

Unidade 06 - NOÇÕES SOBRE ESCAVAÇÕES SUBTERRÂNEAS TÚNEIS

6.1 - Introdução

Na abordagem, neste curso de Engenharia Civil, das noções básicas sobre as escavações subterrâneas e os elementos de Engenharia relacionados aos túneis é utilizado o texto de Nivaldo Chiossi, do livro “*Geologia Aplicada à Engenharia*” publicado na década de 70, que não mais se encontra disponível para comercialização.

O objetivo dos túneis é permitir uma passagem direta através de certos obstáculos, que podem ser elevações, rios, canais, áreas densamente povoadas, etc.

São elementos de transporte (figura 01), com exceção daqueles usados em mineração. São exemplos (figura 02) os túneis ferroviários, rodoviários, de metrô, de transporte de fluidos (água). No transporte de água, a finalidade pode ser tanto para a obtenção de energia, como de abastecimento de populações.

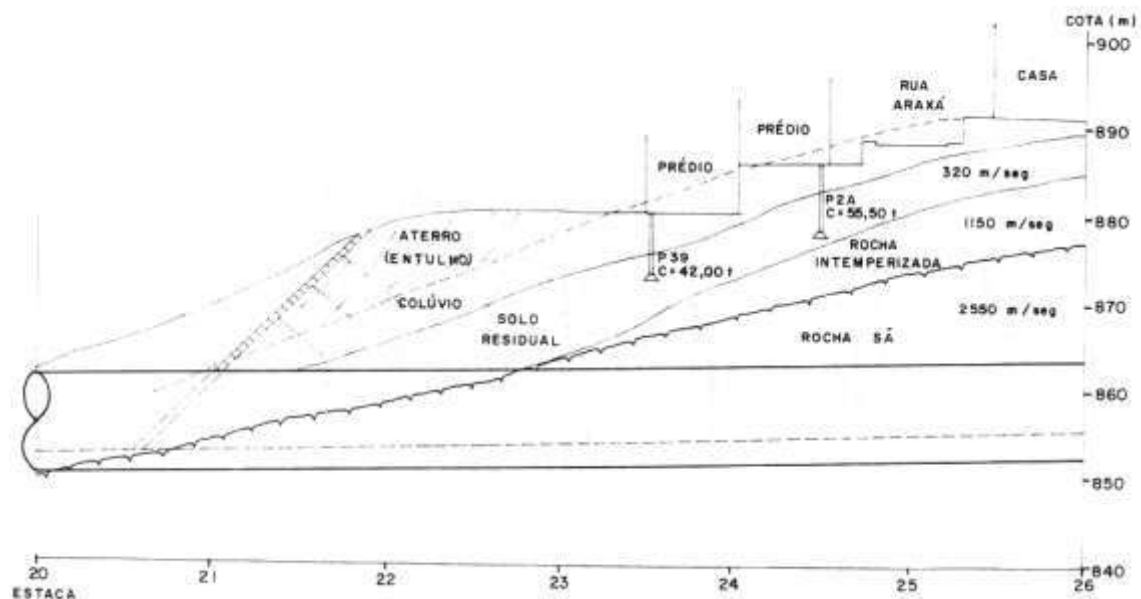


Figura 01 – Aspecto geral das ocorrências geológicas de uma das extremidades do túnel da “Alagoinha” em Belo Horizonte/MG.

Os túneis são também frequentemente usados em barragens como obras auxiliares, através das quais as águas do rio são desviadas, a fim de permitirem a construção das estruturas da barragem no leito do rio. A barragem de Funil no Rio Paraíba, por exemplo, teve suas águas desviadas através de um túnel de 430m de comprimento e 11,5m de diâmetro, escavado em gnaisses e com capacidade para transportar $1500\text{m}^3/\text{seg}$.

Outro exemplo é a barragem de Xavantes, no Rio Paranapanema, Estado de São Paulo, onde as águas foram desviadas ao longo de arenitos e basaltos através de dois túneis de 572m de comprimento e 9m de diâmetro cada um. Esses tipos de túneis são geralmente desenvolvidos em vales fechados e profundos.

Esses túneis de desvios são posteriormente aproveitados como túneis de adução, isto é, transporte das águas até a casa das máquinas.

Da mesma maneira, o primeiro passo na construção da barragem de Furnas, no Rio Grande, constituiu em desviar o leito do rio do local onde seria erguida a barragem, mediante a construção de dois túneis com cerca de 900m de comprimento por 15m de diâmetro, escavados em rocha, na margem esquerda. As rochas das regiões são representadas principalmente por siltitos. Posteriormente os túneis foram obturados mediante a construção de tampões de concreto de 22m de comprimento e 15m de diâmetro.

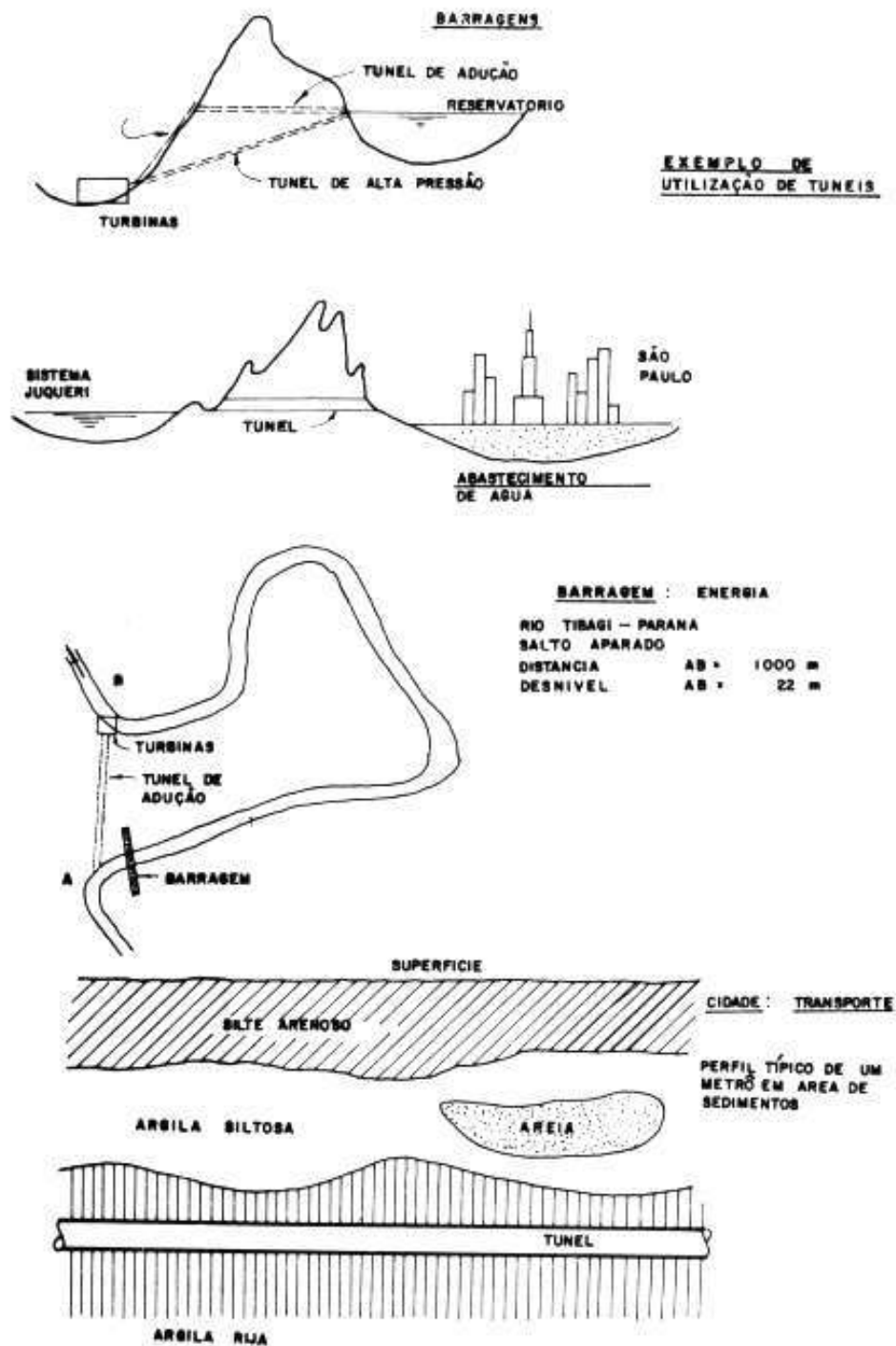
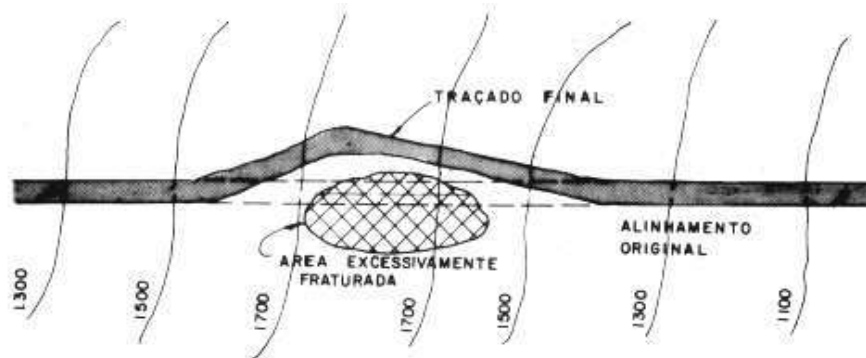


Figura 02 - Exemplos de Utilização de Túneis em Obras de Engenharia

6.2 - Influência dos Fatores Geológicos

A escolha do alinhamento básico de um túnel é governada primeiramente pelos interesses de tráfego e transporte. A locação exata é controlada pelos fatores geológicos e hidrológicos particulares da área do túnel. A tendência para a implantação de um alinhamento de túnel é mantê-lo o mais reto possível, não só por seu percurso menor, custos inferiores, melhor visibilidade, mais também pela simplificação da construção e de sua locação topográfica.

A fase mais importante dos trabalhos preliminares para túneis é a exploração cuidadosa das condições geológicas. A locação geral de um túnel, apesar de governada pelos interesses econômicos e de tráfego, somente é definida quando são definidas as condições geológicas (figura 03).



Esquema: Alteração do alinhamento do túnel, devido às condições geológicas desfavoráveis.

Figura 03 – Influência dos condicionantes geológicos no traçado

O reconhecimento geológico (figuras 04 e 05) é feito através de investigações superficiais, complementadas com sondagens espaçadas adequadamente (não aplicar o método geométrico), as quais fornecem as informações para o anteprojeto preliminar.

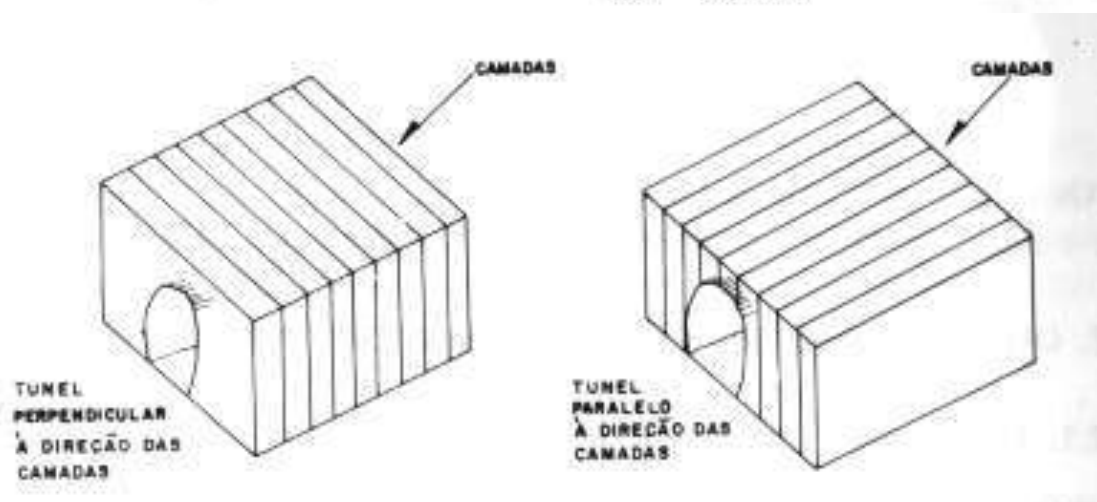
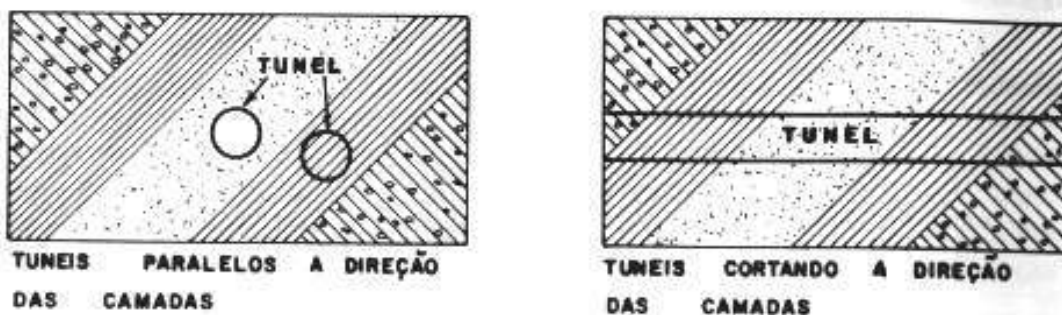


