterizado pelos itens relacionados abaixo.

- 1) Aumento significativo do número de demandas de seguro (claims), para cobrir prejuízos causados por acidentes como os exemplificados.
- 2) Para as empresas de seguros e resseguros, a situação tornou-se financeiramente crítica, com a receita de prêmios situando-se muito abaixo das demandas de seguro, o que a médio e longo prazo dificulta ou até mesmo impossibilita a contratação de seguros para obras de engenharia subterrânea, podendo inviabilizar muitas delas, já que órgãos multilaterais de financiamento, como o BID e o Banco Mundial, exigem seguro para suas obras.
- 3) O valor dos reparos e prejuízos em decorrência de acidentes em obras subterrâneas é muitas vezes superior ao custo inicial da obra, dificultando a sua retomada e conclusão.

Este cenário demonstra a necessidade urgente de promover procedimentos pró-ativos de gerenciamento de riscos, para evitar os danos



Figura 8 - Vista geral da área afetada pelo colapso (Heathrow, 1994), após demolição de edificações arruinadas



Figura 9 - Colapso do túnel Hull (interceptor de esgotos), Inglaterra, 1999: recalques excessivos e ruptura do maciço acima do túnel



Figura 10 - Colapso do Metrô de Taegu (Cut and Cover), Coreia do Sul, 2000



Figura 11 - Colapso do Metrô de Shanghai, China, 2003

causados por acidentes de grande porte, onde o montante dos prejuízos ocorridos muitas vezes inviabiliza a obra.

OBJETIVOS E RESULTADOS DE PROCEDIMENTO DE GERENCIAMENTO DE RISCOS

É necessário, em cada empreendimento de obra subterrânea, estabelecer padrões mínimos de avaliação de riscos e procedimentos de gerenciamento de riscos. Para isto, é necessário definir claramente as responsabilidades das partes envolvidas, para reduzir as probabilidades de perdas, bem como o número e tamanho das demandas (claims).

Após o acidente de Heathrow, o Health and Safety Executive (HSE), órgão do Ministério do Trabalho da Inglaterra, analisou casos históricos recentes de ruptura ou colapso de túneis. O HSE (1996) analisou 39 acidentes de 1973 a 1994, que foram classificados em cinco causas principais de ruptura: (1) causas geológicas não prognosticadas (esta causa é diferente de imprevisível, ou seja, trata-se de uma causa geológica para o acidente que poderia ter sido prevista, mas não o foi, por algum motivo); (2) erros de projeto, especifica-

ção e planejamento; (3) erros numéricos ou de cálculo; (4) erros de construção; (5) erros de controle e gerenciamento.

Os procedimentos de gerenciamento de riscos em obras subterrâneas devem envolver as seguintes etapas de atividades: detecção de risco e ação corretiva; risco conceitual; recomendações para incremento da segurança; questionário (complementação de informações); lista de verificação (check list).

O procedimento de detecção de risco e ação corretiva é ilustrado pela figura 15, que mostra que, ocorrendo o evento adverso ou desfavorável na construção do túnel, o incremento de risco deve ser avaliado e tratado com medidas mitigadoras o mais rapidamente possível, antes que o risco cresça e saia fora do controle (causando um acidente, colapso etc.).

O risco conceitual define os níveis de risco no projeto, construção e operação da obra subterrânea. A etapa onde é possível se obter a maior redução no nível de risco da obra subterrânea é no projeto (fase pré-construção). Na fase de construção o risco deve se situar abaixo do nível de risco aceitável, e na fase de operação este risco deve ser menor ainda, lembrando que os riscos operacionais frequentemente são

diferentes dos riscos construtivos (por exemplo, colapso na fase de construção versus incêndio na fase de operação). A figura 16 ilustra o risco conceitual.

É importante no gerenciamento de riscos utilizar ferramentas da análise de riscos e de decisão, analisando os problemas geotécnicos de obras subterrâneas de uma forma mais estruturada e formal, com o objetivo de minimizar os riscos. Com este procedimento, as decisões deixam de ser intuitivas e empíricas e passam a ser mais estruturadas. Evita-se, desta forma, correr riscos sem a análise de suas consequências.

