



# Tendências e Desafios da Engenharia de Túneis como Soluções de Infraestrutura

**Prof. André P. Assis, PhD**  
(UnB / ABMS)

**56 CBC / Simpósio de Infraestrutura**  
**Natal, 08 outubro de 2014**



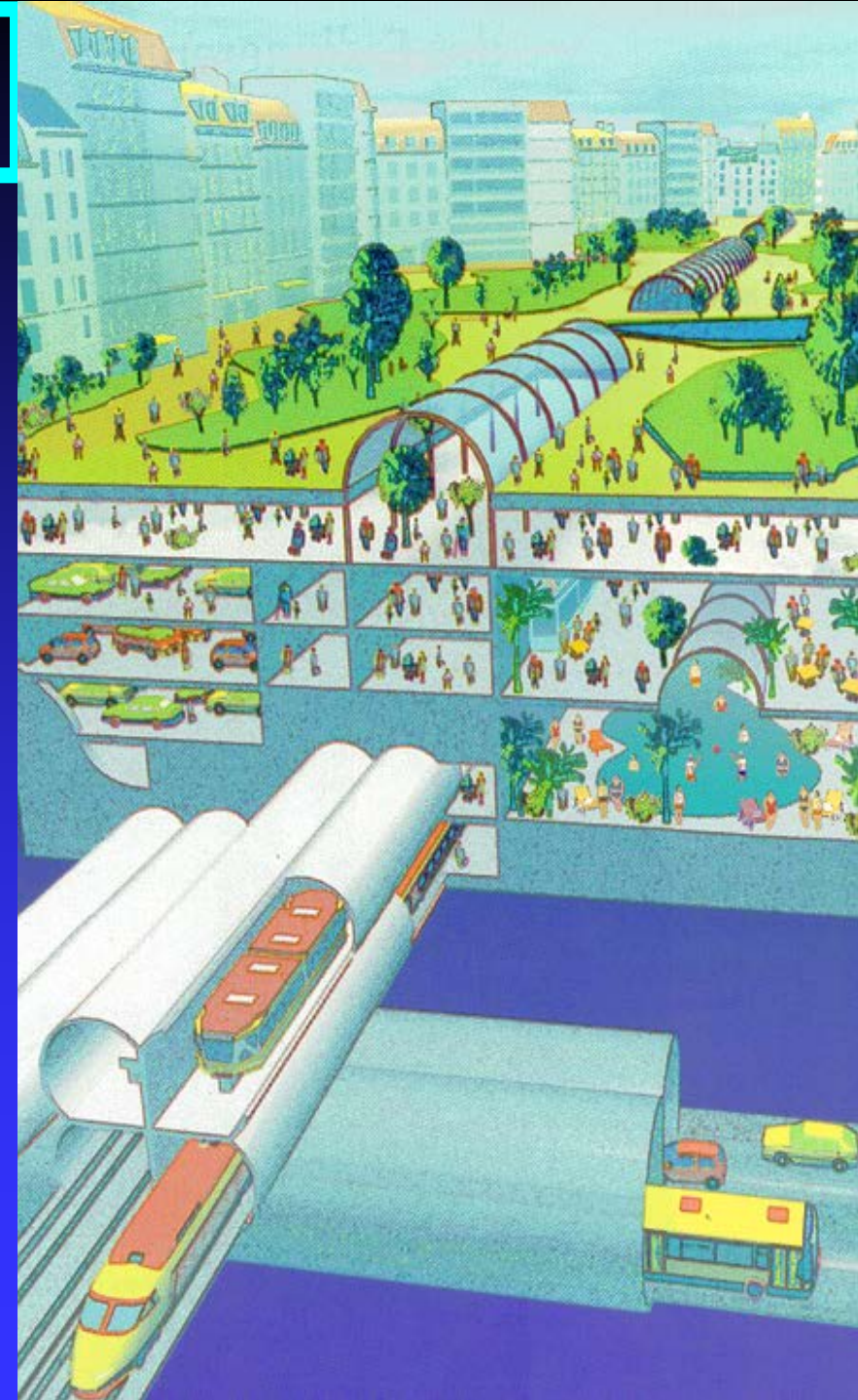
# Tendências e Desafios da Engenharia de Túneis como Soluções de Infraestrutura



- **Introdução**
- **Demanda e Uso do Espaço Subterrâneo**
- **Tendências e Inovações nos Métodos Construtivos de Túneis**
- **Desafios da Engenharia de Túneis**
- **Considerações Finais**

# Introdução

- Aumento da população urbana → **Mobilidade e Armazenamento**
- Era Ambiental (após 1960)
- Tecnologia





# Avanços da Engenharia de Túneis

- **Melhor Entendimento do Comportamento**
  - ◆ Controle de recalques e deslocamentos
  - ◆ Avaliação de danos induzidos
- **Avanços Tecnológicos**
  - ◆ Obras mais seguras, baratas e construídas em menor tempo
- **Nova Geração de Tuneladoras (face pressurizada)**
  - ◆ Uso em locais antes considerados inapropriados
  - ◆ Industrialização do processo construtivo



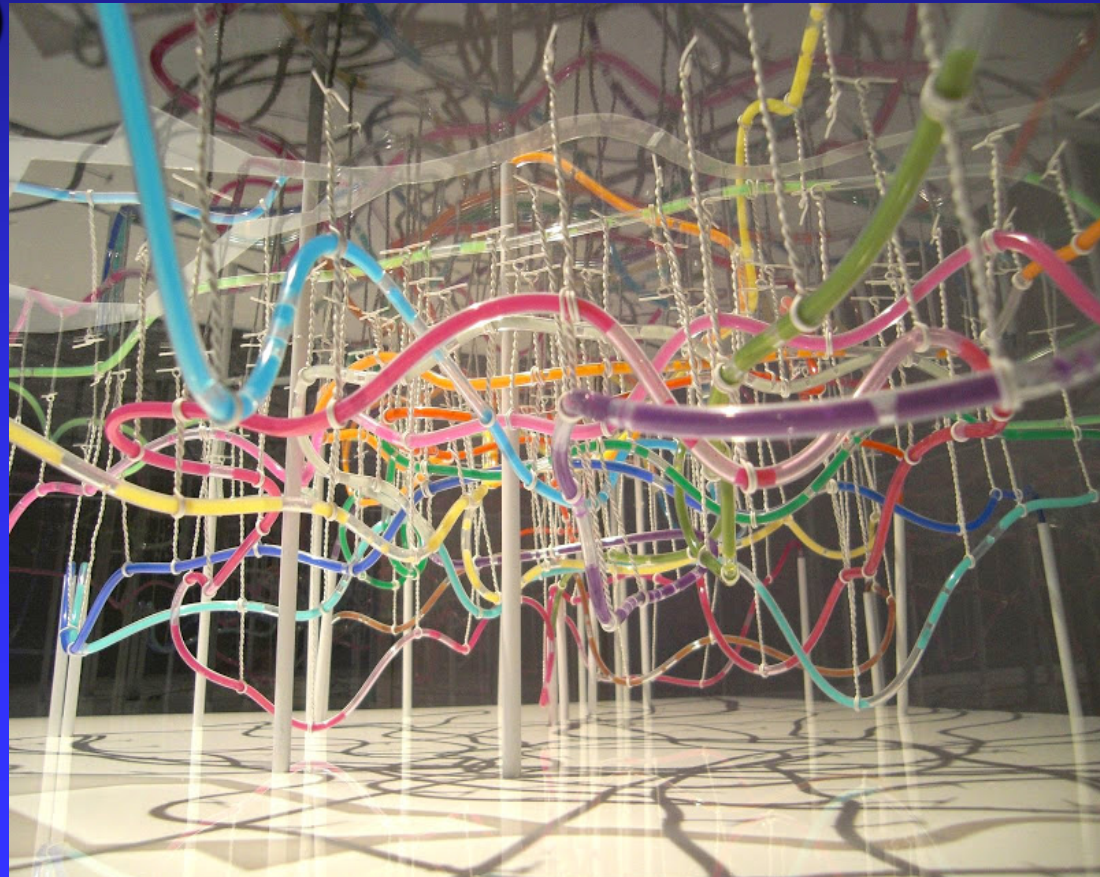
# **Demanda e Uso do Espaço Subterrâneo → Mobilidade e Armazenamento**

- **Transporte de Massa e Vias Expressas**
- **Utilidades Públicas e Controle de Enchentes**
- **Revitalização de Áreas Urbanas Centrais**
- **Túneis Interurbanos Longos e Profundos**