Figura 04 - Exemplos de situações geológicas

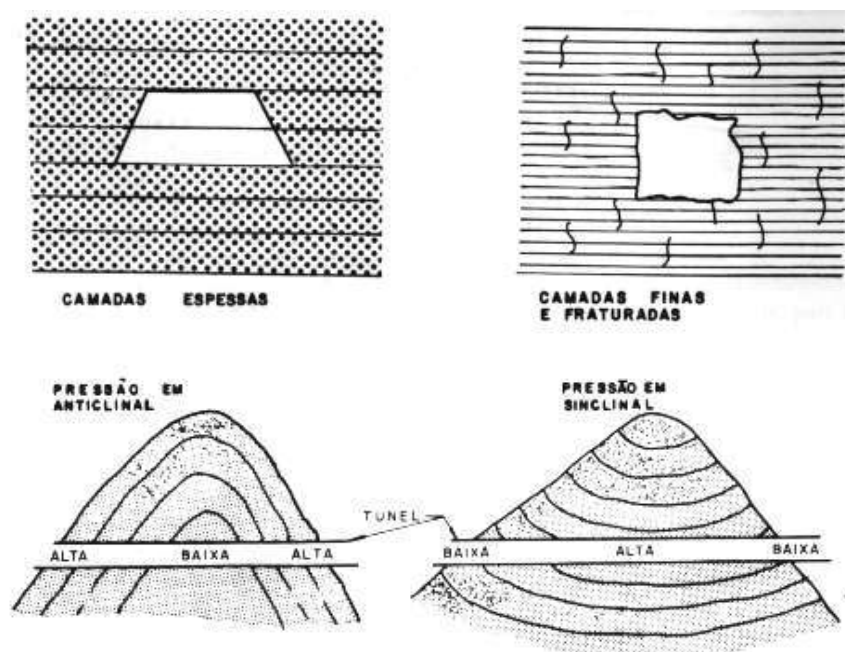


Figura 05 - Exemplos de situações geológicas

Quando possível, a locação de um túnel deve ser acima do nível da água, caso contrário, deve ser esperada a entrada d'água através do teto e das paredes laterais. Em certas condições, pode ser necessária a aplicação de métodos especiais à construção, como o da couraça, ou a aplicação de rebaixamento do nível d'água, etc. A figura 06 mostra um exemplo de três locações diferentes de túneis, relativas à posição do nível d'água. A locação n°3 é mais desfavorável.

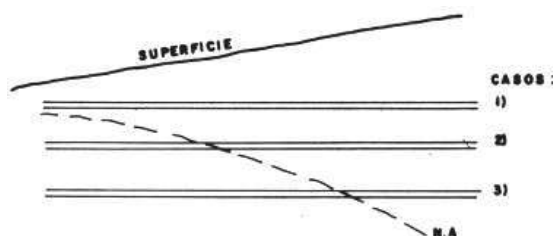


Figura 06 - Exemplo de três locações de túneis, relativas à posição do nível d'água.

6.3 - Método de Escavação em Materiais Duros (Rochas)

6.3.1 - Método Tradicional

- Introdução

Para túneis escavados em rochas, a não ser nos casos daqueles extremamente curtos (cerca de 200m de comprimento), são normalmente estabelecidas, para a construção, duas ou mais frentes de escavação. Genericamente, as seguintes operações são necessárias:

- a) **perfuração** da frente de escavação com marteletes;
- b) carregamento dos furos com **explosivos**;
- c) **detonação** dos explosivos;
- d) ventilação e remoção dos detritos e da poeira;
- e) remoção da água de infiltração, se necessário;
- f) colocação do **escoramento** para o teto e paredes laterais, se necessário;
- g) colocação do **revestimento**, se necessário.

As operações (a, b, c, d) se referem ao avanço do túnel. Exemplos de avanços:

rocha arenito
diâmetro: 9m
n^o de furos na frente: 80 furos com 6m de profundidade
processo: 6m/dia/2 turmas

Exemplo de tempo necessário para diversas operações (ordem de grandeza):

Atividade	Horas
perfurações	6
carregamento	1
explosão	—
limpeza	9
Total	16 horas

- Métodos de Avanço

Túneis desenvolvidos em rochas podem apresentar diferentes métodos de avanço, sendo os mais comuns:

- **Escavação Total**

Nesse caso toda a frente é perfurada e dinamitada. Túneis pequenos, cerca de 3m de diâmetro, são assim escavados, embora os de maiores diâmetros também o possam ser.

- **Escavação por Galeria Frontal e Bancada**

Esse método envolve o avanço da parte superior do túnel, sempre adiante da parte inferior (figura 07). Se a rocha é suficientemente firme para permitir que o teto permaneça sem escoramento, o avanço da parte superior é de um turno de trabalho com relação à inferior.



Figura 07 – Ilustração da escavação por galeria frontal e bancada

- **Escavação com Galerias**

Em túneis bastante largos, pode ser vantajoso desenvolver um túnel menor, chamado galeria (figura 08), antes da escavação total da frente. De acordo com sua posição, a galeria é chamada de:

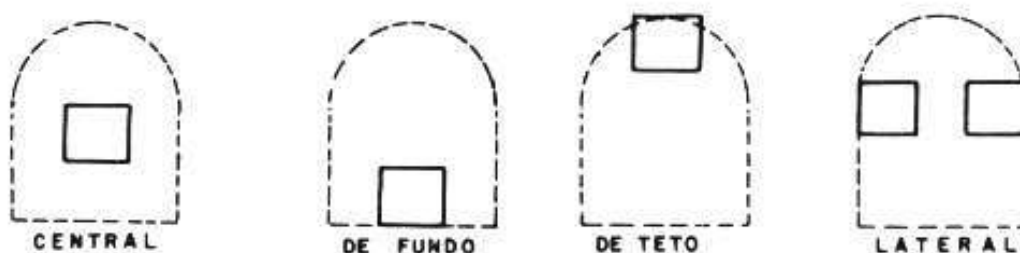


Figura 08 – Ilustração da escavação auxílio de galerias

Esse método apresenta vantagens e desvantagens. As vantagens são as seguintes:

1. Toda zona de rocha desfavorável ou com presença excessiva de água será determinada antes da escavação total, permitindo assim certas precauções.
2. A quantidade de explosivos poderá ser reduzida.
3. Os lados da galeria podem facilitar a instalação de suportes de madeira do teto, especialmente em rochas “quebradiças”.

Entre as desvantagens, temos:

1. O avanço do túnel principal pode se atrasar até o termino da galeria.
2. O custo de pequenas galerias será alto, em virtude de serem desenvolvidas manualmente, ao invés de automaticamente.

- Perfuração das rochas

Existem diversos equipamentos para a perfuração, e a seleção do tipo mais adequado depende da:

- a) natureza topográfica do terreno;
- b) profundidade necessária dos furos;
- c) dureza da rocha;
- d) o grau de fraturamento da rocha;
- e) dimensões da obra;
- f) disponibilidade de água para a perfuração.

O padrão de perfuração, ou seja, a posição dos furos na frente de avanço de um túnel varia também de acordo com o tipo de rocha, o diâmetro do túnel, etc. Quando os explosivos num furo simples são detonados, é aberta uma cavidade cujos lados formarão um ângulo de 45° , aproximadamente, com a face do túnel (cunha).

Os diâmetros das perfurações que recebem as cargas variam de $\frac{7}{8}$ a $1\frac{1}{4}$ de polegada.

- Padrões de perfuração

Quando os explosivos colocados em furos em torno dessa cavidade (cunha) são disparados, o quebraimento da rocha por furos será aumentado devido à presença dessa cavidade. Em furos executados para um turno de avanço (figura 09), é prática usual perfurar um certo número de furos que se inclinam em direção a um ponto comum ou a uma linha comum, próxima do centro da frente, para produzir um cone inicial ou cunha. Os explosivos são detonados nessas cavidades, inicialmente com espoleta instantânea; em seguida, outros furos são disparados a intervalos progressivos, usando-se espoletas de tempo.

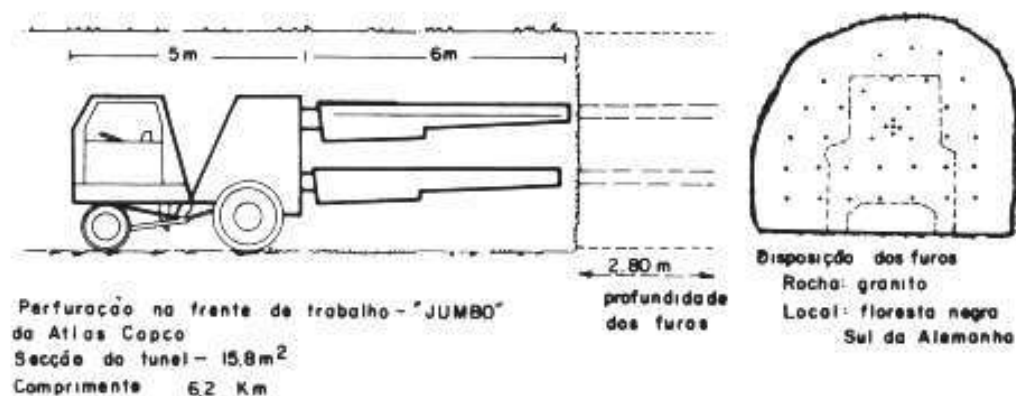


Figura 09 – Avanço de escavação de túnel em rocha, segundo um padrão de perfuração

A figura 10 exemplifica outros padrões de perfuração.

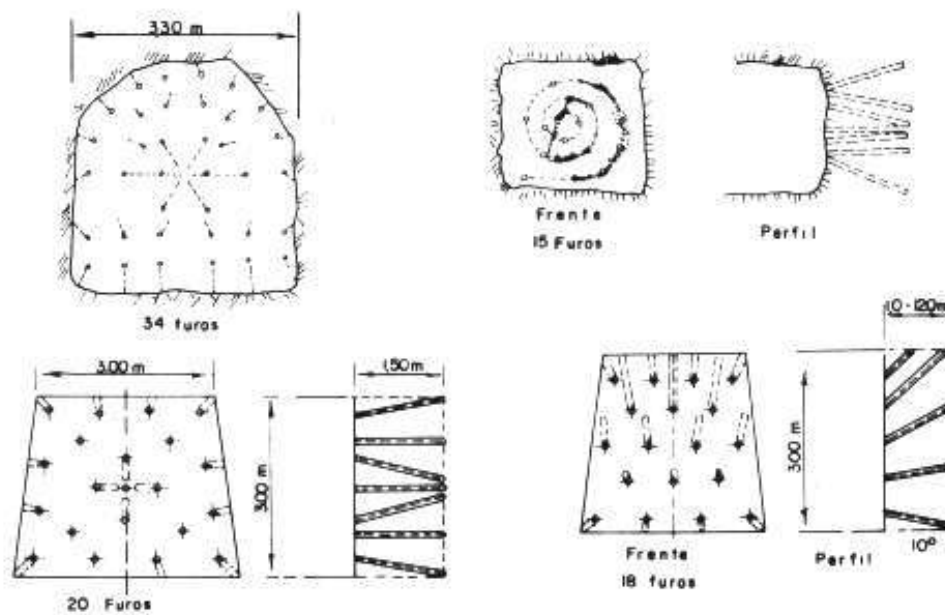


Figura 10 – Outros padrões de perfuração de túnel em rocha, com uso de explosivos.

- A determinação da seção do túnel

A sua seleção é influenciada por vários fatores, dependendo do objetivo do túnel:

1. *gabarito dos veículos;*
2. *tipo, resistência, conteúdo de água e pressões do solo;*
3. *o método de escavação;*
4. *o material e a resistência do revestimento do túnel;*
5. *a necessidade de usar 1 ou 2 sentidos de circulação.*

A figura 11 apresenta algumas das seções de túneis mais comuns.