ELABORAÇÃO E ANÁLISE CRÍTICA DO PROJETO

O projeto e construção de obras subterrâneas, particularmente aquelas em áreas urbanas, é geralmente associada com um nível elevado de riscos, por efeito de uma ampla gama de incertezas envolvidas em obras deste tipo. Do ponto de vista de gestão de riscos na construção, a análise crítica do projeto é a primeira medida de mitigação de riscos, servindo para identificar os riscos principais do empreendimento. A chave do problema é avaliar se as



Figura 12 - Outro Colapso no Metrô de Shanghai, China, 2003



Figura 13 - Colapso em Cut and Cover de sistema viário em Cingapura, 2004



Figura 14 - Colapso de obra subterrânea no Metrô Kaohsiung, Taiwan, 2005

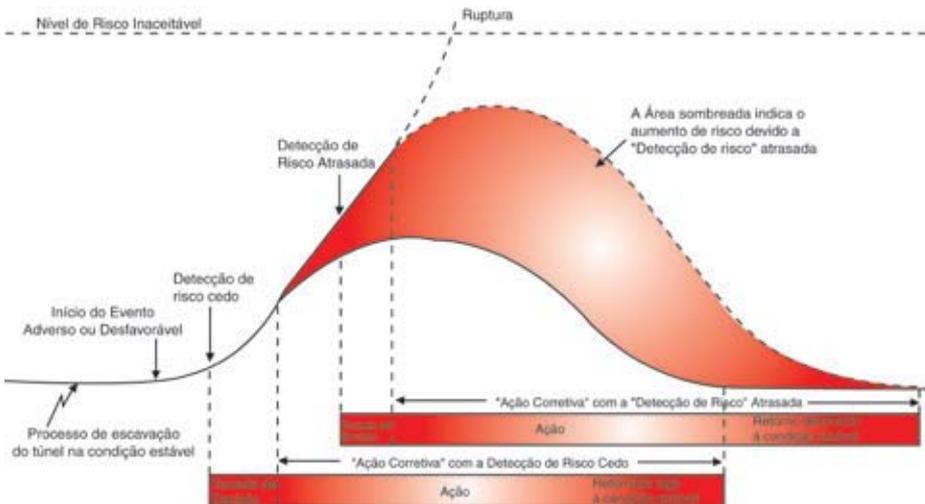


Figura 15 - Procedimentos de detecção de risco e ação corretiva para gerenciamento de riscos em túneis

condicionantes principais do projeto foram observadas, e se os métodos principais de projeto e construção de obras subterrâneas em áreas urbanas foram escolhidos, projetados e otimizados, com base em conceitos atuais de análise de riscos e análises multicritérios.

A execução de obras subterrâneas, sejam em cut and cover, em poços ou túneis NATM, não é uma tecnologia isenta de riscos, em que pesem os avanços tecnológicos dos últimos anos, como mostram as figuras 5 a 14. É necessário um acompanhamento diário das condições geológicas e geotécnicas encontradas na escavação, para adaptação a condições alteradas em relação às previstas inicialmente, ou na hipótese de serem encontradas condições anômalas.

O aparecimento de condições geológico-geotécnicas diferentes das previstas dá margem

a uma série de riscos, que podem ser desastrosos para o empreendimento se não forem corretamente enfrentados, gerenciados e otimizados.

Portanto, a construção de obras subterrâneas tem sempre que antever a necessidade de uma gestão de níveis de risco significativos, para a escolha de métodos construtivos, de suporte e tratamento dos maciços que levem a um nível adequado de segurança para a obra.

Os pontos-chaves desta gestão de riscos são: (1) identificar os riscos antecipadamente; (2) reconhecer os riscos de imediato, assim que seus sinais se manifestarem; (3) gerenciar os riscos através de um Plano de Gestão de Riscos (PGR), através de uma metodologia transparente e efetiva, que deverá ser adotada nos estágios iniciais de projeto e construção, minimizando a ocorrência de riscos e/ou mitigando suas consequências.