# Transporte de Massa e Vias Expressas

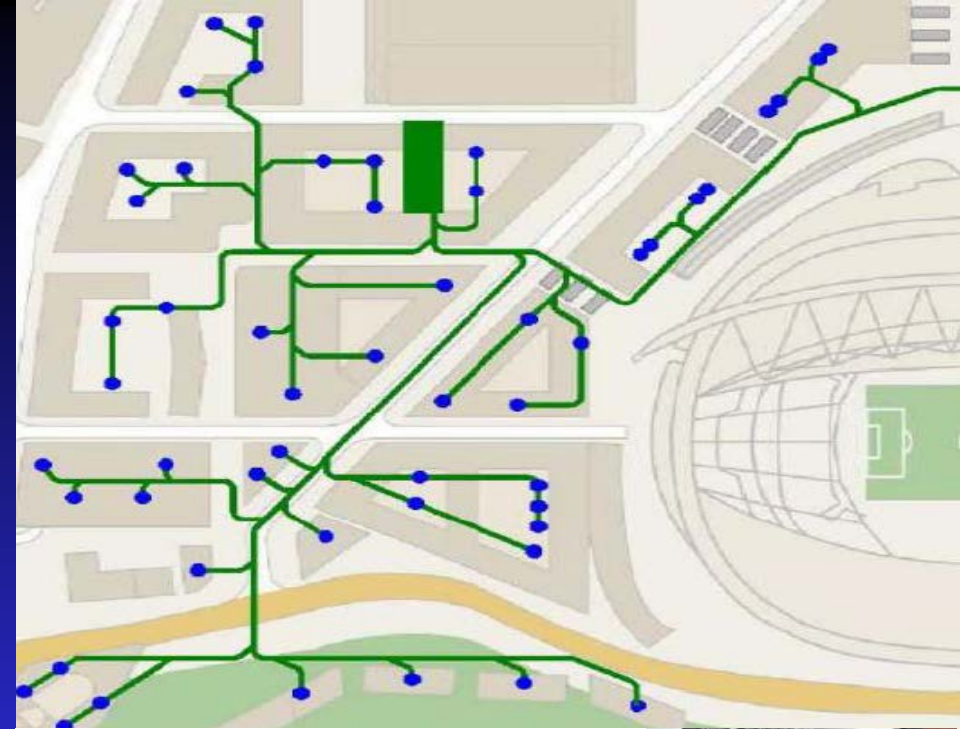
## Metrô

- 168 cidades (55 países)
- Seul (a maior rede)
- Tóquio (o mais movimentado)
- Brasil (9 cidades)



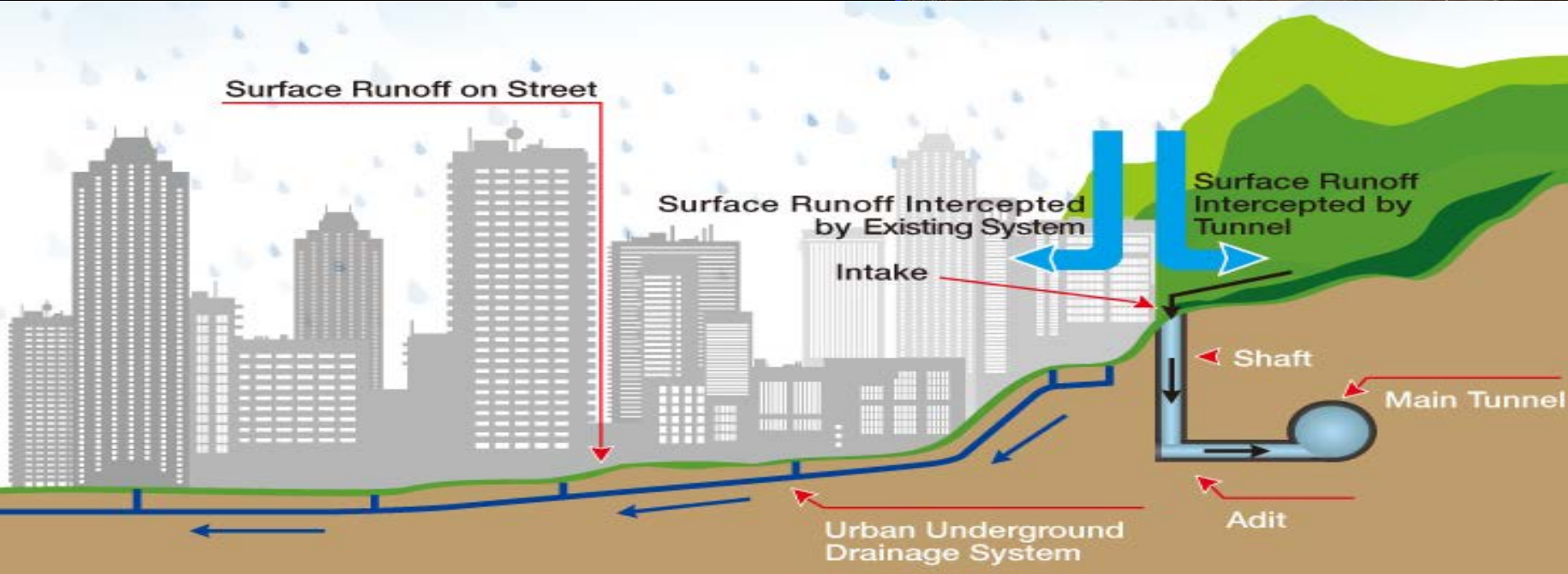
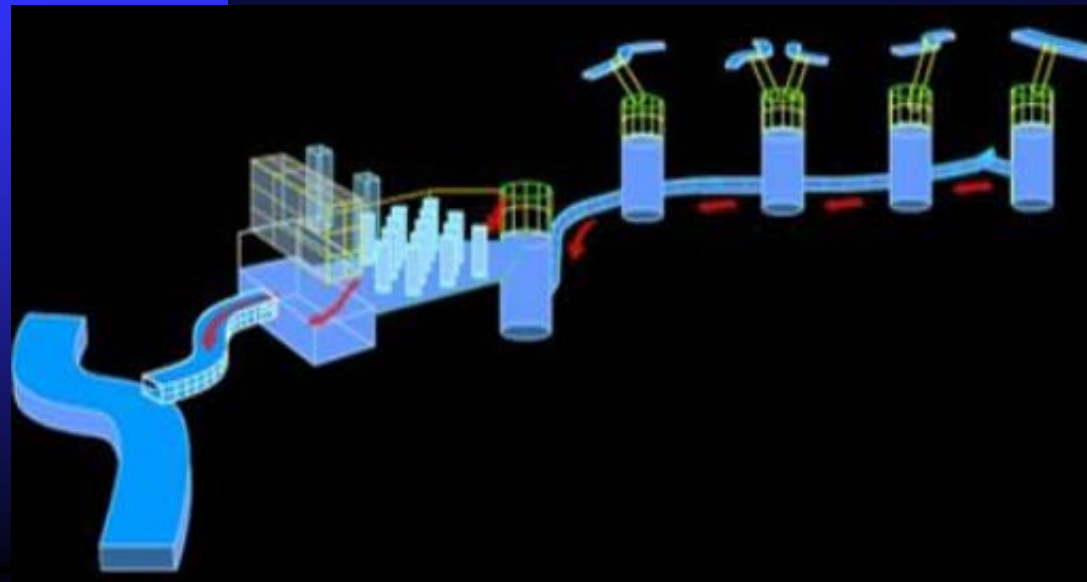