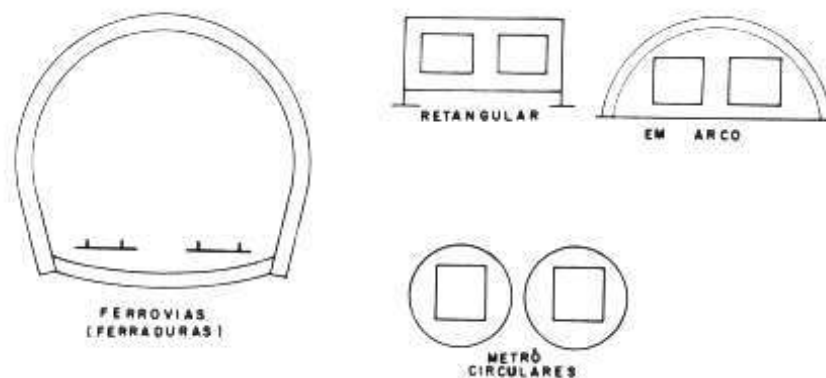


Figura 11 – Ilustração de algumas seções geométricas comuns de túneis.

- Ventilação

A ventilação dos túneis é necessária por várias razões:

- a) fornecimento de ar puro para os trabalhadores;
- b) remoção de gases produzidos pelos explosivos;
- c) remoção da poeira causada pela perfuração, explosão e outras operações.

O volume de ar requerido para ventilar um túnel depende do número de operários, da frequência de explosões, etc. Cada trabalhador necessita cerca de 200 a 500 pés cúbicos/minuto.

Quando o conteúdo de oxigênio cai abaixo de 20% (o natural é 21%), certo mal-estar acomete os operários. Com menos de 17% de oxigênio, pode ocorrer desmaio.

6. 3. 2 - Método Mecânico

O conceito de perfurar túneis mecanicamente é antigo. *As vantagens do método*, quando comparadas com as dos métodos convencionais (tradicional), são evidentes, vejamos:

1) *segurança* – abertura de paredes arredondadas (figura 12), que são mais resistentes (capacidade de sustentação). O perigo da queda de blocos é menor, e usualmente o suporte é pequeno e desnecessário.

2) *"overbreak"* - em túneis que exijam revestimento, a economia de concreto será grande, uma vez que não existirá "overbreak" causado pelas explosões.

3) *menor número de trabalhadores* – sempre menor, comparados com os métodos convencionais de escavação.

4) *avanço rápido*.

5) *danos de explosões* - o método mecânico elimina essa perspectiva, não causando danos a propriedades em áreas densamente habitadas ou no próprio material encaixante do túnel

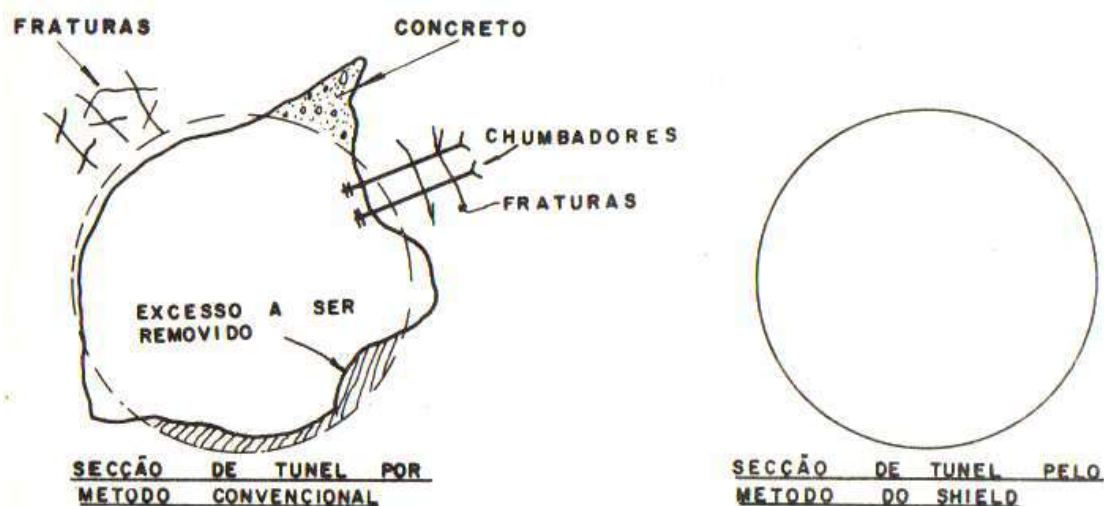


Figura 12 – Aspecto comparativo entre as seções escavadas pelo método convencional (uso de explosivos) e o método mecânico (corte por equipamento).

Algumas desvantagens desse método são:

O *alto investimento inicial* requerido pelo equipamento, o que elimina sua aplicação em túneis curtos. O *sistema de ventilação necessita ser mais largo e/ou mais complexo* para proporcionar o controle da poeira do calor. Deve ser efetuado cuidadoso *controle na direção* e no "grade" do túnel, para evitar possíveis desvios, de difícil correção. A aplicação do método é também mais comum em materiais em materiais relativamente moles, usualmente com a resistência à compressão menor do que 17 000 a 20 000 psi.

Apesar de os equipamentos terem sido primeiramente designados para rochas de baixa a média dureza, em torno de 1962 foram feitos testes com rochas extremamente duras como granito, basalto, gnaisse, etc. Um dos ensaios de abertura de túnel em folhelho, com resistência à compressão de 16 000 psi, produziu rendimento de 210 metros/semana (comissão Hidrelétrica da Tasmânia).

O projeto básico do equipamento é quase sempre definido com a seleção das condições geotécnicas do local e do diâmetro do túnel. A seleção do tipo apropriado dos elementos cortantes é feita em função das características das formações rochosas a serem atravessadas.

Raros são os exemplos de fracassos da máquina rotativa, que, resultaram quase sempre de inesperadas influências geológicas e não de deficiências de projeto do equipamento. Dados e interpretações geológicas adequados são da maior importância para o projeto e aplicação do método.

O levantamento geológico deve indicar a resistência da rocha e a necessidade ou não de se utilizar escoramento, bem como a possibilidade de entrada de água. A existência, porcentagem e tamanho das zonas de fraturas e/ou falhas, devem ser perfeitamente definidos.

6. 4 - Escavação em Materiais Moles (Solos)

6. 4. 1 - Método de Construção a Céu Aberto – “cut-and-cover”

- Generalidades

No método a céu aberto, o túnel propriamente dito tem uma secção transversal retangular para duas ou mais vias, estando sua base geralmente 10 m a 20 m abaixo da superfície e tendo em consequência um reaterro de 4 m a 14 m de altura.

Os diversos métodos de construção a céu aberto se distinguem principalmente pelo tipo de parede de escoramento.

Os principais trabalhos que acompanham esse método, sem levar em conta a desapropriação do terreno, são:

a) *Remoção das interferências*

Sob as ruas das grandes cidades, encontra-se grande número de linhas, cabos e sistemas de distribuição de todos os tipos. Nos lugares onde não é possível sustentar essas linhas sem comprometer o bom andamento da obra, elas devem ser relocadas. Canais comuns para todas as linhas de distribuição só são feitos raramente, devido ao custo elevado e a problemas administrativos e técnicos.

b) *Escoramento de prédios*

Para determinar o traçado da construção a céu aberto, o engenheiro deve seguir o traçado das ruas, o que muitas vezes não corresponde a um traçado ideal.

Ainda assim, não é possível evitar totalmente que sejam atingidos prédios. O escoramento ou a demolição dos prédios não pode ser determinado unicamente por cálculos econômicos.

c) *Medidas para o remanejamento do tráfego*

Um dos principais problemas durante a construção do túnel é o remanejamento do tráfego de veículos. Muitas vezes, necessitam-se medidas bastante delicadas, como mudança de linhas de tráfego, colocação de sinais e semáforos novos, etc. Todas essas medidas devem ser tomadas antes de iniciar-se a escavação.

- Métodos de construção

Os métodos de construção a céu aberto propriamente ditos são os seguintes:

1. com *taludes inclinados*;
2. com *paredes de escoramento* de diversos tipos: métodos de Berlim e de Hamburgo;
3. com *paredes que fazem parte da estrutura da obra*: método de Milão ou de *paredes-diafragma*;
4. *métodos especiais*.

A figura 13 mostra a seqüência construtiva de um túnel de seção quadrada, executado a partir de escavação a céu aberto, sendo as paredes laterais do tipo “paredes diafragmas”.

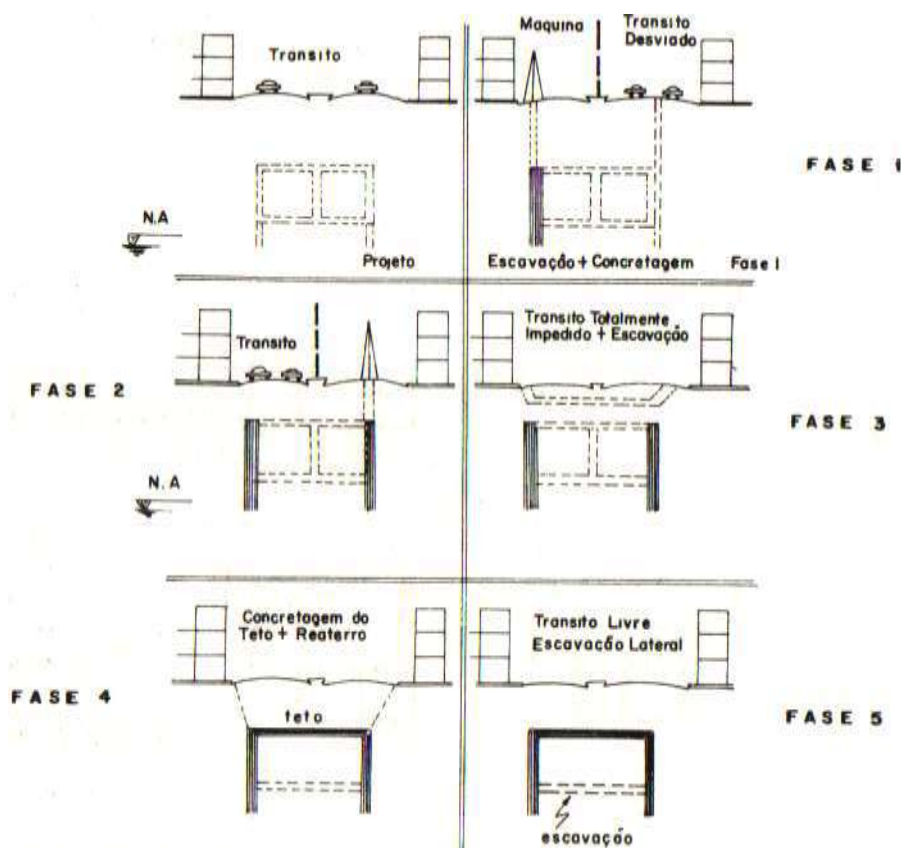


Figura 13 – Ilustração da seqüência construtiva de túnel executado a partir de escavação a céu aberto, através de concretagem de paredes diafragmas (Chiossi, 1979).

6. 4. 2 - Método da Couraça – “shields”

O método de construção de túneis com couraça, que é uma variante do método mineiro, é um dos mais modernos. Foi utilizado pela primeira vez no começo deste século por Brunel, para um túnel rodoviário sob o Rio Tamisa, em Londres. Na Alemanha, foi empregado há aproximadamente sessenta anos, para construir um túnel sob o Rio Elba, em Hamburgo.

O método de construção com couraça é o que traz menores problemas, tanto para o tráfego superficial como para a remoção de interferências. Ele é aplicável em quase todos os tipos de solo, nos moles como nos muito rígidos, acima ou abaixo do lençol freático. Ele se adapta muito bem às mais variadas condições. Para um funcionamento seguro, é necessária a existência de uma altura mínima de terra acima do túnel. De resto, sua profundidade só é limitada quando se trabalha com ar comprimido, abaixo do lençol freático. Mesmo trechos em declive ou em curvas, quando necessários para estradas ou metrô, não apresentam problemas.

Acompanhando-se o desenvolvimento dos últimos dez anos, *é possível notar uma evolução nítida a partir da couraça que inicialmente era manual, passando por uma semi-mecanizada até a totalmente mecanizada* (figura 14). Essa evolução se deve primeiramente ao aumento do custo da mão-de-obra. Em segundo lugar, com couraças mecanizadas, obtém-se um aumento na velocidade de avanço, com conseqüente diminuição de custo. Finalmente, influi a falta de operários especializados para trabalho sob ar comprimido e pelos perigos que existem nesse tipo de trabalho.

Atualmente existem três tipos de couraças:

1. couraça manual;
2. couraça semi-mecanizada, onde ferramentas, geralmente hidráulicas, são acionadas individualmente por trabalhadores;
3. couraça totalmente mecanizada.