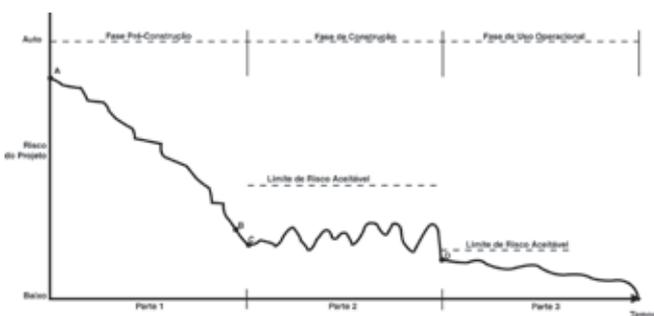


Figura 16 - Risco conceitual nas fases de projeto, construção e operação (a fase de projeto é a que possibilita a maior redução de riscos no empreendimento)

Um PGR típico para uma obra de escavação subterrânea urbana engloba os seguintes aspectos: identificação de riscos; avaliação, qualificação e quantificação de riscos; mitigação de riscos (definição das respostas aos riscos identificados, incluindo escolhas corretas de projeto e construção); avaliação de riscos residuais (após medidas de mitigação); pré-projeto de contra-me-

das para a gestão de riscos residuais durante a construção.

O PGR é elaborado para gerenciar adequadamente os riscos residuais, os riscos aceitáveis, e qualquer novos riscos que possam surgir no decorrer do empreendimento. O PGR requer o pré-projeto da contra-medidas (medidas de contingência), bem como das regras para ativação das medidas de contingência em cada etapa de construção. Além disso, o PGR deve ser dinâmico, ou seja, continuamente revisado e atualizado (no caso de túneis, com frequência diária).

Do ponto de vista de gestão de riscos, é importante ressaltar que: (1) análise de obras subterrâneas e gestão de risco são mutuamente dependentes e devem ocorrer simultaneamente, passo a passo; (2) uma avaliação de risco correta e válida, deve e pode ser obtida, somente com um correto entendimento do projeto e processo construtivo, o que só é possível com uma equipe de especialistas, consultores e engenheiros experientes no acompanhamento diário da obra; (3) um projeto criterioso e robusto de obra subterrânea, só pode ser obtido se elaborado dentro de um enfoque de gestão de riscos.

Como consequência do exposto, é fundamental atender aos seguintes aspectos: o projeto básico da obra subterrânea e do seu método construtivo, sistemas de contenção, tratamentos de solo etc., é a medida mais eficaz possível para reduzir os níveis de risco iniciais do empreendimento. Para tanto, é necessário e importante implementar a Análise Crítica e de Riscos do Projeto, bem como a Gestão Sistemática e Contínua dos Riscos durante a Construção. No projeto inicial o empreendedor deve definir o nível de risco, inicial e durante a construção, que julga aceitável e que está disposto a correr.

A escolha correta do método construtivo para a obra subterrânea é a primeira e mais importante medida de redução/mitigação de risco, ou, colocando de outra forma, a resposta primária para os principais riscos identificados.