# Redes de Utilidades Públicas

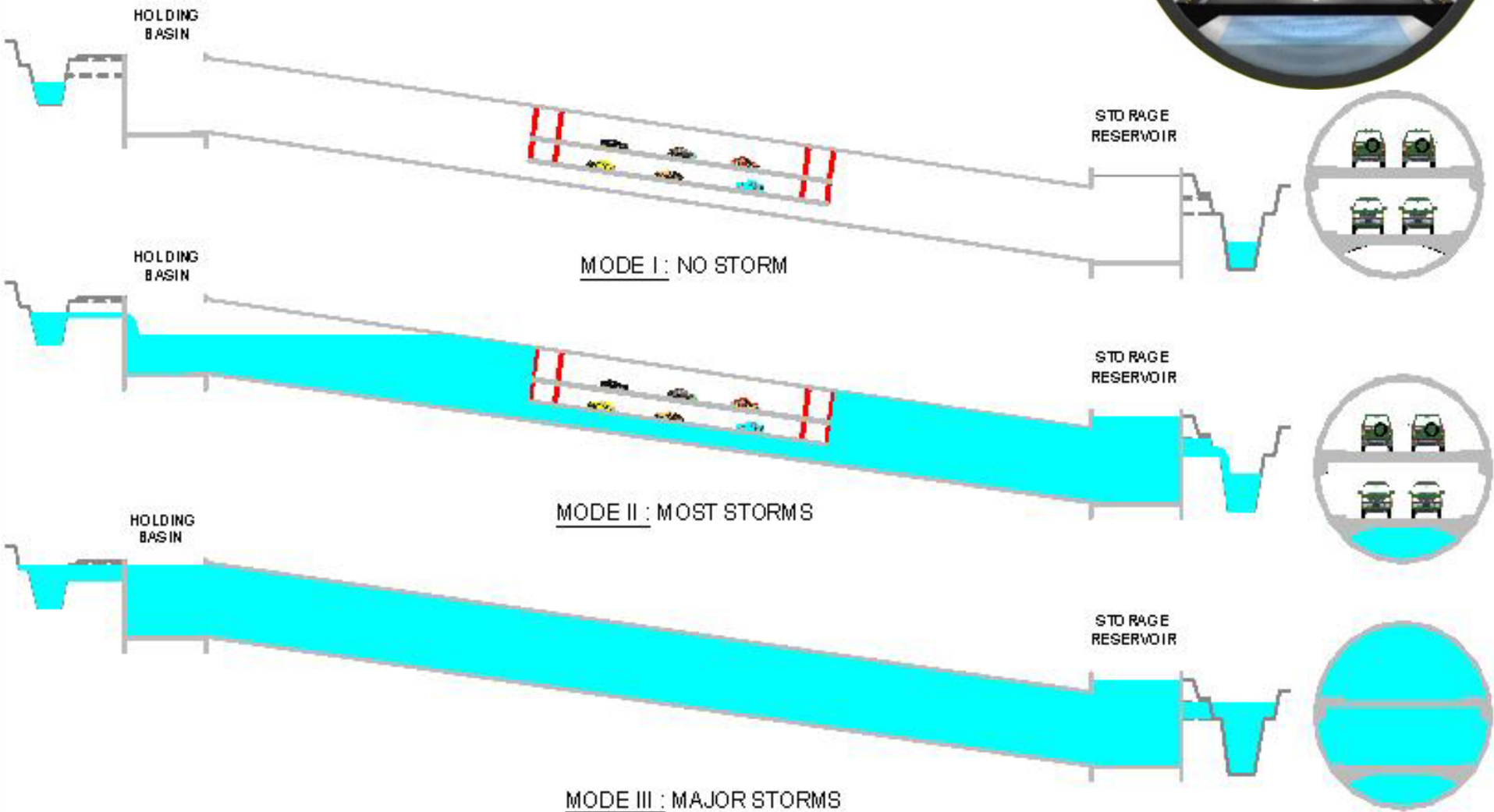




# Túneis para Controle de Enchentes



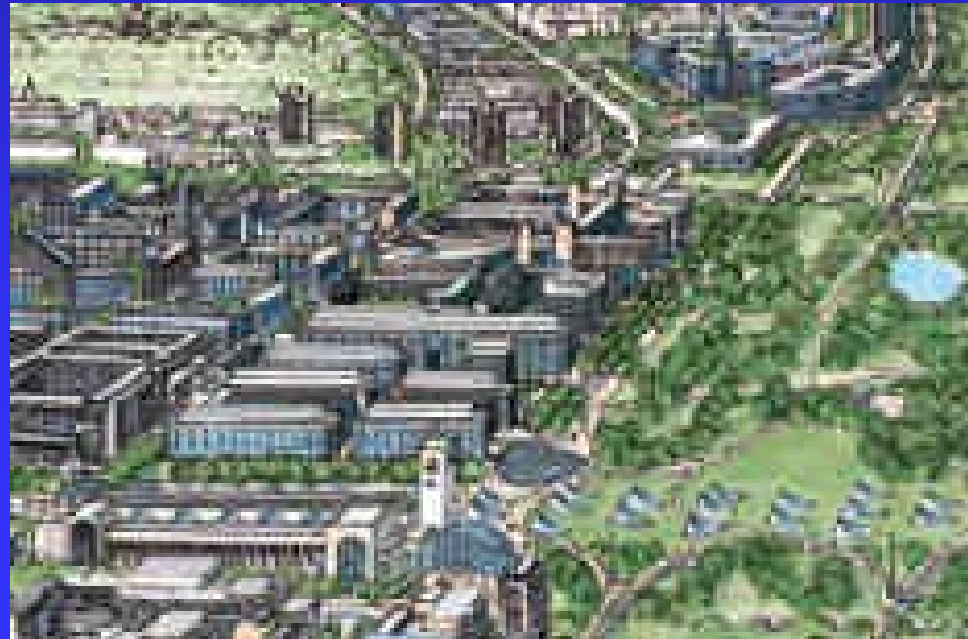
# Túnel Multifuncional de Kuala Lumpur (Malásia)





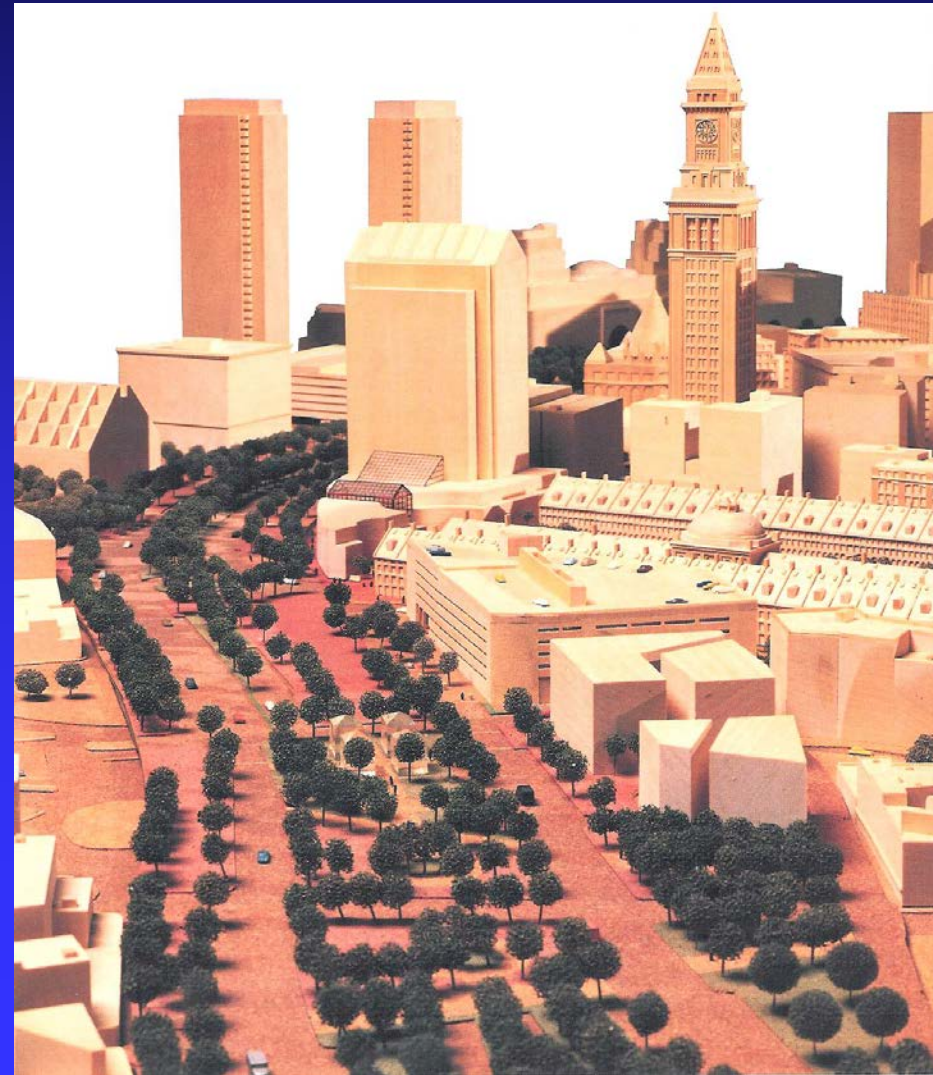


# Revitalização de Centros Urbanos





# Artéria Central de Boston (EUA)



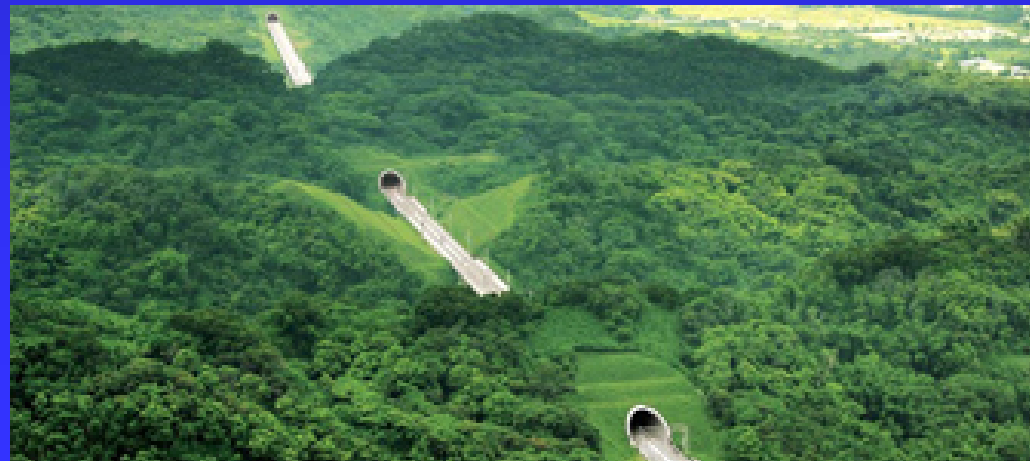


# Projeto Porto Maravilha do Rio



# Túneis para Trens de Alta Velocidade

- **Conceito de TAVs envolve economia de energia e tempo**
- **Restrições de alinhamento e greide requer obras de arte (túneis e viadutos)**