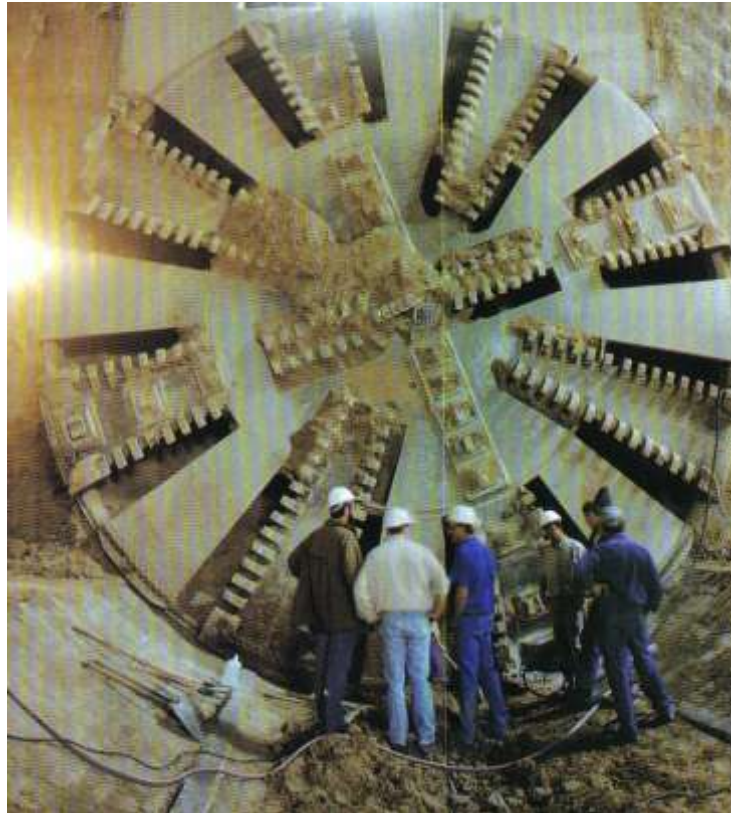


Figura 14 – Exemplo de equipamento (mecânico – “tatução”) utilizado na perfuração de túneis

Os recalques esperados na superfície do terreno são de grande importância na consideração da construção dos túneis e do tipo de couraça a usar, especialmente nos centros das grandes cidades.

Geralmente não é possível evitar recalques. Contudo, eles são muito menores na construção com couraça do que no método mineiro clássico. A dimensão dos recalques pode ser mantida bastante pequena, dentro de limites que não causem danos. Para isso, é preciso conhecer em que locais aparecem e quais as suas causas. Há recalques tanto quando a couraça permanece parada como quando está em movimento. As *possíveis causas* estão resumidas a seguir:

- *Alívio da tensão no solo, na frente de trabalho, devido a um insuficiente escoramento;*
- *Escavação excessiva na frente de trabalho;*
- *Deformação da couraça, por exemplo, sob o peso do solo (o que geralmente só acontece no início da escavação) ou por danos causados por obstáculos existentes no solo;*
- *Compactação do solo no avanço da couraça pela resistência ao avanço e por forças de cisalhamento na sua parede;*
- *Compactação de solos não coesivos, devido ao efeito de vibração do avanço da couraça ou de máquinas instaladas nas vizinhanças;*
- *Acomodação do solo no vão livre atrás da couraça;*
- *Desmoronamento do solo, devido à injeção insuficiente de argamassa atrás dos anéis ou utilização da argamassa inadequada;*
- *Deformação dos anéis sob a carga do solo;*
- *Quando há rebaixamento parcial ou total do lençol freático, isso pode provocar recalques, que, contudo, não são decorrentes do emprego da couraça.*

a. Couraças com escavação manual

Esse tipo de couraça é o mais seguro para resolver todos os problemas, dentro das mais variadas condições. Relativamente ao *escoramento* do solo na frente de trabalho, *usam-se dois sistemas*: As plataformas de trabalho são dispostas de modo a permitir que as pessoas trabalhem de pé. A escavação do solo e o escoramento são feitos de cima para baixo, sendo que a plataforma de trabalho avança empurrada hidráulicamente. O escoramento também é feito com auxílio de macacos hidráulicos. Quando a couraça avança, as plataformas de trabalho e o escoramento ficam parados, isto é, retrocedem relativamente à couraça, regulando-se a compressão do solo por um comando de pressão dos macacos hidráulicos. Isto significa, admitindo-se um trabalho muito cuidadoso, que o solo na frente de trabalho está completamente escorado a qualquer momento e em qualquer fase de trabalho. Esse método clássico, de grande adaptabilidade, pode ser empregado tanto acima como abaixo do nível do lençol freático (com ar comprimido). A figura 15 ilustra este tipo de escavação.

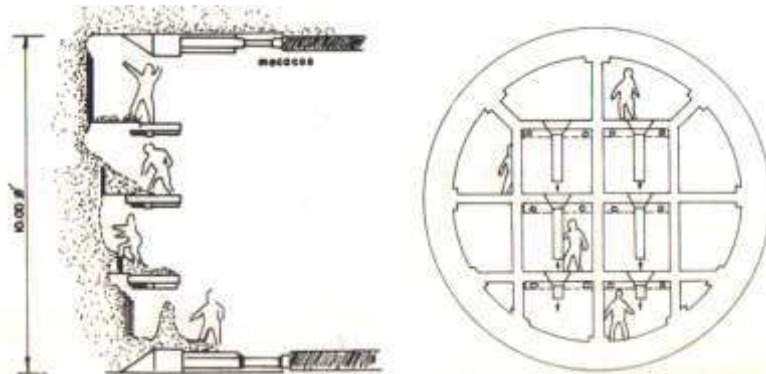


Figura 15 – Exemplo de avanço da perfuração com couraças com escavação manual

b. Couraças semi-mecanizadas

A respeito do escoramento do solo na frente de trabalho, as couraças semi-mecanizadas não diferem das de escavação manual. Tenta-se simplesmente racionalizar e acelerar alguns serviços manuais por máquinas adequadas. Contudo, as máquinas são operadas individualmente. Isso pode ser feito tanto no carregamento como na escavação, que é a parte mais importante.

A figura 16 mostra a proposta para uma couraça simples semi-mecanizada, de 5,50 m de diâmetro, como foi projetada em 1963 para o trecho de um túnel do Metro de Hamburgo. O solo é escavado com duas pás mecânicas e carregado imediatamente. As duas máquinas trabalham em dois níveis, sobrepostas, separadas por uma plataforma móvel. O solo na frente de trabalho, a qualquer momento, pode ser escorado total ou parcialmente por chapas de aço, usando-se as pás mecânicas para colocá-las ou retirá-las. O escoramento propriamente dito é feito por macacos hidráulicos e pode ser regulado exatamente conforme as condições

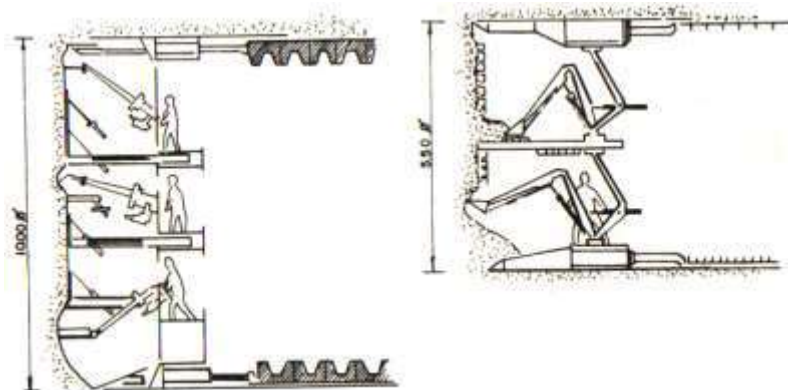


Figura 16 – Exemplo de avanço da perfuração com couraças semi-mecanizada

c. *Couças mecânicas*

Nas couças mecanizadas conhecidas, o solo é escavado, na frente de trabalho, por placas fresadoras rotativas, sendo levantado mecanicamente e conduzido por correias transportadoras ou vagonetes. Todas as instalações auxiliares são instaladas na couça ou em um "reboque". A colocação dos segmentos dos anéis e a injeção de argamassa são feitas como nos outros tipos de couça. Deve-se distinguir couças com a frente de trabalho escorada ou não, isto é, se a escavação é feita por um disco fechado ou aberto (figuras 17).

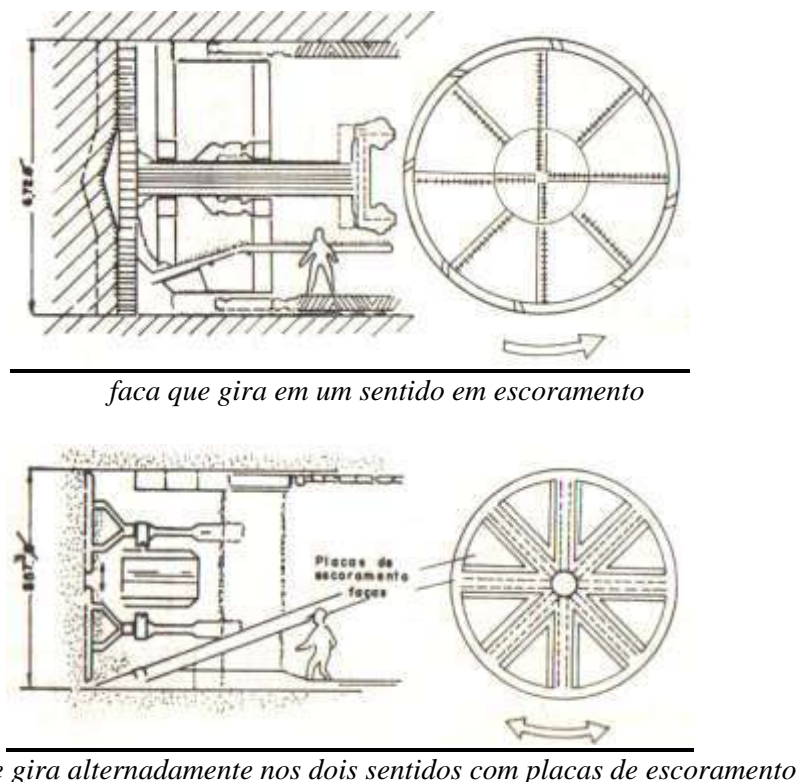


Figura 17 – Exemplo de avanço da perfuração com couças totalmente mecanizada

6. 4. 3 - O Novo Método Austríaco de Túneis “NEW AUSTRIAN TUNNELING METHOD”(NATM)

Sobre este método (NATM) é utilizado como referência principal o trabalho de H. Wagner – Chamber of Mines of South África, com tradução de Rogério, P. R. G..

Introdução

A introdução dos chumbadores aplicada contra a face da rocha imediatamente após o fogo e o uso do concreto projetado como método de escoramento e proteção superficial pode ser considerado como os dois mais importantes progressos na prática de execução de túneis.

Novos métodos de execução de túneis baseados nesses meios de escoramento do túnel foram desenvolvidos nas últimas décadas. Entre eles, o N.A.T.M. tem se tornado cada vez mais importante, especialmente no campo de execução de túneis em rocha mole e em solo.

A principal característica no NATM é o uso de uma camada delgada de chumbadores que é aplicada à uma superfície da rocha adjacente. Tão cedo seja possível após aplicado, esse

revestimento em concreto projetado aberto é fechado no fundo por meio de um “invert” (arco invertido). Se necessário, um revestimento permanente pode ser instalado uma vez atingido o equilíbrio.

A partir da primeira aplicação desse método de execução de túneis nos anos 60 um grande número de projetos de túneis foi completado com sucesso sob condições geológicas variáveis, rápidas taxas de avanço, redução de custos e aumento de segurança. Contudo, o conhecimento amplo desse atraente método de execução de túneis é ainda limitado, e seus princípios básicos são freqüentemente mal compreendidos.

Princípios

Quando uma cavidade é aberta pelo avanço do túnel, o estado de tensões na massa rochosa é perturbado e elevados esforços são induzidos na vizinhança da cavidade. Conseqüentemente, diferenças de tensões podem surgir as quais freqüentemente excedem a resistência da massa rochosa adjacente. Os danos à rocha são mais ainda acentuados pelo desmonte a fogo, e como resultado disso a rocha tende a fraturar na vizinhança da abertura. A rocha fraturada pode suportar somente cargas limitadas portanto a região de tensões elevadas induzidas sai as superfície do túnel e se desloca para a massa rochosa adentro.