PLANO DE GESTÃO DE RISCOS (PGR) DE OBRAS SUBTERRÂNEAS

Tabela 1 - Classificação de frequência / probabilidade do risco

Frequência / Probabilidade	
< 10%	Baixo
10 - 50%	Médio
> 50%	Alto

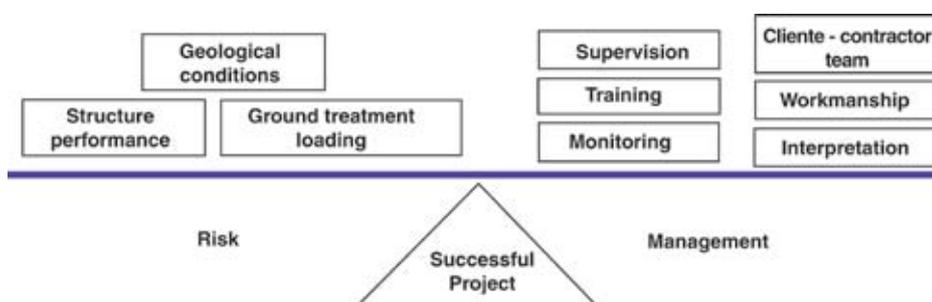


Figura 17 - Concepção de equilíbrio entre gerenciamento do empreendimento e gerenciamento de riscos (Grasso et. al., 2008)

A engenharia de obras subterrâneas tem de se basear na constatação de que praticamente nada é certo no que se refere aos principais parâmetros de entrada: a interpretação geológica e geotécnica do comportamento do maciço de solo ou rocha; a interação da obra subterrânea com o maciço adjacente de solo ou rocha; a influência do ambiente urbano adjacente na obra subterrânea; as variáveis de método construtivo; o tipo de estrutura que será projetado e construído.

A engenharia de uma obra subterrânea é uma atividade interativa que deve observar, entre outros aspectos relevantes: a comparação entre o previsto e o observado (revelado pela escavação e seu acompanhamento/monitoração diário); modificação e ajuste do projeto inicial para a realidade observada, que evolui com a obra e suas escavações, através de um processo dinâmico e contínuo (implementação do projeto

inicial, monitoração da escavação, acompanhamento de obra, e otimização do projeto), até o término da obra.

Em consequência, a escavação e seu controle devem ser parte integral do seu processo construtivo para minimizar riscos.

Conforme discutido nos princípios de gestão de riscos apresentados anteriormente, antes de se iniciar o projeto e construção de uma obra subterrânea, deve-se, como primeiro passo, identificar riscos potenciais relacionados ao processo de escavação (geologia & geotecnia, projeto e método construtivo), e avaliar a probabilidade de sua ocorrência, bem como as consequências potenciais (impactos, danos etc.). Como segundo passo, deve-se decidir se o nível de risco identificado requer a aplicação de medidas de mitigação/redução de riscos. Se necessário, o terceiro passo consiste na definição e pré-projeto destas medi-

das de mitigação/redução de riscos, para eventual ativação e uso durante a construção.

A aplicação de um PGR demanda que o projeto seja sempre acompanhado e verificado durante a escavação, ou seja, o método é dinâmico, com atualização contínua dos parâmetros de projeto e construção das obras subterrâneas a serem executadas, com base nos resultados de trechos já construídos.

Em suma, os princípios de um PGR são os seguintes: (a) Previsão – Análise crítica e de riscos do projeto inicial e pré-definição de medidas de mitigação/redução de riscos; (b) Monitoração do comportamento – Obras subterrâneas, maciço adjacente e estruturas limedras; (c) Otimização do projeto; (d) Aplicação de medidas pré-definidas.

O escopo de um Plano de Gestão de Riscos (PGR) para esta obra, identificando principais riscos a serem mitigados, e eventuais contingenciamentos/provisionamentos de verba, para fazer frente a estes riscos, caso a obra conte (ou não) com seguros para cobrir os riscos identificados.

É necessário elaborar procedimentos técnicos, de modo a resultar um projeto otimizado das obras subterrâneas, que serão instrumentais para gerenciar riscos residuais durante a construção. O PGR específico para cada obra deve ser desenvolvido com a cooperação de todas as entidades envolvidas na obra, inclusive a projetista e consultora especializada, atuando como promotora e facilitadora do processo.