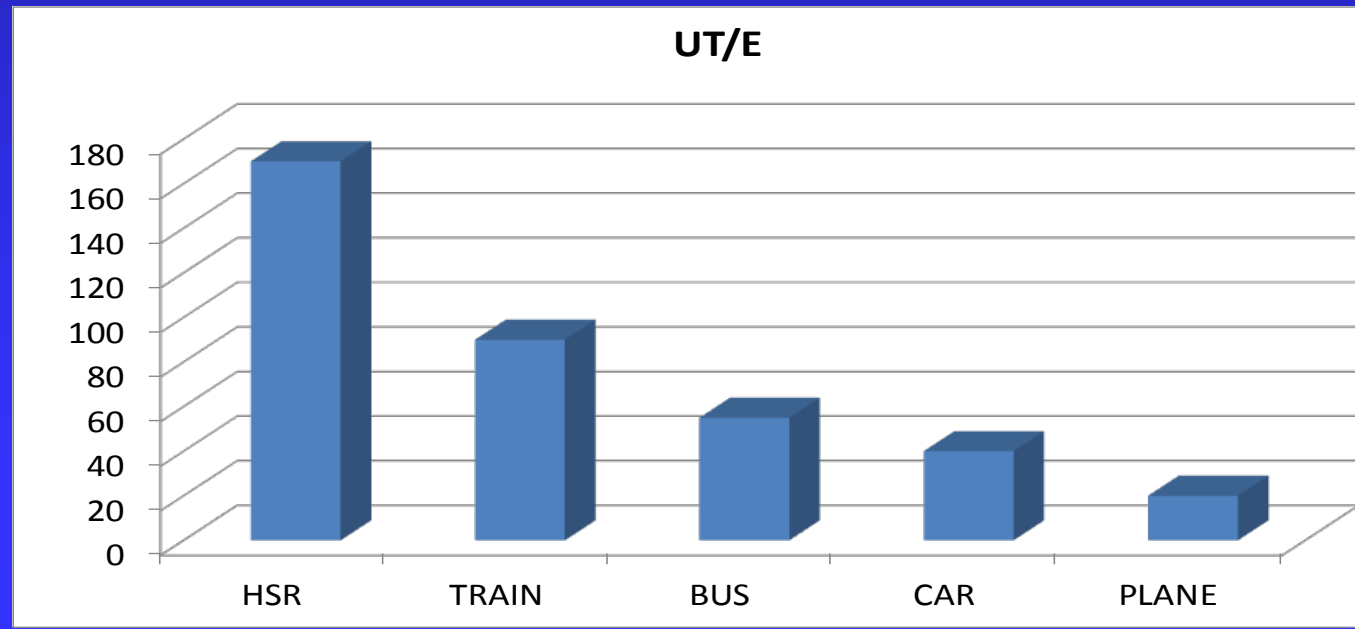


# TAV

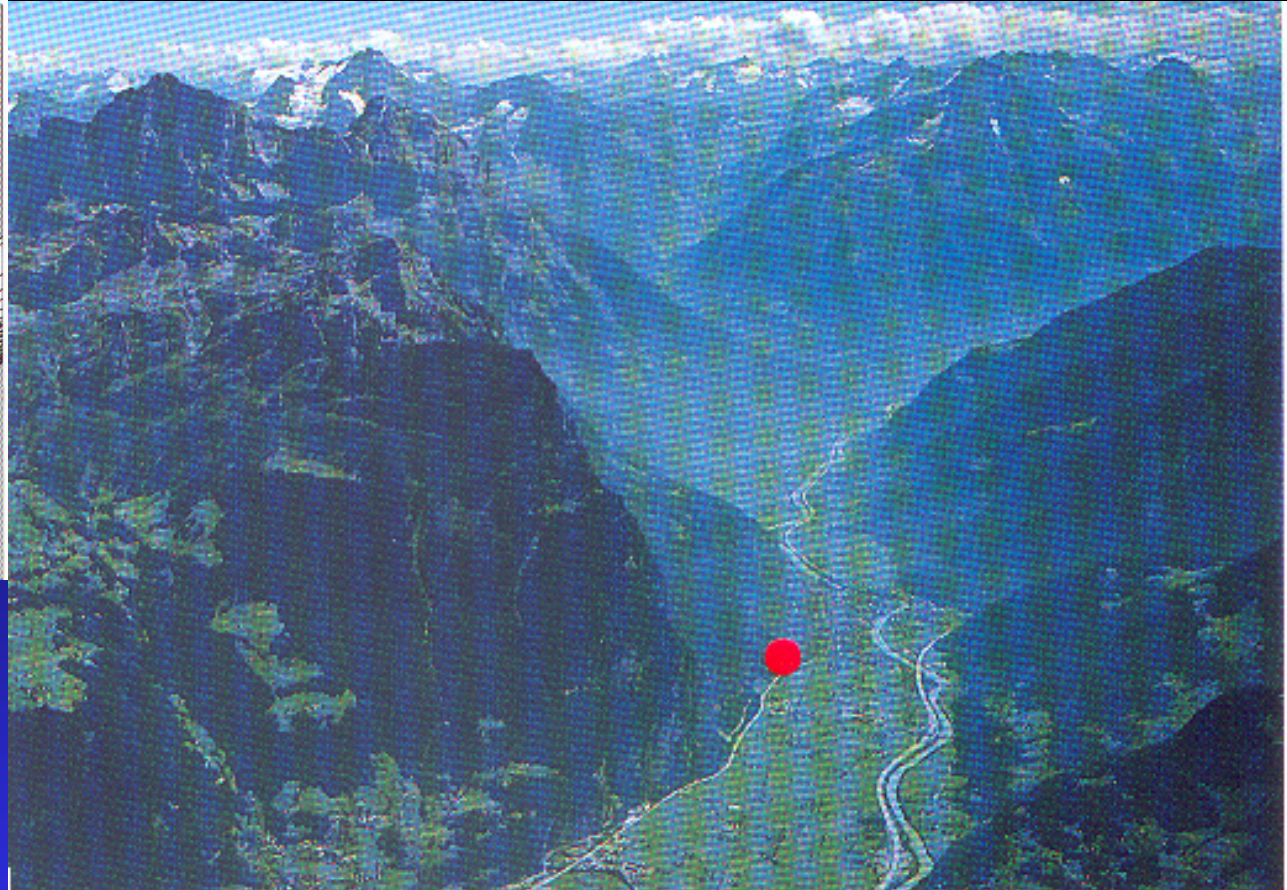
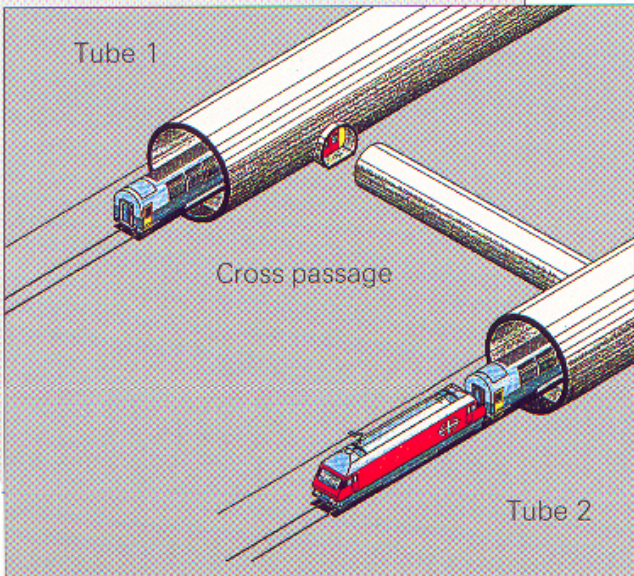


- Atualmente predominante na Europa e Ásia
- 21000 km em operação (10000 km na China) and 30000 km em planejamento e construção
- Extremamente eficiente em termos de energia