A principal vantagem do NATM é que permite que o escoramento seja, aplicado à rocha imediatamente atrás da face em avanço. Esse escoramento aumenta notavelmente a resistência dessa rocha, enfraquecida potencialmente pelo alívio de tensão e pelo desmonte a fogo como as experiências de Jaeger mostraram. Ainda mais, o escoramento promove uma vedação imediata que evita a deterioração da rocha pela ação do tempo. Assim, quando a face do túnel avança mais, e a rocha fica exposta às tensões induzidas totais, a resistência da mesma é muito maior que teria caso outras formas de escoramento fossem instaladas mais tarde, ou que recebessem as cargas um tanto tarde, se utilizadas.

Túneis próximos da superfície, isto é, com pouca cobertura, requerem um revestimento mais rígido do que túneis à grande profundidade, isto é, com grande cobertura.

Enquanto que na execução de túneis em rocha dura, a massa de rocha deforma mais ou menos elasticamente desde que esforços não excedam a resistência da mesma, a execução de túneis em rocha mole a deformação inicial da massa rochosa geralmente causa o fraturamento, causando deterioração das propriedades mecânicas da massa de rocha adjacente e gera a perigosa pressão afrouxada.

Os princípios básicos do NATM podem ser melhor ilustrados comparando-se a mecânica das rochas de túneis, escorados com esse método e com os antigos. Ao passo que todos os métodos mais antigos de escoramento temporário, sem exceção causam vazios e o afrouxamento através da plastificação de diversos elementos da estrutura de escoramento, uma camada delgada de concreto projetado, as vezes, junto de um adequado sistema de chumbador de rocha, aplicando à superfície da rocha imediatamente após a detonação, evita o afrouxamento e reduz de um certo modo a descompressão da massa de rocha adjacente.

Conclusão

O mais notável aspecto do concreto projetado como um apoio resistente à pressão afrouxante e à deterioração das propriedades mecânicas da rocha fraturada reside na sua íntima interação com a rocha circunvizinha. Uma camada de concreto projetado aplicada logo imediatamente após a abertura da face da rocha atua como uma superfície de proteção que transforma a rocha de pequena resistência num sólido estável.

Devido a íntima interação entre o concreto projetado e a rocha, o restante da rocha vizinha permanece virtualmente em seu estado original não perturbado e portanto participa efetivamente na seção em arco.

O NATM foi comprovadamente satisfatório em todas essas condições. Embora basicamente o NATM pareça ser bastante simples, essa técnica de execução de túneis é bastante delicada em sua aplicação, especialmente em rocha fraca e saturada.

A aplicação correta e bem sucedida desse método requer bastante experiência prática e a íntima colaboração de um geólogo – engenheiro.

Para que seja aproveitada ao máximo as possibilidades desse método de execução de túneis, é necessário não somente ter a experiência prática de execução de túneis, mas também é preciso ter um conhecimento profundo das propriedades e do comportamento da rocha.

6. 4. 4 - Exemplo de Túnel Escavado em Solo com Pequeno Cobrimento

Como exemplo de túnel escavado em materiais moles (solos) apresentamos o túnel (de pequena extensão) do acesso ao município de Juiz de Fora, sob a BR 040 (figura 18), em Salvaterra, executado em meados de 1996 para o DNER. Pela proximidade com a nossa UFJF e sendo uma obra exposta esta poderá receber a visita dos alunos deste curso, para melhor visualização da concepção da solução adotada para o problema de tráfego daquele cruzamento.

Os dados e características do projeto e de execução, aqui apresentados, foram fornecidos pela acadêmica Iracema Mauro Batista, aluna do curso de Engenharia Civil e estagiária do DNER no período de escavação do túnel.



Figura 18 - Execução de furos de enfilagem para a consolidação do maciço

- **O Túnel:**

- cota do terreno (estaca 10 + 10,58): 800,100m.

- cota do projeto (início do Túnel): 790,867m. (Greide Rodoviário)

O Túnel está a 16cm mais baixo de montante para jusante (escoando para a entrada do túnel), Posto Salvaterra (figura 19).

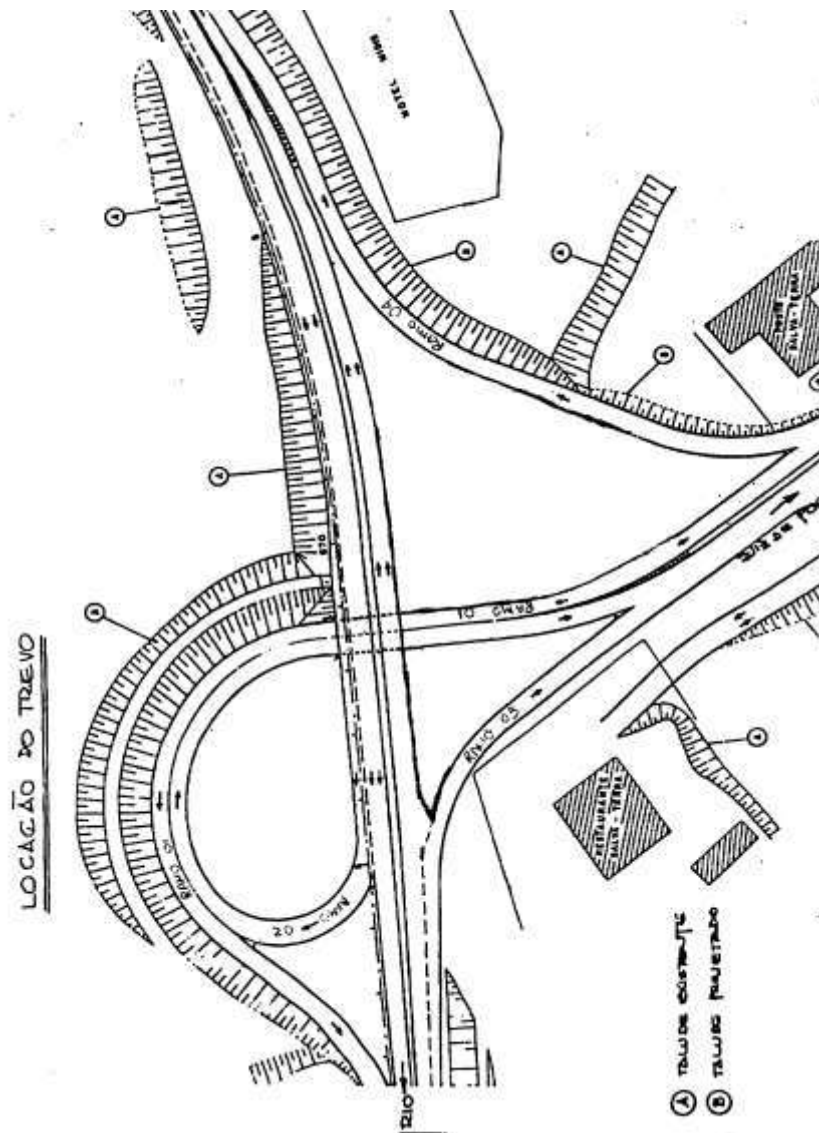


Figura 19 - Localização do trevo

• **Gabarito do Túnel:**

- Altura do Gabarito - 5,50m.
- Largura do Gabarito.- 9,00m.

O Gabarito está montado em forma de elipse (figura 20).

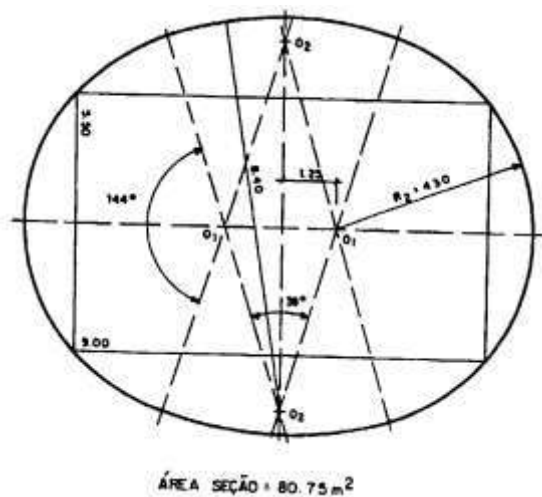


Figura 20 - Desenho da Geometria da Seção

- **Os furos de Enfilagem:**

Parte superior do Túnel onde começa a enfilagem: 5,50 (altura do gabarito) + 1,50 (camada de solo) + 0,20 (espessura) = 7,20m.

À jusante, foram feitos 33 furos de enfilagem (figura 21) com injeção de nata de cimento no traço de 1 saco de cimento para a mesma quantidade de água em peso, cada um com 16cm de profundidade. Os tubos são de aço schedule 80 - D = 3". À montante, foi iniciado o processo de enfilagem, montando dois gabaritos (figura 22) distantes de 1m um do outro, sendo um gabarito mais alto 6cm que o outro, para serem realizados 33 furos, com 16m de profundidade, totalizando 32m de enfilagens (figura 23).

Total de enfilagens = $33 \times 32 = 1056\text{m}$.

Detalhes:

ϕ - ângulo de inclinação para a colocação dos tubos de enfilagem.

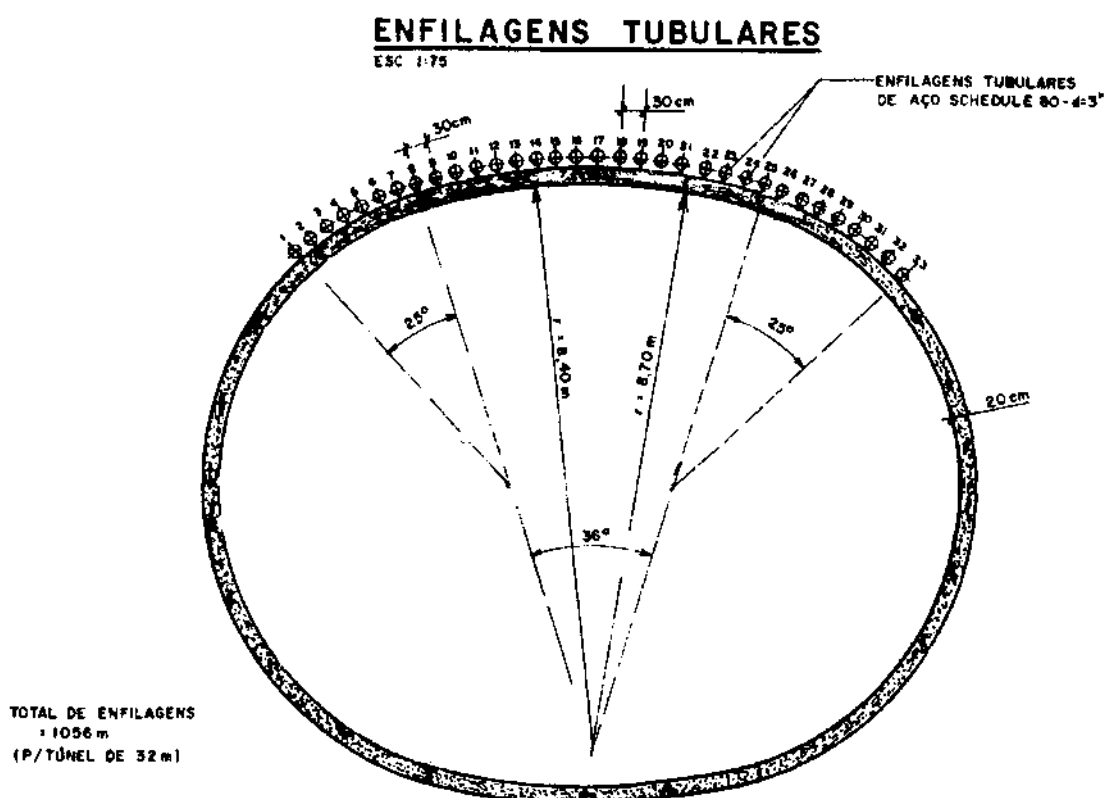


Figura 21 - Desenho das enfilagens tubulares

Obs: O eixo do Túnel foi demarcado e apurado no início da boca do túnel. À jusante, com o gabarito foram acertadas as laterais para a colocação das primeiras telas de amarração.

Na figura 24 é apresentado o desenho da armação do túnel e na figura 25 uma foto Escavação do revestimento da escavação do teto na execução

À montante, o terreno foi preparado para início do processo de enfilagem. Do pavimento até o começo dos furos foi deixado uma rampa, para dar estabilidade ao talude.

- **Estudos Geotécnicos:**

Avaliação objetiva da superfície do pavimento, de acordo com a PRO-08/78. As superfícies foram espaçadas de tal forma que, obtinham 3 estações por segmento homogêneo com a quantidade mínima de 3 estações por quilômetro, alternadas em relação ao eixo da pista.



Figura 22 – Montagem de gabaritos para a instalação do processo de enfilagem.