Mais especificamente, o enfoque técnico

Tabela 2 - Parte A – Categorias de risco – Túnel NATM (exemplo)

Evento	Risco	Características Principais	Características Principais		
			Probabilidade de Ocorrência	Consequência ou Impacto	Risco Inicial
1	Estabilidade de frente	Face instável por fluxo de água, e/ou solo pouco coesivo, e/ou queda de blocos e solo rijo fissurado	Médio	Alto	Médio
2	Recalques e convergências - divergências excessivas	Deslocamentos excessivos, gerando deformações do maciço, e convergências ou divergências elevadas	Baixo	Médio	Baixo
3	Esforços elevados no revestimento	Cargas elevadas podem resultar em esforços elevados no revestimento e suas ligações. A armação e fator de segurança do revestimento devem ser capazes de absorver esforços anômalos com segurança.	Baixo	Médio	Baixo
4	Tratamentos de solo	Tratamentos de solo com problemas de execução podem levar a eventos de infiltração de água, instabilização da face, recalques excessivos etc.	Baixo	Alto	Baixo
5	Perda de estabilidade na escavação da bancada	Avanços excessivos na escavação da bancada levam a trincas no revestimento, e/ou perda de estabilidade da seção.	Médio	Alto	Baixo
6	Acompanhamento ou monitoração de obra não-conforme	Túneis em NATM requerem acompanhamento da construção e monitoração da instrumentação diários, para avaliação da conformidade dos métodos construtivos e adequação da segurança da escavação.	Baixo	Médio	Baixo
7	Erro humano	Na construção de túneis em NATM, é necessário elevado grau de especialização e experiência, para evitar erros operacionais. Erros e acidentes ocorrem quando a organização da obra é deficiente, o equipamento não é apropriado, e pressões de custo/ cronograma são elevadas.	Baixo	Baixo	Baixo

Tabela 3 - Parte B – Medidas de redução de riscos, caso ocorram, conforme citado na parte A – Túnel NATM (exemplo)

Evento	Risco	Deteção do Risco	Medidas de Redução do Risco	Risco residual
1	Estabilidade de frente	Infiltração de água na escavação, trincas no revestimento, deformações excessivas, recalques elevados, danos em edificações próximas, leituras de instrumentação anômalas/elevadas, não estabilizadas.	Aderência ao método construtivo especificado em projeto, aprovado e validado, drenagem de frente, tratamento de solo, redução do passo de avanço da calota e/ou bancada, pregagem da frente etc. Pode ser necessário elaborar medidas para restabelecer o nível de segurança adequado à obra.	Baixo
2	Recalques e deslocamentos excessivos	Leituras de instrumentação anômalas/elevadas/não estabilizadas, trincas no revestimento, danos no invert etc.	Controle diário do processo construtivo, verificação e controle de qualidade dos tratamentos de solo, verificação do passo de avanço da cambota e da bancada etc.	Baixo
3	Esforços elevados no revestimento	Deformações no revestimento, trincas, convergências excessivas, anomalias no concreto projetado, deformações nas barras das cambotas metálicas, recalques excessivos nos pés das cambotas, monitoração/instrumentação do reforço do revestimento com cambotas etc.	Escavação cuidadosa, seguindo procedimento especificado em projeto, aprovado e validado, redução do espaçamento entre cambotas, emprego de telas metálicas ou fibras metálicas para armar o concreto projetado do revestimento, emprego de tratamentos de solo, redimensionamento do revestimento etc.	Baixo
4	Tratamentos de solo	Acompanhamento "pari passu" da execução de tratamentos, controle de execução rigoroso por unidade de tratamento, controle geométrico de execução.	Projeto executivo detalhado, aprovado e verificado, dos tratamentos de solo, monitoração da execução e do também análise do desempenho dos tratamentos de solo, ensaios de controle de qualidade etc.	Baixo
5	Perda de estabilidade na escavação da bancada	Leituras de instrumentação anômalas/elevadas/não estabilizadas. Trincas no revestimento da calota, deslocamento da face de escavação etc.	Controle rigoroso da escavação, com monitoração e instrumentação. Redução do passo de avanço da bancada, reforço da escavação da bancada, reforço do sistema de drenagem etc.	Baixo
6	Acompanhamento e monitoração de obra Não - conforme	Equipe insuficiente e inexperiente para monitoramento/acompanhamento técnico, falta de procedimentos adequados ao monitoramento/acompanhamento diário, equipe não treinada ou inexperiente em obras subterrâneas, plano de gestão de risco não - conforme para as características da obra etc.	Procedimentos adequados de monitoração e acompanhamento de obras, procedimentos de verificação e aderência ao projeto executivo, treinamento adequado dos responsáveis pelo acompanhamento e monitoração da obra, avaliação e adequação dos procedimentos.	Baixo
7	Erro humano	Risco aleatório, caso as medidas de redução do risco acima tenham sido implementadas com sucesso.	Previamente ao início da operação, o pessoal envolvido na obra deve ser instruído/treinado nos procedimentos acima, dos procedimentos de risco do projeto. Sistemas de supervisão e controle devem ser previstos e atuar durante toda a obra. Validação de procedimentos e atividades por empresa especializada em obras subterrâneas. Sistemas de controle e monitoramento on line, verificados e validados.	Baixo