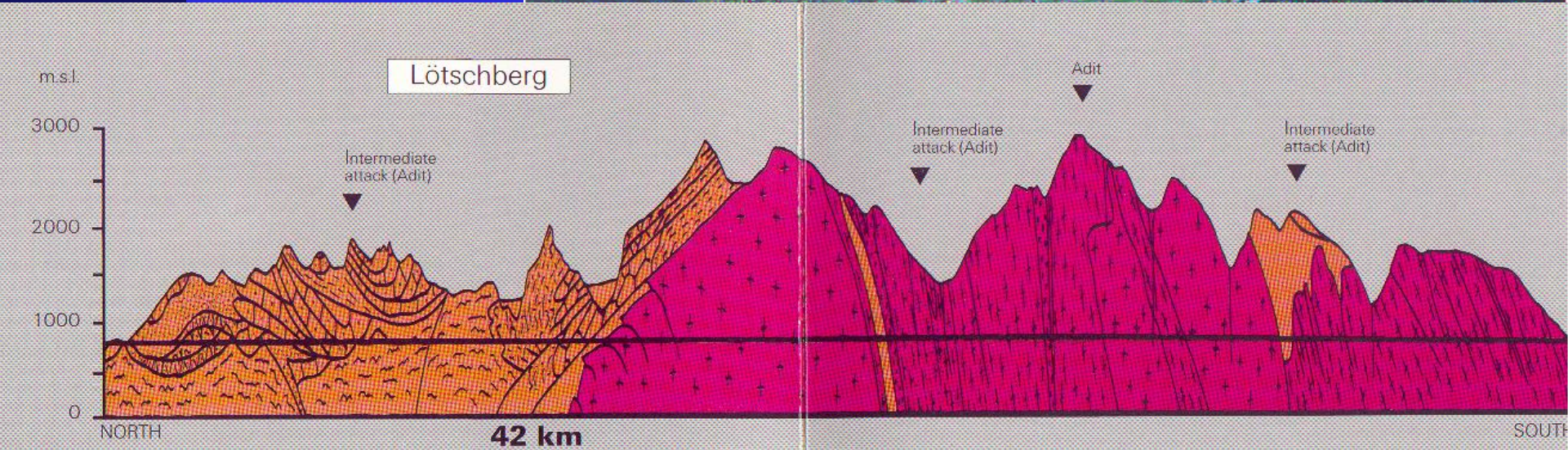
**Economia na  
emissão de  
carbono =  
75-98%**





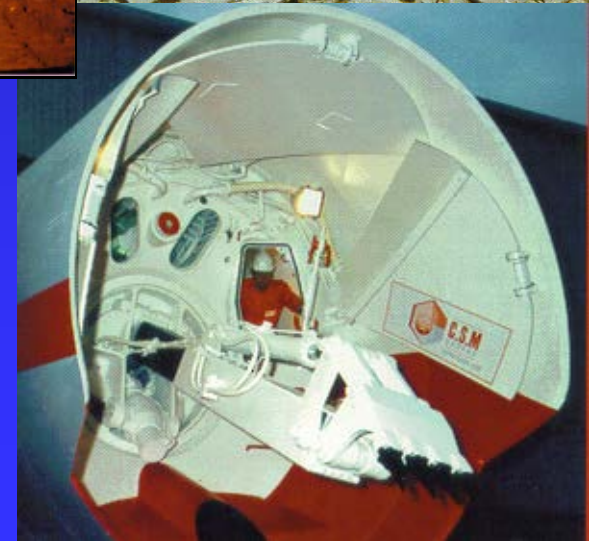


# Túneis de Base





# Tendências e Inovações Tecnológicas na Engenharia de Túneis



# Métodos Construtivos de Túneis

**"Cut-and-Cover"  
(Vala Recoberta)**

**Convencional**

**Túneis Submerso**

**Métodos  
Tuneleiros**

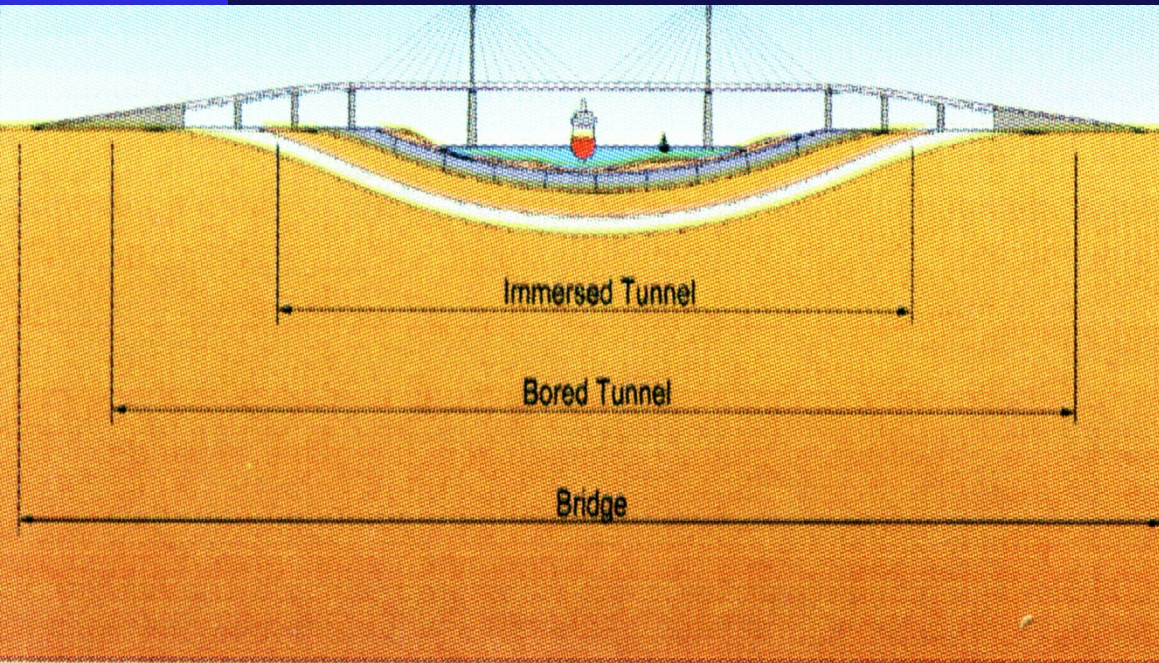
**Mini-Túneis**

**Tuneladoras**

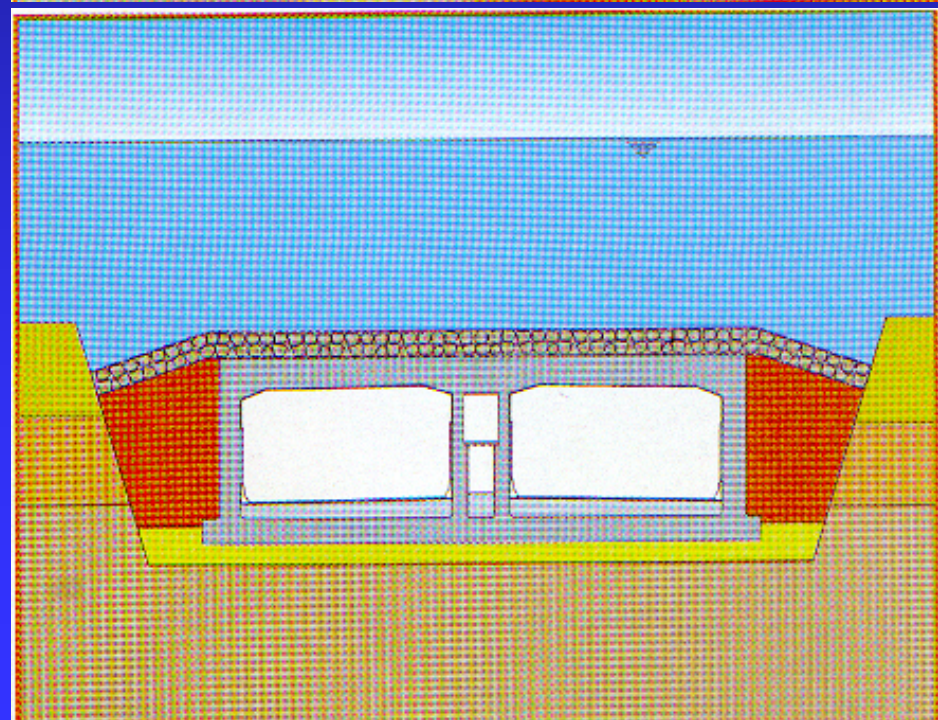
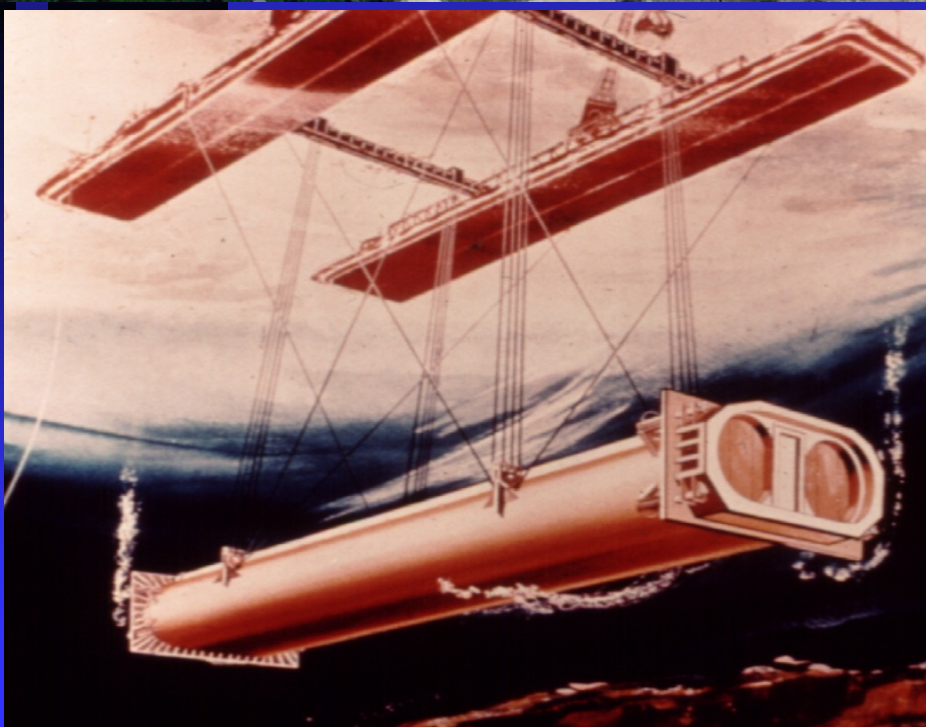
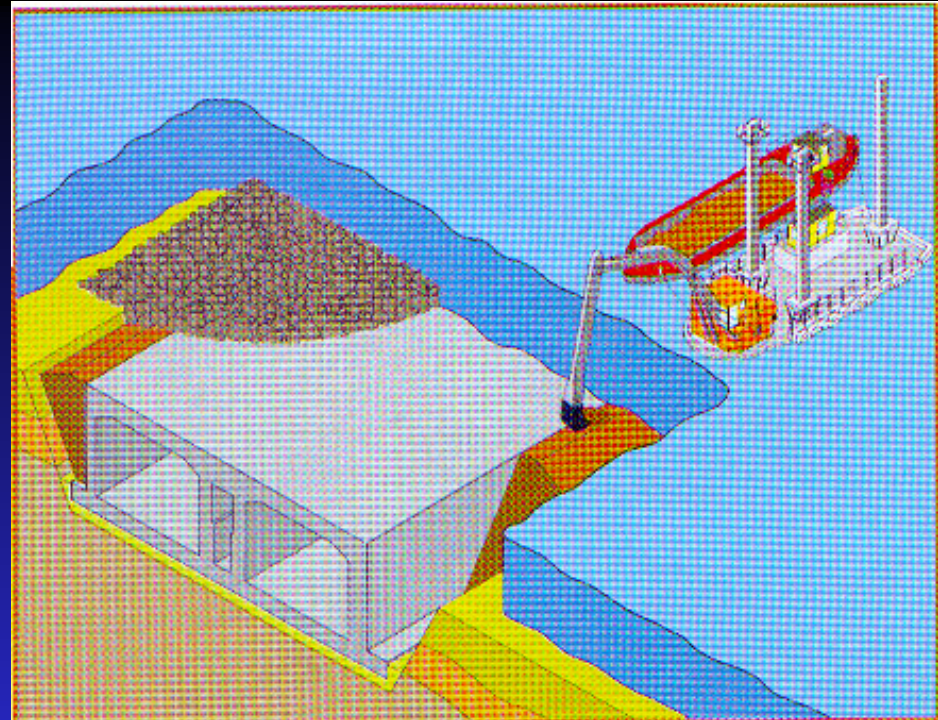
**Escavação Sequencial**