O estudo estava sendo feito no semi-bordo esquerdo da BR-040. Em cada estaca escolhida, ao longo do segmento, foram marcados 3m avante e 3m a ré. Observados os defeitos (fissura horizontal, fissura vertical, jacaré, erosão, desengaste do pavimento, etc) e, em seguida, anotados em formulários padronizados para cálculo do IGG (Índice de Gravidade Global), também em forma de croquis.

Comentário como foram feitas as medidas de deflexão na pista, por uma viga de Benkelman revestida por isopor. “O veículo-teste carregado de tal forma que o eixo traseiro ficasse com carga padrão de 8,2 toneladas. As medidas foram feitas de 60 em 60 metros, alternadamente em relação ao eixo da pista ou, 120 em 120m em uma mesma faixa de tráfego”.

O ensaio de viga Benkelman é utilizado em pavimentação, para uma projeção de vida útil do pavimento, previsão de recapeamento, etc.

Obs: As estacas escolhidas para avaliação objetiva, foram aproveitadas das estacas onde foram medidas as deflexões. Em cada 4, marcaram 3 aleatórias.



(a) acima (b) abaixo



Figura 23 – (a) Detalhe do gabarito junto ao “terreno” e a execução dos primeiros furos; (b) Aspecto das extremidades dos furos de “enfilagem”, dispostos segundo a geometria do túnel.

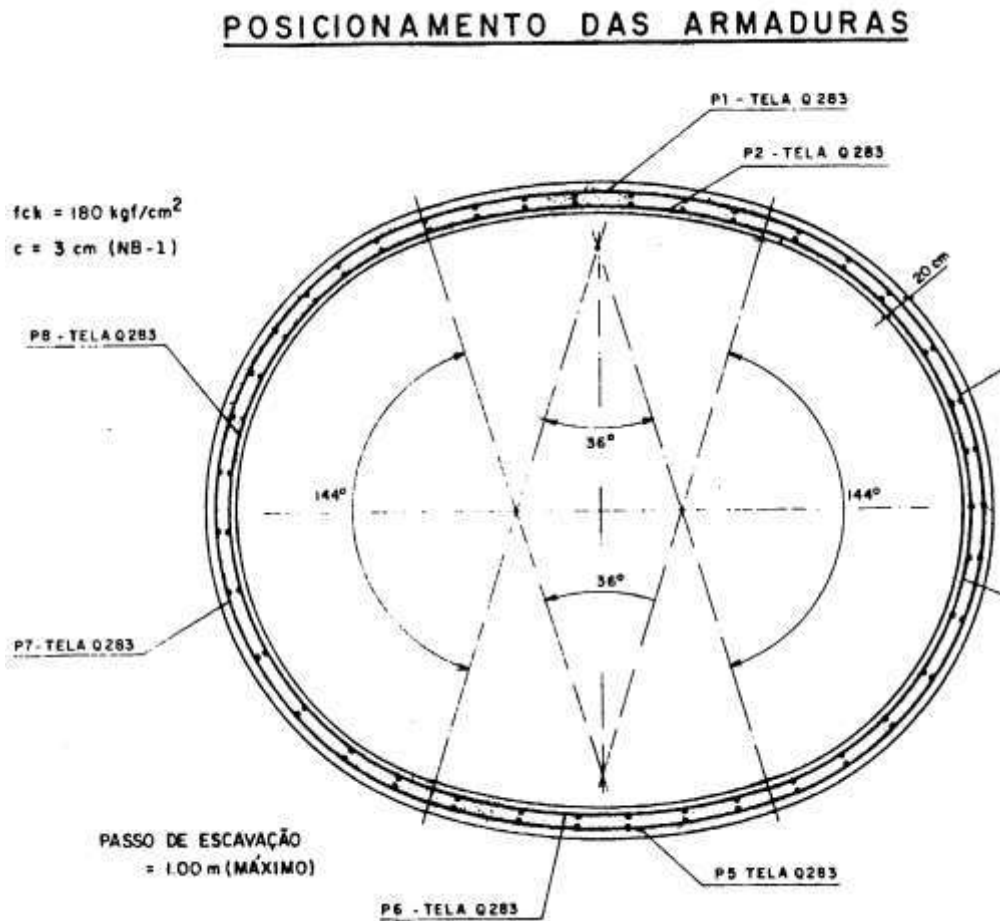


Figura 24 - Desenho das armaduras da estrutura do túnel



Figura 25 – Escoramento do revestimento de teto, seqüenciada ao avanço da escavação do túnel

6.5 – Análise de Caso de Insucesso Recente

O caso do acidente ocorrido na Linha 4, junto à Estação de Pinheiros Metro de São Paulo - Janeiro/2007

É apresentado neste sub-item do nosso curso de “NOÇÕES SOBRE ESCAVAÇÕES SUBTERRÂNEAS – TÚNEIS” uma abordagem sobre o recente acidente ocorrido na Linha 4 - Estação de Pinheiros do Metro de São Paulo, que teve grande repercussão na mídia brasileira.

Cabe ressaltar se tratar de fato de relevância da Geotecnia nacional, ocorrido muito recentemente, não dispondo ainda de dados suficientes para uma análise mais completa dos fatos que levaram tal insucesso. Não obstante, este “caso de obra” é introduzido nestas notas (em 30/01/2007) com o objetivo de ressaltar alguns pontos para discussão técnica em sala de aula, não só no que se refere ao assunto de “escavações subterrâneas” mas também uma série de outros discutidos ao longo da disciplina “Tópicos de Geotecnia e Obras de Terra”.



Registro no ponto do acidente, antes do ocorrido



Registro no ponto do acidente, após o ocorrido, em 12/Janeiro/2007

São utilizados nestas notas, textos publicados pela imprensa, em que o leitor deve, naturalmente, ser crítico ao que se apresenta (não necessariamente corresponde à verdade, já que foram produzidos em datas próximas ao fato ocorrido, não sendo em muitos casos, fundamentadas em dados e circunstâncias reais). Posteriormente ao registro do que foi publicado pela imprensa, à época, é apresentada uma série de opiniões/reflexões de diversos profissionais especializados na área de Geotecnia, publicados pela Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – ABMS.

NOTICIÁRIO

Algumas fotos publicadas nos primeiros dias após o ocorrido:



Registro do “desabamento” lateral do poço da estação de Pinheiros:

Rompimento de trecho da Rua Capri, com soterramento de pedestres e veículos, com cerca de sete vítimas fatais; Aspecto geral após rompimento e dos trabalhos (noturno) de resgate das vítimas

Os grifos (sublinhado) nos textos seguintes são de iniciativa e autoria do autor destas notas

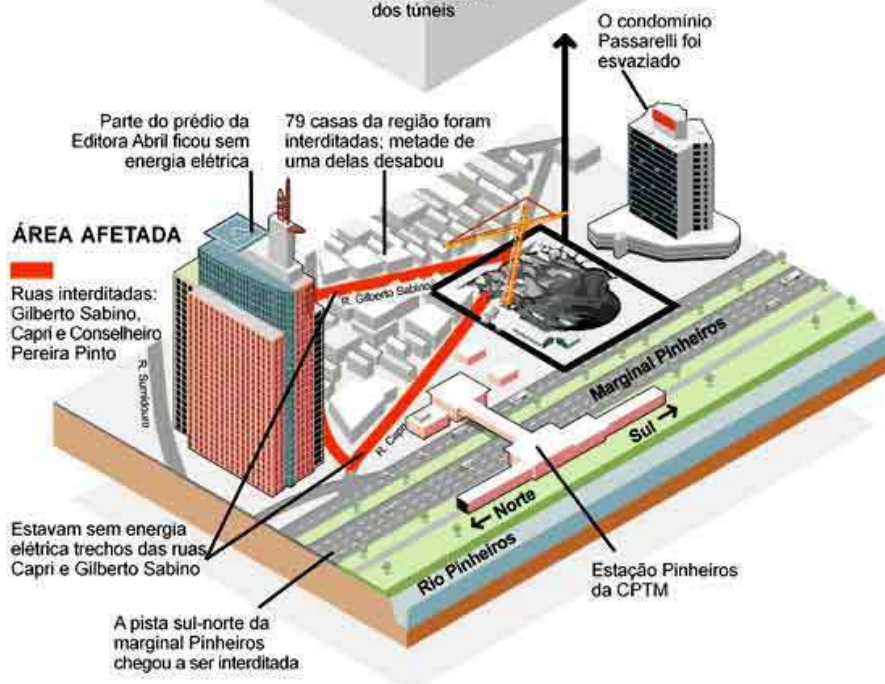
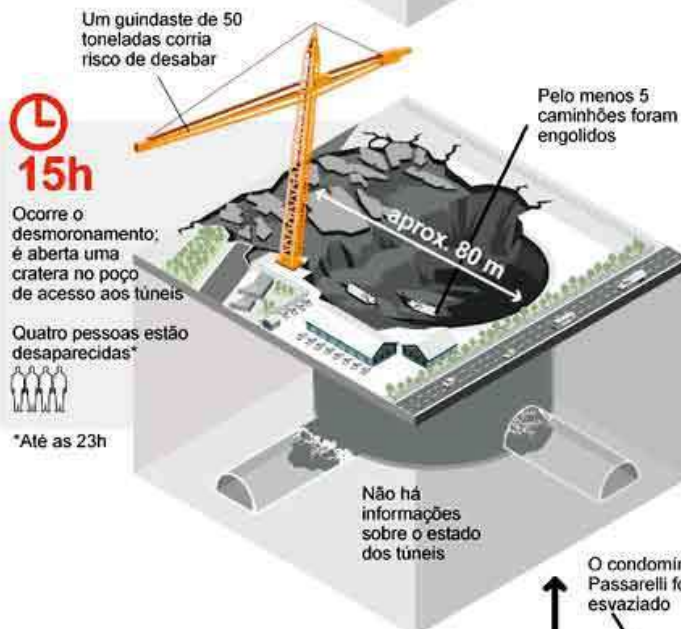
Entenda como aconteceu o desabamento nas obras do metrô em SP

14/01/2007 - 14h27 da Folha de S.Paulo - Folha Online

“Um canteiro de obras da futura estação Pinheiros da linha 4-amarela do metrô, na zona oeste de São Paulo, desabou na tarde de sexta-feira (12). O acidente, de acordo com as construtoras responsáveis pela obra, ocorreu devido à instabilidade do solo da região, agravada pelas fortes chuvas que atingiram a cidade dias antes. Saiba como foi o desabamento.”

O que aconteceu

Acidente nas obras do Metrô abrem cratera na zona oeste de São Paulo



Metrô optou por obra com mais riscos, dizem geólogos

21/01/2007 - 09h13 Roberto Pellim e Mario Cesar Carvalho da Folha de S.Paulo

O Metrô optou pela técnica de maior risco para construir o trecho da linha 4 que entrará para a história por ter sido o palco do mais grave acidente já registrado em obras desse gênero em São Paulo, com seis vítimas fatais. A opinião é de dois dos maiores especialistas nessa linha, os geólogos Kenzo Hori e Adalberto Aurélio Azevedo. Hori, 64, foi o responsável pelo levantamento geológico da linha 4 quando trabalhava no Metrô --ele entrou na companhia em 1968 e se aposentou em 1999 como chefe do Departamento de Projeto Civil. Já Azevedo defendeu em 2002 uma tese de doutorado no Instituto de Geociências da USP justamente sobre a área em que ocorreu o acidente --o trecho da linha que fica ao lado do rio Pinheiros (zona oeste paulistana). O objetivo da tese era confrontar os riscos de cada técnica para saber qual seria a mais segura para a região da estação que desabou no dia 12.

Os dois geólogos defendiam um método construtivo diferente do que foi adotado pelo Consórcio Via Amarela com a concordância do Metrô. Eles afirmam que aquele trecho da linha amarela tinha de ser construído por um equipamento conhecido como "shield" (escudo, em tradução literal) ou TBM (Tunnel Boring Machine), o popular "tatuzão".

O edital do Metrô para a licitação também obrigava o vencedor a comprar dois "tatuzões". No entanto, o Consórcio Via Amarela, que ganhou a disputa, conseguiu mudar o edital e comprou um só.

O trecho que desabou estava sendo construído com uma técnica chamada NATM (New Austrian Tunneling Method ou Novo Método Austríaco para Abertura de Túneis). O NATM usa retroescavadeira e explosivos para perfurar as rochas.

"Para o trecho da Vila Sônia à Fradique Coutinho, o 'shield' era recomendado por causa do risco", disse Hori à **Folha**.

A área do acidente é complexa do ponto de vista geológico por causa do que ele chama de "estabilidade precária": "Aquele trecho do rio Pinheiros é uma região de várzea que foi urbanizada. Há sedimentos trazidos pelo rio, uma argila mole, areia, e só então a rocha. Há uma quantidade maior de solo ruim [para perfurar túneis] até chegar à rocha sã".