para atingir com sucesso o escopo de serviços de gestão de riscos, com integração entre as várias entidades atuantes na obra, deve obedecer os quesitos abaixo.

- 1) Revisão e avaliação dos maciços de solo e rocha ocorrentes nas escavações subterrâneas, considerando o método construtivo das obras subterrâneas.
- 2) Revisão e avaliação das incertezas e variações nas condições geológico-geotécnicas identificadas no projeto e método construtivo.
- 3) Plano de investigações geológico-geotécnicas adicionais, caso necessárias.
- 4) Cálculos de estabilidade das escavações subterrâneas, e avaliação das necessidades de contenções/suportes/tratamentos de solo.
- 5) Elaboração de um registro de riscos, contendo riscos identificados (iniciais, geológicos-geotécnicos, hidro-geológicos, de projeto e construção), em relação às obras subterrâneas, estimativa da sua probabilidade de ocorrência e impactos, bem como de medidas sugeridas de projeto e construção, para reduzir os riscos iniciais a níveis aceitáveis.
- 6) Verificação da monitoração geotécnica, e sua adequação, para avaliar o comportamento das obras subterrâneas, dos maciços e do meio urbano adjacente.

Para este escopo, é necessário disponibilizar equipe altamente qualificada de engenheiros geotécnicos especializados e consultor. Devem ser realizadas visitas periódicas ao local das obras, para integração com a equipe da construtora e seus contratados, e para compreensão dos requisitos do projeto e necessidades específicas da construção. A atuação da consultoria deve se dar de forma integrada e cooperativa com as diretrizes da construtora do proprietário.

O Código de Prática para o Gerenciamento de Risco em Obras de Túneis, cujo lançamento da versão em português foi objeto do evento no qual o autor foi palestrante, é um documento relevante para a boa prática da engenharia de obras subterrâneas, tendo sido preparado pelo The International Tunnelling Insurance Group (ITIG) – Grupo Internacional de Seguros de Túneis, ligado à International Tunnelling Association (ITA). Este documento tem o objetivo de promover e assegurar a melhor prática para a minimização e o gerenciamento de riscos associados ao projeto e à construção de túneis, poços e obras afins. O mesmo estabelece uma prática para a identificação de riscos, sua alocação para as partes de um contrato, e o gerenciamento e controle de riscos através do uso de avaliações de risco e registros de riscos.

Estas são condições usuais, adequadas e aceitas pelas companhias de seguros mais renomadas, para um completo plano de gestão de riscos, focado em obras subterrâneas.

Os procedimentos de gestão, instrumentação e execução das obras são complexos e necessitam de elevado grau de conhecimento técnico e executivo. Cada túnel possui diversos eventos potencialmente geradores de risco. Estes eventos devem ser classificados de acordo com seu grau de risco à segurança, economia e eficiência da obra.

Para a determinação do grau de risco de cada evento, pode-se utilizar a classificação probabilística apresentada na tabela 1, em que, através da frequência de ocorrência de um determinado evento, define-se a probabilidade do risco para a obra.