# Túneis Submersos

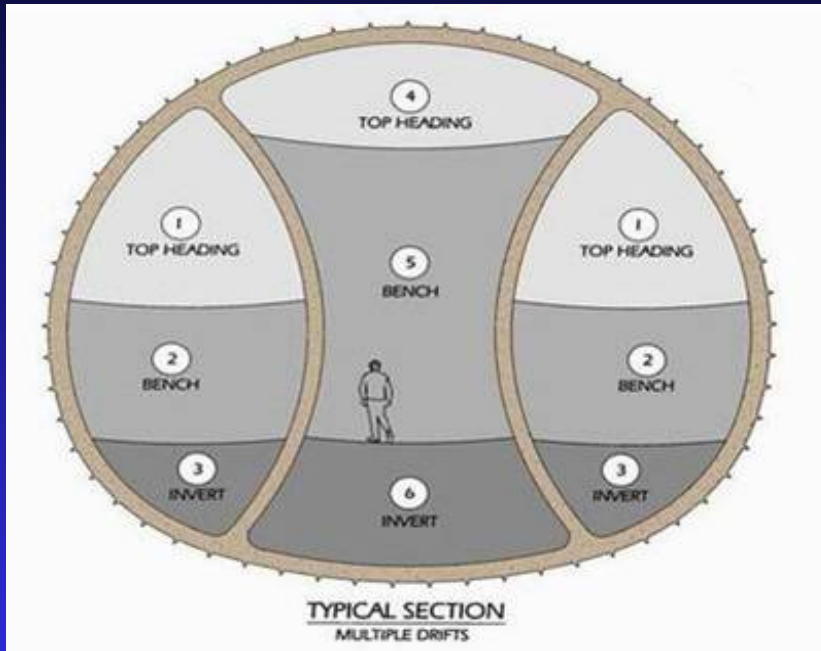




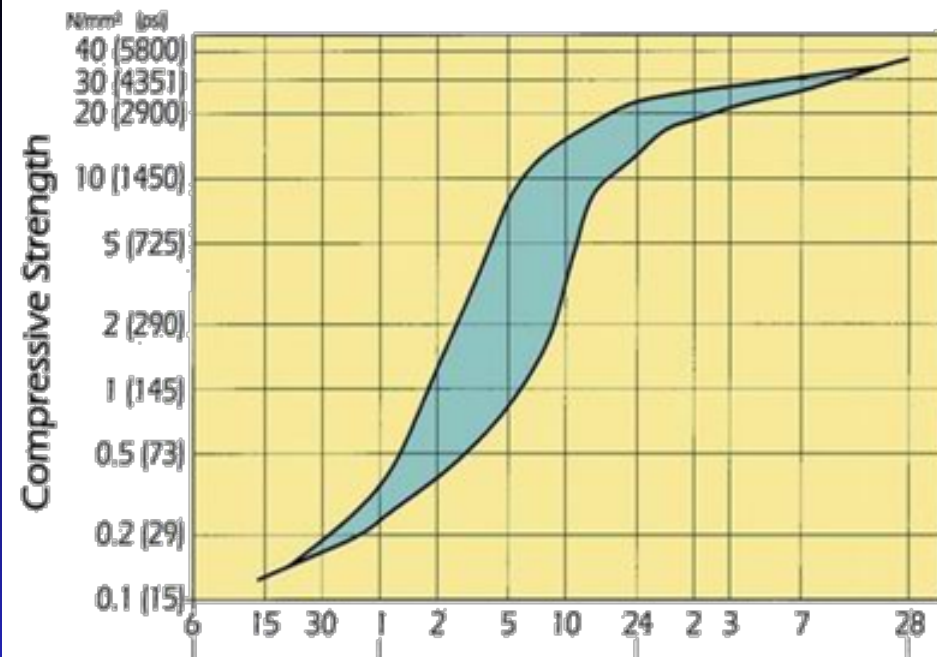




# Método da Escavação Sequencial



# Concreto Projetado



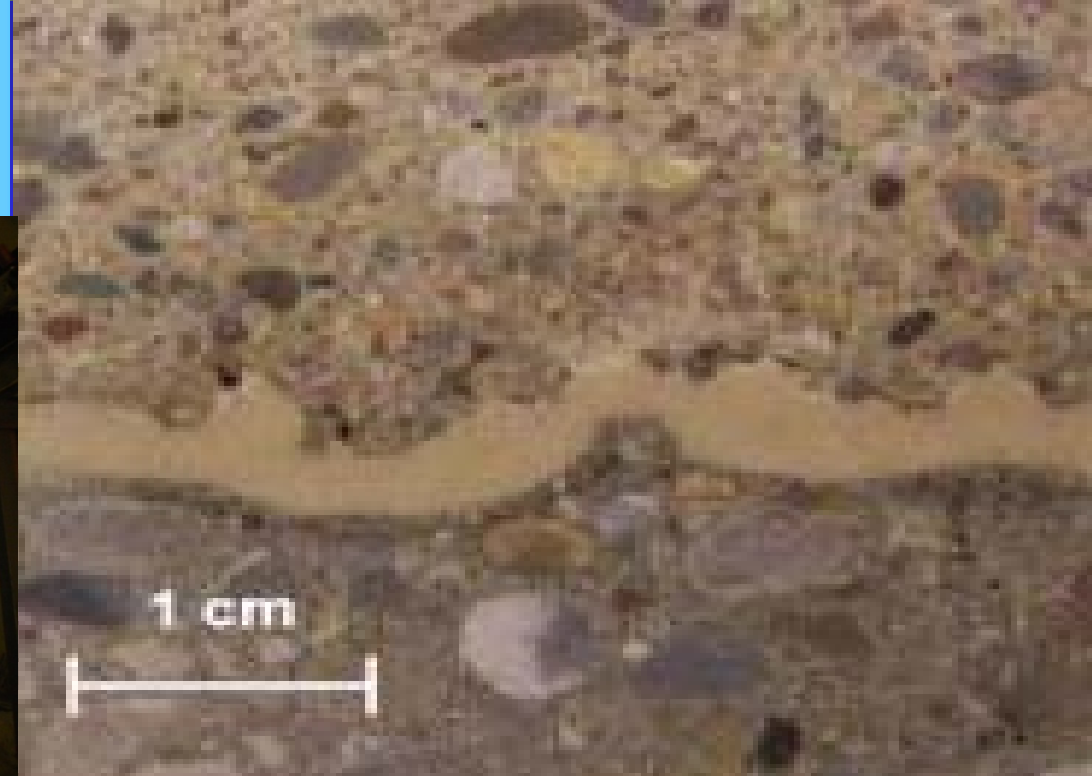
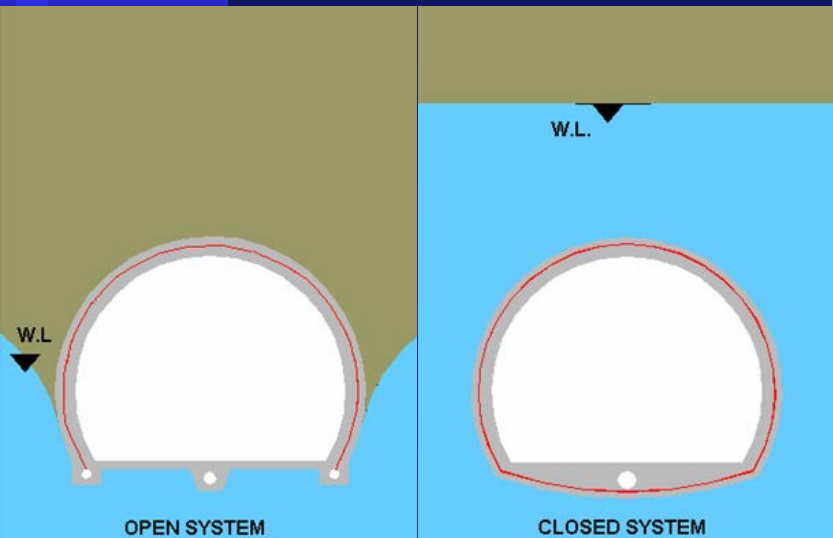