Os dois métodos têm prós e contras. A literatura técnica internacional tende a apontar o "tatuzão" como mais seguro que o NATM ou túnel mineiro (cuja origem é a mineração). Em contrapartida, é bem mais caro --a máquina que está sendo montada na avenida Brigadeiro Faria Lima para o trecho que irá daquela área à Luz custou cerca de R\$ 30 milhões, foi feita sob medida e não pode ser reutilizada em outra obra.

O NATM é mais barato. Os equipamentos (retroescavadeira, perfuratriz para furar a rocha que será explodida e bomba para concreto) não custam mais de R\$ 500 mil e são o maquinário básico das empreiteiras. O crítico é a segurança.

Para técnicos, método seguro de abertura de túneis vale o preço

21/01/2007 - 09h16 Roberto Pellim e Mario Cesar Carvalho da Folha de S.Paulo

O geólogo Adalberto Aurélio Azevedo estimou a diferença de preço dos dois métodos de abertura de túneis em seu doutorado. O metro linear do túnel aberto com "tatuzão" custa US\$ 13.875; com o NATM, o preço cai para US\$ 8.000.

O preço mais alto compensa porque a obra acaba antes, diz o engenheiro Ricardo Telles, secretário do Comitê Brasileiro de Túneis. O "shield" é mais seguro e dez vezes mais rápido do que o NATM", afirma. Segundo ele, a superioridade dessa tecnologia pode ser visualizada pelo seu emprego: há 27 "tatuzões" em uso em Xangai, dez em Madri e cinco em Caracas.

O autor do doutorado sobre a região que desmoronou é funcionário do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) e vai integrar a comissão que analisará para o governo paulista as causas

do acidente --por isso não pode se pronunciar sobre o acidente. A **Folha** conversou com o orientador do trabalho, Fabio Taioli, professor do Instituto de Geociências da USP.

"É uma decisão complexa escolher entre esses dois métodos, mas, em caso de acidente, o volume de terra que rompe com o TBM é menor. Em tese, o acidente com "tatuzão" seria mais restrito", diz Taioli.

Por ocupar uma área menor, o "tatuzão" pode provocar acidentes sem causar reflexos na superfície, como as rachaduras.

Segundo Taioli, a maioria dos túneis no mundo é construída pelo método NATM (túnel mineiro), mas a escolha é "sempre política". Para as finanças públicas, o NATM pode ser vantajoso porque possibilita a abertura de várias frentes simultâneas de trabalho.

Com o "tatuzão", pode-se usar duas máquinas no caso da linha 4, mas a sua montagem, extremamente complexa, poderia atrasar a obra: "É preciso analisar quanto custaria para a cidade o atraso do Metrô em seis meses", afirma Taioli.

Tarcísio Barreto Celestino, presidente do Comitê Brasileiro de Túneis e professor da USP em São Carlos, fez parte da banca, mas não concorda com a conclusão da tese.

"O trabalho tem muitos méritos, mas segue uma tendência internacional de privilegiar o TBM ["tatuzão"] sem enfatizar os problemas desse método. O TBM é uma indústria bilionária e consegue produzir uma literatura internacional que defende essa técnica", pondera Celestino. O TBM, segundo ele, teve problemas graves na cidade do Porto e em Cingapura.

Celestino diz que "não faz sentido" a afirmação de que não haveria problemas nas rochas se o túnel da linha 4 tivesse sido construído com TBM.

"O túnel da estação em que ocorreu o acidente teria de ser feito em NATM por causa do diâmetro de 20 metros", diz. Não faria sentido comprar a máquina de R\$ 30 milhões para escavar uma estação.

Outro lado

O Metrô foi contatado anteontem, mas não se manifestou sobre as críticas à troca do método construtivo em trecho da linha 4. A empresa só disse que "não houve mudança no projeto da estação Pinheiros", que segue a técnica original em NATM. A troca de "shield" para NATM ocorreu só no túnel da via que emboca na estação, e não na estação --nunca planejada com "tatuzão", inclusive por conta de seu diâmetro.

O Metrô diz que "as opiniões do senhor Kenzo Hori são de sua exclusiva responsabilidade" e que só irá se manifestar "após a conclusão do laudo do IPT".

Carlos Eduardo Moreira Maffei, consultor do Consórcio Via Amarela, enviou por escrito sua opinião sobre a discussão do método. Ele diz que os métodos NATM, "shield" ou vala a céu aberto "são adequados, desde que utilizados considerando os mais variados condicionantes, como extensão da obra, forma, dimensões e maciço a ser escavado".



A foto mostra uma visão superior da escavação, onde se pode perceber a área instável (contorno) que se movimentou, levando máquinas, equipamento e pessoas para baixo

AVALIAÇÃO POR PROFISSIONAIS ESPECIALIZADOS

Registro de uma seleção de algumas opiniões/reflexões de diversos profissionais especializados na área de Geotecnia, publicados pela Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – ABMS, nos primeiros dias após o acidente.

Os grifos (sublinhado) nos textos seguintes são de iniciativa e autoria do autor destas notas

Qualidade Tem Preço (e a falta dela também...).

Eng. Waldemar Hachich, Prof. Titular da Escola Politécnica da USP

Ex-Presidente e Conselheiro da ABMS, Vice-presidente da ISSMGE para a América do Sul

Será que os indivíduos que contratam obras por mínimo custo global, em regime "turn key", utilizam esse mesmo critério para escolher os cirurgiões que tratarão das suas mazelas cardíacas? Em diversas instâncias, decisões cruciais para a nossa Engenharia Civil vêm sendo tomadas, nos últimos anos, por "gestores", com seus reluzentes mestrados e doutorados em "business" em Harvard, Stanford, London Business School, MIT, FGV, na sua esmagadora maioria absolutamente jejunos quanto às especificidades técnicas da Engenharia Civil. Contratam "engenharia" da mesma forma que contratam, por exemplo, serviços terceirizados de limpeza. Tudo se resume à trivialidade do "business as usual". Gestores demais (e com remunerações pautadas pela área financeira), engenheiros civis de menos (e com remunerações de terceiro -- ou quarto! -- mundo). Em quase todas as decisões, excelência técnica viu-se subjugada pelo avassalador imperativo econômico-financeiro. Trabalhei, entre outras obras, na linha 1 (Santana- Jabaquara) do Metrô de São Paulo, na década de 70. Decisões de Engenharia eram então tomadas por engenheiros. Mais importante, a proprietária contratava, direta e independentemente, prospecções, projeto, empreiteiras e consultores. As inevitáveis (e saudáveis) discussões entre esses protagonistas da obra, cada qual com sua posição INDEPENDENTE, resultavam em melhor qualidade, mesmo frente a desafios então totalmente novos, como a escavação sob os edifícios da Rua Boa Vista, Pátio do Colégio, Caixa Econômica Federal, Palácio da Justiça, etc.). Seria ingênuo dizer que não houve acidentes, mas eram menos frequentes e menos graves do que aqueles que temos testemunhado nos últimos anos. Legislação (Lei 8666, por exemplo) e práticas contratuais ("turn key" por preço global mínimo, abrangendo prospecção, projeto, construção e monitoração) vêm sendo interpretadas e aplicadas, na contratação de serviços de Engenharia Civil, no sentido contrário ao da qualidade, no sentido de desvalorizar a excelência técnica. Há exemplos igualmente preocupantes em outras áreas. Alguém ainda se lembra da IATA e da época em que as tarifas aéreas mínimas eram estabelecidas por ela? Pois bem, desregulamentou-se tudo. E as estatísticas são inequívocas: aumentou o índice mundial de acidentes aéreos por horas voadas. Por que será? Não se pode simplesmente esperar que o "mercado" regule tudo. Claro que acabaria regulando: as companhias de seguro passariam a cobrar mais caro, as empreiteiras passariam a cobrar mais caro (mas continuariam forçando a minimização de gastos com investigações e projetos), os projetos iriam ficando mais e mais conservadores (por MEDO e por falta de recursos para os projetistas fazerem estudos DE FATO), a sociedade iria pagando cada vez mais... e continuaria sem nenhuma garantia de redução do número de acidentes. Essa meta exige valorização da excelência técnica, da QUALIDADE. E qualidade tem preço. É preciso conscientizar a sociedade para o fato de que esse preço é inferior ao preço da falta de qualidade, ao preço de acidentes, de desperdícios, de desmoralização de uma engenharia civil que já foi reconhecida internacionalmente como uma das melhores do mundo. Urge explorar as melhores formas de aplicação da legislação, com eventual revisão das práticas contratuais das obras públicas. Mas liminarmente impõe-se o COMPROMISSO SOLIDÁRIO dos profissionais e empresas de Engenharia Civil, suas associações e entidades de classe, com uma pauta de aderência estrita a critérios de qualidade.

Crônica de uma Morte Anunciada.

*Eng. Willy Lacerda, Professor Titular, Coppe - Universidade Federal do Rio Janeiro
Ex-Presidente e Conselheiro da ABMS*

O acidente foi anunciado. Pelo que se ouviu de funcionários da obra e de moradores, entrevistas pela radio e TV, os sinais precursores estavam todos lá. Não entrando no mérito do projeto (se estava certo ou errado), dos motivos que levaram a um outro procedimento de escavação (redução dos custos?), enfim, abstendo nos destes itens, temos como realidade palpável os dados da instrumentação, que indicam o que está acontecendo na obra, e alertam sobre possíveis “surpresas geológicas”. E o que faltou, parece-me, foi a ausência de um gerenciamento ágil e capaz de tomar providencias na hora certa. Onde estava a análise rápida dos dados de instrumentação? Onde estava o cuidado com a vida dos que moravam em cima do trajeto do túnel, que deveriam ter sido alertados e evacuados quando a velocidade de movimentos, certamente detectada pelos instrumentos, acelerou? Enfim, num país tropical, chuva não é mais argumento. Surpresa geológica não é argumento, pois a instrumentação alerta para este tipo de “surpresa”. Devemos prestar estes esclarecimentos à mídia, para que não fique pensando o público leigo que nós, geotécnicos, somos um bando de idiotas.

Acidentes: Deveria Ser Crime Culpar a Natureza.

*Geól. Álvaro Rodrigues dos Santos, Ex-Diretor de C&T da Secretaria de C&T do Est. S.Paulo;
Ex-Diretor de Planejamento e Gestão do IPT, Consultor em Geologia de Engenharia.*

Especialmente em épocas de chuva os acidentes em obras civis têm se multiplicado no país. Diga-se de passagem que essa é a ponta visível do *iceberg*, pois que os acidentes dos quais a sociedade acaba por tomar conhecimento são os de grande dimensão e visibilidade. Uma miríade de pequenos e médios acidentes acabam não transcendendo o anonimato do circunscrito ambiente de obra. E como sempre, sobram dos responsáveis pelos empreendimentos e até de autoridades públicas a eles relacionadas a rápida e cômoda justificativa: o acidente deveu-se à intensidade das chuvas e/ou a imprevistos geológicos. Não considerando aqui o crime implicado na clara intenção de ludibriar a sociedade, gostaria de me ater aos aspectos puramente técnicos relacionados a essas declarações e aos próprios acidentes. Na Engenharia há uma regra inexorável: se houve acidente, houve uma falha. Essa falha pode ser de diversas ordens: erros nas informações técnicas (dados de entrada) para o projeto, erros de projeto, erros no plano de obra, erros nos processos construtivos, deficiência em materiais empregados... A redução da margem de ocorrência de erros é uma meta que a boa Engenharia persegue com obstinação. E, ao lado de uma provada competência dos técnicos envolvidos, o maior instrumento para essa redução está na gestão técnica do empreendimento, desde a fase dos estudos preliminares até a entrega da obra acabada e seu futuro plano permanente de monitoramento técnico. No caso dos recentes acidentes da barragem de rejeitos de mineração da Rio Pombas em MG e da Linha 4 do Metrô na capital paulista, mais uma vez as chuvas e eventuais “imprevistos geológicos” estão sendo apontados como causadores dos problemas. As características e o histórico pluviométrico, assim como todas as informações sobre a geologia regional e local e seus desdobramentos geotécnicos são dados elementares de entrada para a concepção do projeto e para a escolha do plano de obra. Surpresas consideráveis só podem ser debitadas a falhas ocorridas nessa fase inicial de levantamento e recolhimento de informações. No caso da Geologia, até a probabilidade de se encontrar durante o andamento da obra alguma feição particular não anteriormente detectada deve obrigatoriamente ser considerada nos cuidados do plano de obra e dos processos construtivos, que, para tanto, devem sempre ser acompanhados por um eficiente serviço de monitoramento e investigações complementares. Particularmente no caso da Linha 4 do Metrô, a geologia e a hidrogeologia do local são por demais conhecidas e foram profusamente investigadas e nos estudos preliminares. Da mesma forma, não se pode a essas alturas alegar

dificuldades com as chuvas, uma vez que o regime pluviométrico da Capital é sobejamente conhecido. Ou seja, em defesa dos profissionais brasileiros em Hidrologia, Hidrogeologia, Geologia e Geotecnia, que colocaram o país em nível internacional de competência nessas áreas, e em defesa dos interesses maiores da sociedade brasileira, apelamos às autoridades públicas e privadas relacionadas a esses trágicos acidentes que não capitulem diante dos impulsos naturais em buscar explicações e justificativas que lhes eximam de alguma responsabilidade, e tenham a coragem de “colocar o dedo na ferida”, investigando criteriosamente o plano de gestão técnica dos empreendimentos afetados. Investiguem, por exemplo, as conseqüências de um eventual excesso de terceirizações dos mais variados tipos de serviços de engenharia.