Os eventos de risco são apresentados em forma de duas tabelas: tabela 2 (parte A) e a tabela 3 (parte B). A parte A apresenta as categorias de risco mais comuns em obras subterrâneas, como túneis NATM. Nesta tabela, expõem-se as características principais de cada evento e a avaliação do risco é dividida em três fatores principais: probabilidade de ocorrência; consequência ou impacto; risco inicial.

A tabela B apresenta as medidas corretivas a serem tomadas para a redução do risco de cada

evento, em três etapas: metodologia para a detecção do risco; medidas de redução do risco; análise do risco residual.

A composição das tabelas A e B resume, simplificada, a análise de risco deste tipo de obra subterrânea (túneis NATM), pois contempla os principais eventos potencialmente causadores de não conformidades e geradores de risco. Estes eventos podem resultar em danos relevantes e graves, e até mesmo no colapso parcial do empreendimento. Estas tabelas são exemplificativas e hipotéticas, devendo ser adequadas à especificidade de cada obra subterrânea, para aplicação em situações reais.

RESUMO E CONCLUSÕES

Este trabalho técnico apresentou considerações sobre a Análise e Gestão de Riscos na Construção de Obras Subterrâneas. Em face da complexidade geológica e desafios técnicos deste tipo de obra, verifica-se a necessidade de medidas de segurança e cautela adicionais, em relação a obras convencionais, tais como elaboração e implementação de planos de gestão de risco, análise crítica e validação de projetos, acompanhamento técnico de obra, monitoração, e outros procedimentos de mitigação de risco.

Para reduzir ou eliminar riscos inerentes ao projeto e execução de obras subterrâneas, usualmente executadas em regiões geologicamente complexas, recomenda-se observar o Código de Prática para o Gerenciamento de Riscos em Obras de Túneis, proposto pelo The International Tunnelling Insurance Group (ITIG).

São apresentados neste trabalho os potenciais riscos inerentes às principais atividades de construção de Túneis e Obras Subterrâneas. Também são apresentadas as principais medidas que devem ser tomadas na obra, necessárias para caracterizar, entre outros aspectos relevantes: A segurança da obra; medidas para manter os riscos de construção em níveis aceitáveis, considerando as características geológicas (usualmente complexas) de cada obra subterrânea; a economia da obra, considerados fatores como cronograma e impacto da obra no meio ambiente; critérios empregados no projeto, que levem a uma obra econômica e segura.

O trabalho apresenta planilhas resumo, exemplificando riscos com potencial de ocorrência na obra, em função de sua frequência de ocorrência em obras similares e probabilidade de incremento do risco global da obra. Essas planilhas trazem ainda o grau de intensidade destes riscos, para serem utilizados no Plano de Gestão de Riscos da obra.

Recomenda-se elaborar rotineiramente PGR

específico, adequado às características de cada obra subterrânea, e implementá-lo.

Para um empreendimento de obra subterrânea bem sucedido nas suas diversas fases (projeto, construção e operação), é necessário equilibrar demandas de gerenciamento de risco entre condições geológicas/projeto estrutural/sistemas de reforço e tratamento de solos, de um lado, e gerenciamento do empreendimento pelo outro lado (supervisão, treinamento, monitoração da obra, relacionamento cliente – construtor, qualidade da mão-de-obra, e interpretação da monitoração). A figura 17 ilustra esta concepção de equilíbrio entre gerenciamento do empreendimento e gerenciamento de riscos.

Outras sugestões, como as apresentadas a seguir, são importantes para minimizar a probabilidade de encontrar condições inesperadas de natureza crítica.

- 1) Planejamento da investigação geológica-geotécnica em mais de uma etapa, e em função do método construtivo selecionado.
- 2) Selecionar o método construtivo em função das condições geológicas e geotécnicas, utilizando-se análises de riscos e de decisão.
- 3) No início do projeto, identificar os riscos e melhorar as estratégias de controle de riscos efetivos.
- 4) Apoio de A.T.O. (Assessoria Técnica da Obra).
- 5) Elaborar planos e procedimentos de contingência.
- 6) Aprimorar processos de engenharia, projeto e construção.
- 7) Necessário implementar a prática corrente em outros países do "peer review" (análise crítica,

revisão e validação de projetos); necessário implementar a Contratação pelo Melhor Preço (menor preço final para o conjunto projeto/obra/operação/manutenção), e não pelo menor preço de construção.