# Fibras Metálicas e Sintéticas

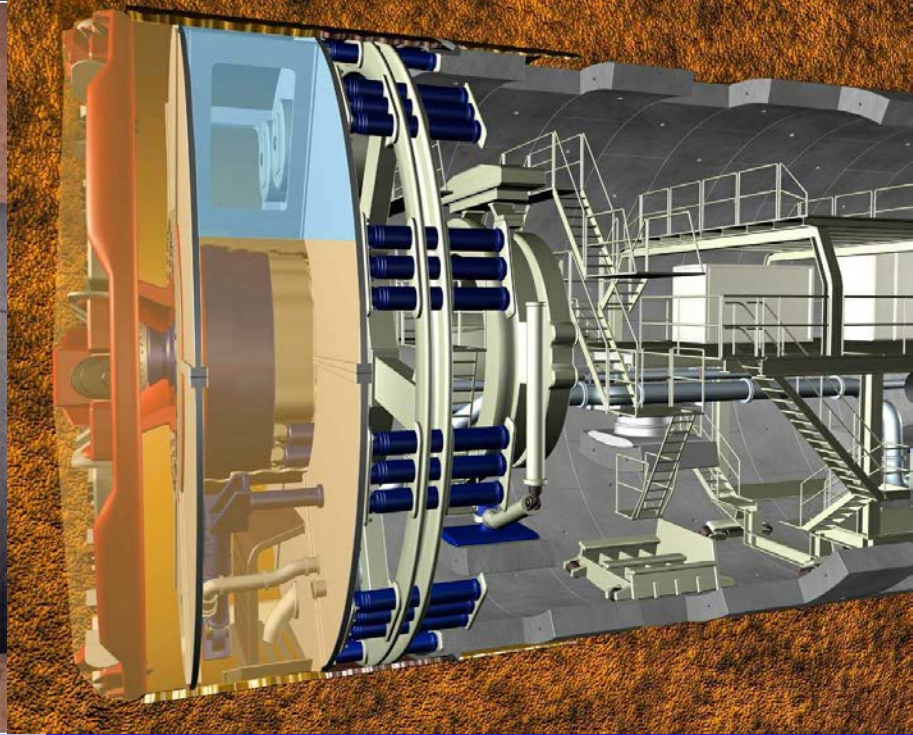
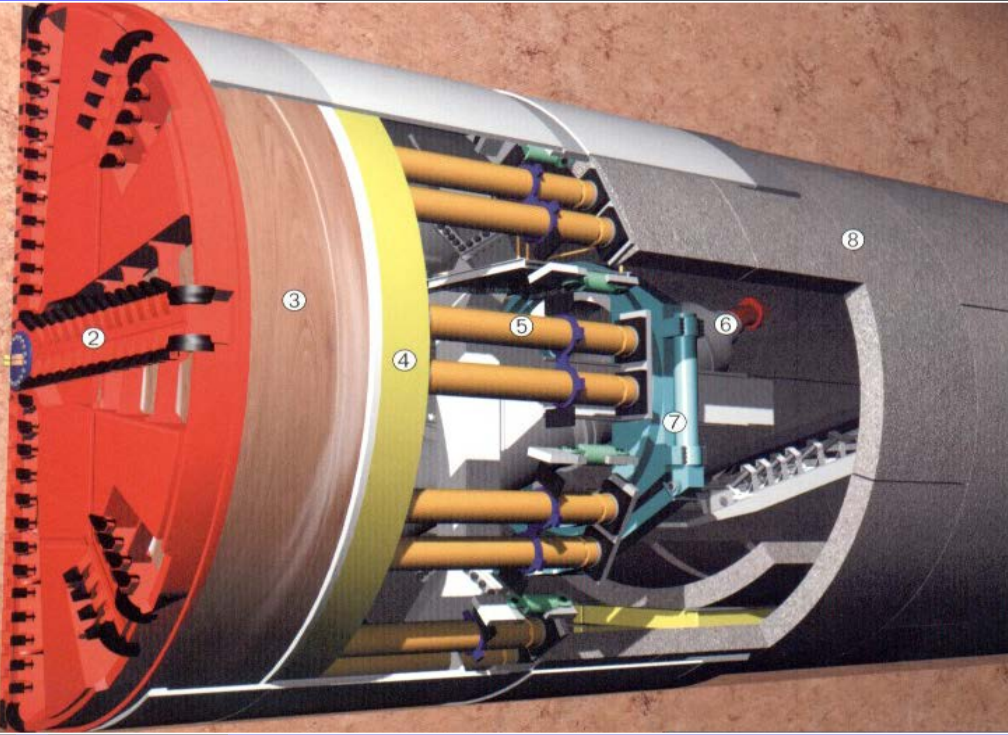




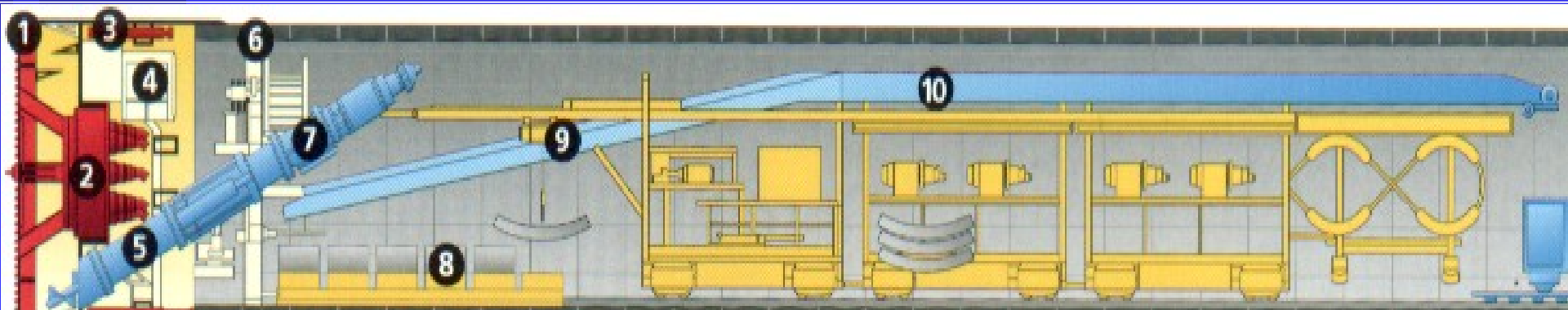
# Membrana Impermeável







# Tuneladora de Frente Pressurizada





TBM Aberta (Gripper)