A triste realidade.

Eng. Jarbas Milititsky, Prof. Titular da UFRGS, Porto Alegre.

Vice-Presidente e conselheiro da ABMS

Do capítulo final do livro "Patologia das Fundações" (*Editora de Textos, 2006*): Entretanto, considerando as obras correntes e a média da atividade profissional, observa-se o crescimento do número de patologias de fundações. Tal fato é decorrente de inúmeras causas e condições propícias, quais sejam: a) a proliferação de empresas de investigação do subsolo e de execução de fundações, muitas das quais sem a devida qualificação. Surgimento da prática da terceirização dos serviços por empresas não especializadas; b) o crescimento do número de profissionais envolvidos na definição do tipo, projeto ou fiscalização de fundações, sem experiência e o devido conhecimento dos fundamentos de geotecnia em aspectos referentes a caracterização do comportamento dos solos, transmissão de cargas e deformações do solo sob carga, efeito da execução de elementos profundos na massa de solo, além de aspectos específicos dos efeitos da execução dos trabalhos de engenharia nos prédios já existentes, ou desconhecimento do fato que existem condições em que o solo apresenta movimentos independentes das cargas aplicadas sobre o mesmo; c) crescimento das cargas, complexidade das mesmas e esbeltez/fragilidade das estruturas modernas; d) construções em áreas consideradas inadequadas no passado ou típicas de solos de baixa resistência; e) contratação de profissionais e empresas pelo menor preço, sem exigência de comprovação de competência e experiências compatíveis com o problema; f) licitação de obras sem projeto de engenharia completo, em que os proponentes apresentam, na forma de estudo preliminar ou ante-projeto, as soluções consideradas “padrão”. Ao serem contratadas as obras, os custos da solução ficam limitados ao valor da proposta e acabam, contrariamente à boa técnica e ao bom senso, condicionando a solução executada. g) desmonte de equipes técnicas de empresas públicas e privadas decorrentes da falta de investimentos em infra-estrutura e falta de renovação de quadros técnicos por longo período, tornando a avaliação de “soluções” impossível pela falta de competência instalada dos contratantes. Triste realidade, que a ABMS tem a obrigação de denunciar, fazendo um trabalho sério de valorização profissional.

A importância da instrumentação em obras de engenharia.

Eng. Álvaro de Freitas Viana, Rio de Janeiro

Diante dos acidentes de engenharia ocorridos nos últimos meses aqui no Brasil, observa-se, por um lado, a real situação técnica sob a qual se encontram as atuais obras civis e, por outro, o grande problema dos órgãos públicos em atuar de forma clara e eficiente na fiscalização destas obras. Barragens de rejeito, em Minas Gerais, taludes e encostas em estradas ou em locais habitados na Região Sudeste e, recentemente, as obras do metrô de São Paulo: todas elas resultaram em ocorrências catastróficas, com elevadas perdas sócio-econômico-ambientais e, principalmente, atingindo diretamente a vida de milhares de pessoas. Todavia, o que a sociedade brasileira não tem conhecimento é que ainda existem inúmeras outras obras espalhadas pelo país

sob sério risco de colapso, o que pode acarretar em conseqüências ainda mais trágicas. De fato, tudo isso poderia e ainda pode ser evitado. A importância de se instrumentar corretamente as obras de engenharia ou locais como estes já citados, com o objetivo de monitorar o seu comportamento estrutural ao longo de toda a sua vida útil, sempre se mostrou fundamental. O constante monitoramento de cargas, pressões, deformações, deslocamentos e temperatura dos principais elementos estruturais e do solo poderia prever, com razoável tempo de antecedência, situações como as que ocorreram ultimamente, alertando quando e em qual local determinadas medidas ultrapassassem certos limites. Com isso, planos de contingência poderiam ser executados imediatamente de forma a atuar no reforço e contenção destas estruturas, ou até mesmo no sentido de se evacuar áreas e retirar os operários em tempo, evitando assim acidentes como estes que ocorreram. Porém, infelizmente, não é isso o que se observa nos dias de hoje. A grande maioria dos últimos ocorridos surpreendeu a praticamente todas as partes envolvidas na questão, inclusive os responsáveis pela construção e fiscalização das obras – está mais do que provada a negligência destes profissionais. Não se pode admitir que obras ou locais desta magnitude, e com os seus potenciais riscos associados, não possuam qualquer tipo de monitoramento estrutural ou do solo, sobretudo nas regiões mais críticas. Isto ao se levar em conta, principalmente, a grande variedade e disponibilidade de instrumentos capazes de realizar os mais diversos tipos de medição, cada um com suas especificações técnicas e desempenho frente a determinadas situações. Destaca-se aqui que, atualmente, é possível monitorar obras de engenharia ou comportamento do solo com a utilização de uma das mais avançadas tecnologias existentes no mercado, que é a fibra óptica. E o mais importante é que esta tecnologia vem sendo desenvolvida e comercializada aqui no Brasil. Os sensores a fibra óptica são capazes de executar medições em locais com altos índices de interferências eletromagnéticas e elevado risco de explosão, o que os tornam ideais para atuar em ambientes agressivos. Além disso, possuem vantagens relacionadas à longa distância de transmissão de dados (até 20km) e alta precisão nas medições. Ademais, com toda a tecnologia envolvida, há a possibilidade de se conectar o sistema de monitoramento em uma rede virtual (internet), de forma que qualquer parte interessada na obra ou no monitoramento do solo – sejam os engenheiros responsáveis, sejam os órgãos fiscalizadores – possa acompanhar, em tempo real, as medições realizadas. Isto certamente traria maior agilidade às questões que antecedem uma catástrofe, trazendo assim maior segurança à sociedade, ao meio ambiente, e aos recursos financeiros empenhados – que muitas vezes são públicos. Portanto, é inadmissível que situações como estas ainda venham a ocorrer. A engenharia de hoje tem disponível inúmeros recursos tecnológicos capazes de fazer com que suas obras sejam as mais seguras possíveis. No entanto, para isso, é preciso que eles sejam mais bem aproveitados. Ou a engenharia brasileira resolve adentrar realmente no século XXI, ou teremos muito mais problemas daqui para frente.

Aos Engenheiros do Futuro:

Eng. Ricardo Wagner Reis Duarte, Escola de Engenharia Kennedy - BH-MG

Sócio ABMS, NRMG

QUESTÃO ÚNICA:

Para construir obras de engenharia são necessárias três coisas fundamentalmente importantes:

1. Engenharia;
2. Engenharia;
3. Engenharia.

Sobre o acidente, uma autoridade disse na mídia (TV): "Em algum momento **falhou** a Engenharia" Assinale a alternativa correta:

- a. () Em algum momento **falhou** a Engenharia.
- b. () Em algum momento **faltou** Engenharia.
- c. () N.D.A. Por quê?

Nota CBT Final: 24 / jan / 2006

ACIDENTE NAS OBRAS DA ESTAÇÃO PINHEIROS DO METRÔ DE SÃO PAULO NOTA DO COMITÊ BRASILEIRO DE TÚNEIS (CBT - ABMS)

1. O Comitê Brasileiro de Túneis (CBT), que integra a ABMS (Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica), lamenta profundamente o acidente ocorrido nas obras da Estação Pinheiros, Linha 4 (Amarela) do Metrô de São Paulo, no dia 12 de janeiro de 2007. Em primeiro lugar e acima de qualquer outra consideração, o CBT expressa sua solidariedade a todos aqueles diretamente afetados pelas conseqüências desse acidente.
2. Ao longo da última semana, o CBT não poupou esforços para esclarecer a população e a comunidade técnica, manifestando-se por meio de inúmeras entrevistas à imprensa sobre os diferentes temas relacionados ao acidente e à engenharia de túneis em geral, concedidas por seus diretores e conselheiros.
3. Em tais esclarecimentos, o CBT evitou especulações. Limitou-se a apresentar os fatos relativos à seqüência do acidente, às características de obras subterrâneas em meios urbanos, a oferecer exemplos e lições de acidentes já ocorridos em outros países e a estabelecer comparações entre métodos construtivos. Em relação à determinação das causas do acidente, o CBT entende que esta é uma tarefa complexa e de grande responsabilidade, que exige o conhecimento de dados e informações somente disponíveis após estudo detalhado do material técnico. Ressalte-se que tal investigação está a cargo de uma comissão de técnicos especialmente designada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) do Estado de São Paulo, a quem o CBT apóia com firmeza por acreditar na capacitação técnica e na qualificação ética de seus integrantes e da instituição.
4. Quanto às hipóteses veiculadas na imprensa de que teria sido errada a opção por uma obra subterrânea no trecho em que ocorreu o acidente, o CBT reafirma que a engenharia brasileira de túneis dispõe de tecnologias capazes de executar obras subterrâneas em quaisquer ambientes geológicos e urbanos, mesmo num trecho de geologia complexa como aquele. Provas disso são os outros túneis já construídos em geologias similares e sob o próprio Rio Pinheiros em São Paulo. Não há, portanto, nada de errado com a solução subterrânea adotada para o local.
5. É importante ressaltar, da mesma forma, que o método construtivo adotado para a Estação Pinheiros – o NATM ou método de escavação seqüencial – é normalmente aplicado a obras executadas em condições geológicas similares. Ainda como esclarecimento, vale ressaltar que a tecnologia de escavação mecanizada por meio de tuneladoras está limitada a diâmetros da ordem de 12 metros para maciços rochosos como é o caso do local do acidente. Não é possível, portanto, fazer uso dessa tecnologia na escavação de túneis com as dimensões da Estação Pinheiros.
6. O CBT reafirma mais uma vez a sua confiança na capacidade da engenharia brasileira em executar uma obra desse porte, diante de tais condições geológicas, em meio urbano. Para atestar a força de nossa engenharia basta que se recorra aos exemplos bem sucedidos de obras subterrâneas registradas no livro “Túneis do Brasil”, recém-lançado pelo CBT e que apresenta os 120 principais túneis construídos no país desde meados do século XIX. O CBT solidariza-se neste momento difícil com todos os segmentos da engenharia brasileira de construção civil (projetistas, construtores, fornecedores de equipamentos, prestadores de serviços, planejadores e pesquisadores). Tal postura não significa ignorar, minimizar ou desmerecer os acidentes já ocorridos em obras subterrâneas no Brasil e no mundo, especialmente quando envolvem a perda de vidas humanas. Embora raros, eles são ricos em ensinamentos e levam à adoção de técnicas e práticas mais aprimoradas e seguras por parte da moderna engenharia de túneis.
7. Quanto à análise da modalidade contratual adotada (turn-key), o CBT acredita que se deve discutir com serenidade as diversas alternativas de relacionamento técnico entre as partes envolvidas, a exemplo do que já ocorre em vários países do mundo. O CBT entende, no entanto, ser prematuro abrir agora este debate para o caso das obras da Linha Amarela-4 antes que seja concluído e apresentado o trabalho do IPT relativo à identificação das causas do acidente.

8. O CBT-ABMS acredita por fim que o trabalho de esclarecimento responsável desse acidente deverá resultar em lições valiosas para a engenharia de túneis, gerando aprimoramentos técnicos e de segurança que vão reforçar o papel e a importância das obras subterrâneas para o país e a população brasileira.

Apresentadas estas informações a respeito do acidente nas obras da futura estação Pinheiros da linha 4 do metrô, na zona oeste de São Paulo, ressalta-se o fato de se tratar de dados e/ou impressões muito preliminares, visto que o Laudo Técnico que apontará as devidas causas do ocorrido ainda não tinha sido divulgado até a presente data.

Estas notas de aula foram encerradas em 05 de Fevereiro de 2007, com o registro de uma última foto e o convite para uma permanente reflexão sobre o “comportamento geotécnico das obras de terra em geral”.