8) Somente iniciar a obra com projeto executivo detalhado.

9) Implantar uma cultura de segurança entre projetistas, construtores e proprietários.

Além disto, é fundamental que cada obra tenha um RMP – Risk Management Plan (Plano de Gestão de Riscos), e um RR – Risk Register (Registro de Riscos), elaborado especificamente para cada túnel e obra subterrânea, para, juntamente com a lista de verificação (check list), reduzir os riscos na construção.

É importante lembrar que nenhum projeto de obra subterrânea está livre de riscos. Riscos podem ser gerenciados, minimizados, compartilhados, transferidos ou aceitos. Mas jamais, ignorados.

Com estes procedimentos e processos, os sucessos serão mais frequentes, e os insucessos mais infrequentes!

Agradecimentos

Este trabalho é uma homenagem ao prof. dr. Nelson Infanti, eminente profissional da geologia brasileira, pioneiro na análise e gestão de riscos geológicos. 🍷

**Roberto Kochen é engenheiro, presidente e diretor-técnico da GeoCompany (empresa brasileira de projetos e consultoria – www.geocompany.com.br), diretor do Departamento de Engenharia Civil do Instituto de Engenharia e professor Doutor da Escola Politécnica da USP E-mail: kochen@geocompany.com.br*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] TELFORD, THOMAZ - "NATM for Tunnels in Soft Ground, - Design and Practice Guide", ICE – The Institution of Civil Engineers, Londres, Inglaterra, (1996).
- [2] HOEK, EVERT - "Rock Engineering", editado por Roberto Kochen e Paulo Cella, publicado pelo CBMR - Comitê Brasileiro de Mecânica das Rochas, São Paulo, 1998.
- [3] KOCHEN, ROBERTO; RIBEIRO, FRANCISCO - "Segurança, Colapso e Ruptura de Túneis Urbanos em NATM", REVISTA ENGENHARIA nº 540-2000, Instituto de Engenharia, Engenho Editora Técnica Ltda., São Paulo, 2000.
- [4] REINER, HARTMUT - "Tunnelling Insurance", evento de lançamento do Código de Prática para o Gerenciamento de Riscos em Obras de Túneis na versão em Português, Munich Reinsurance Company, São Paulo, 2008.
- [5] FERMAN, ACHIM - "Munich Re and Engineering Business", evento de lançamento do Código de Prática para o Gerenciamento de Riscos em Obras de Túneis na versão em Português, Munich Reinsurance Company, São Paulo, 2008.
- [6] KOCHEN, ROBERTO - "Riscos em Obras Subterrâneas – Identificação, Mitigação, Eliminação", evento de lançamento do Código de Prática para o Gerenciamento de Riscos em Obras de Túneis na versão em Português, Munich Reinsurance Company, São Paulo, 2008.
- [7] PASTORE, ERALDO - "Risco Geológico em Obras Civis", REVISTA ENGENHARIA nº 592-2009, Instituto de Engenharia, Engenho Editora Técnica Ltda., São Paulo, 2009.
- [8] ATKINS, W. S. - "The Risk to Third Parties from Bored Tunnelling in Soft Ground", Health and Safety Executive – HSE, Research Report 453, Londres, Inglaterra, 2006.
- [9] ASSIS, ANDRÉ; PEREIRA, DIEGO - "Gerenciamento de Riscos em Obras Subterrâneas", SAT – South American Tunnelling, São Paulo, 2008.
- [10] GRASSO, PIERGIORGIO; GUGLIEMMETTI, VITTORIO; XU, SHULIN - "Risk Management Applied to Mechanized Tunneling Urban Areas", SAT – South American Tunnelling, São Paulo, 2008.