TBM Escudo Duplo



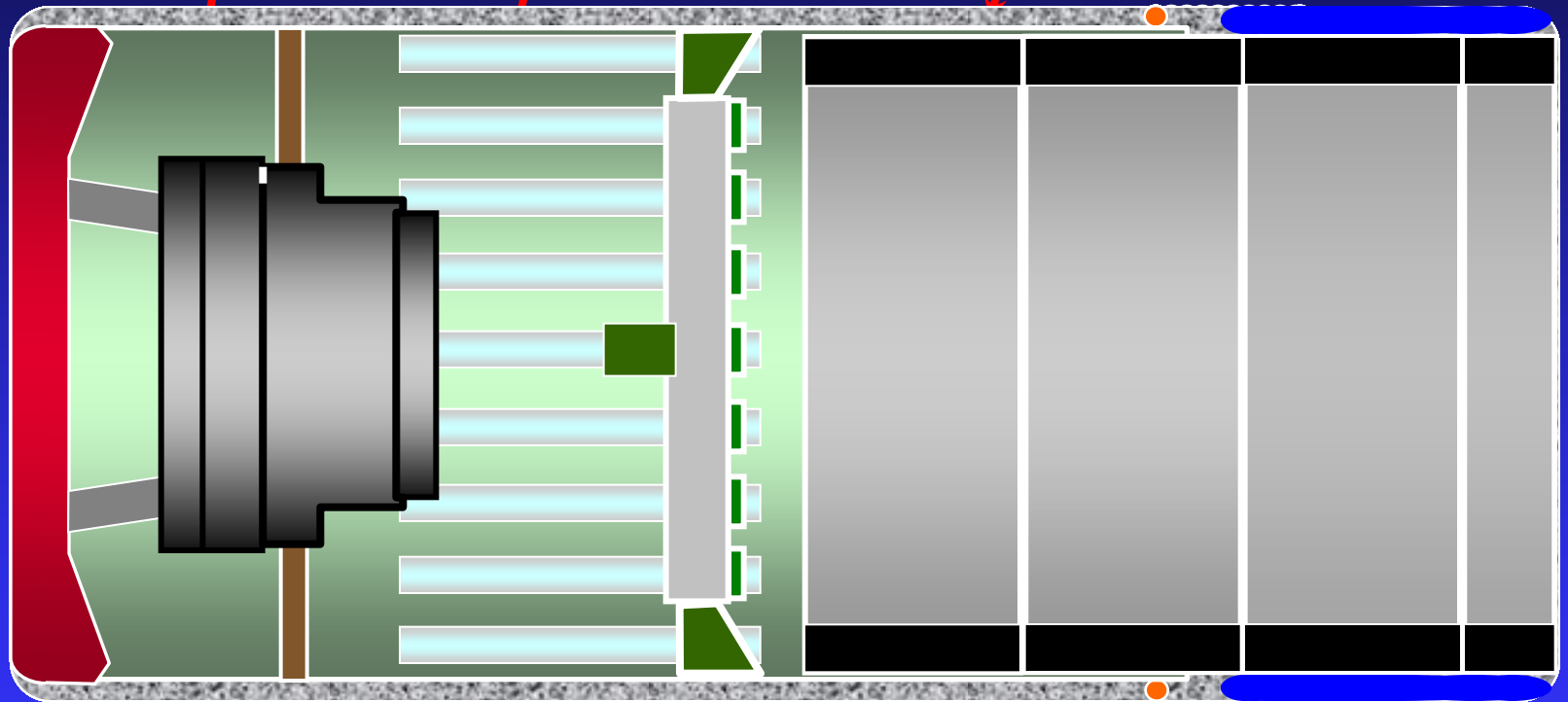


# Operação da Tuneladora

Cabeça de Corte

Rolamento Central

Escudo



Câmara

Paramento  
Divisor

Macacos

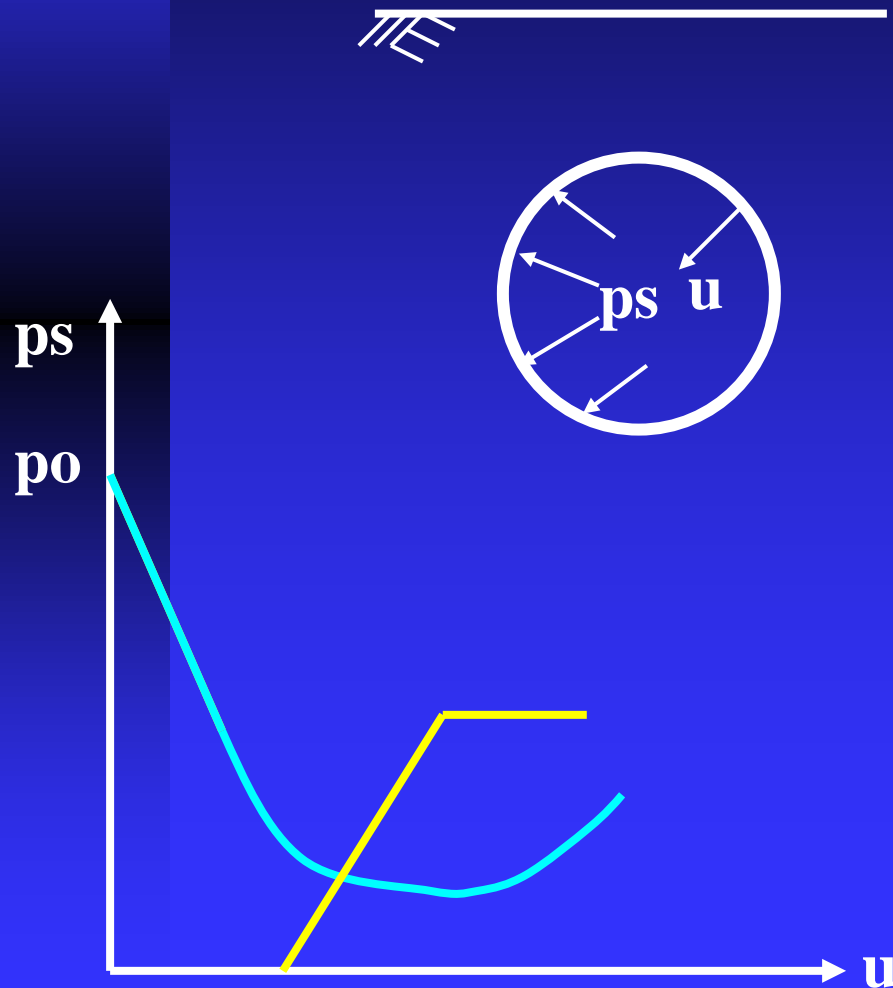
Aduelas

# Desafios da Engenharia de Túneis

- **Segurança durante a Construção**
  - ◆ Investigações Geológico-Geotécnicas
  - ◆ Tensões In-Situ (Naturais)
  - ◆ Comportamento de Maciços
  - ◆ **Interação Maciço-Suporte**
  - ◆ Simulação Numérica (Geometria, Sequência Construtiva e Interferências)
  - ◆ Gerenciamento de Riscos
- **Segurança durante a Operação (Fogo)**
- **Custos e Financiamento**

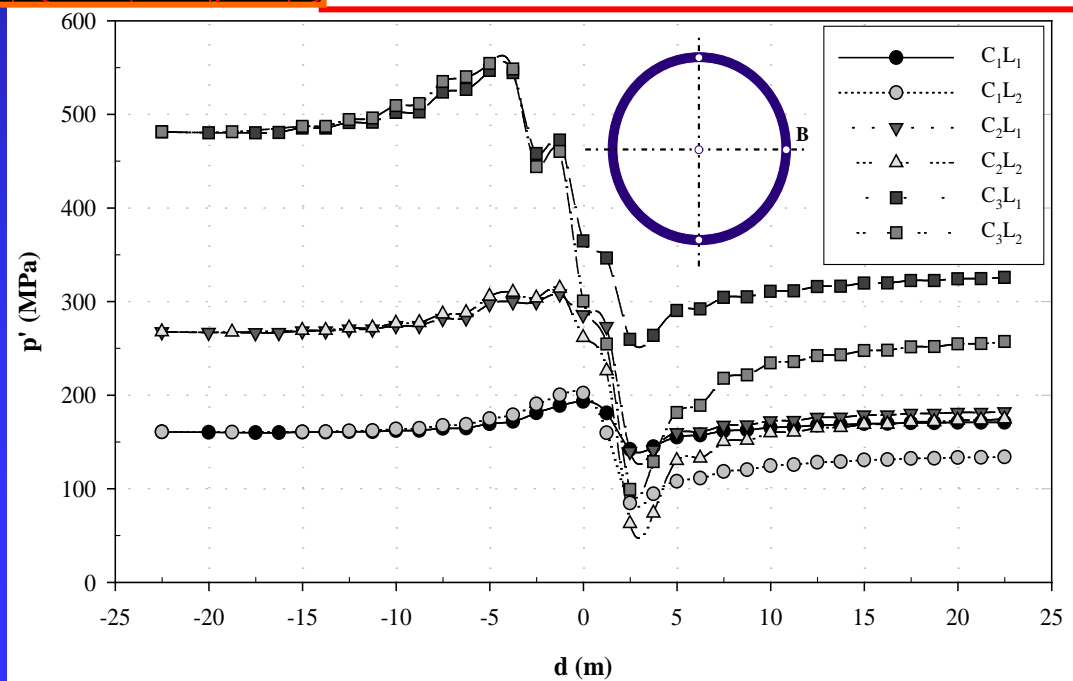
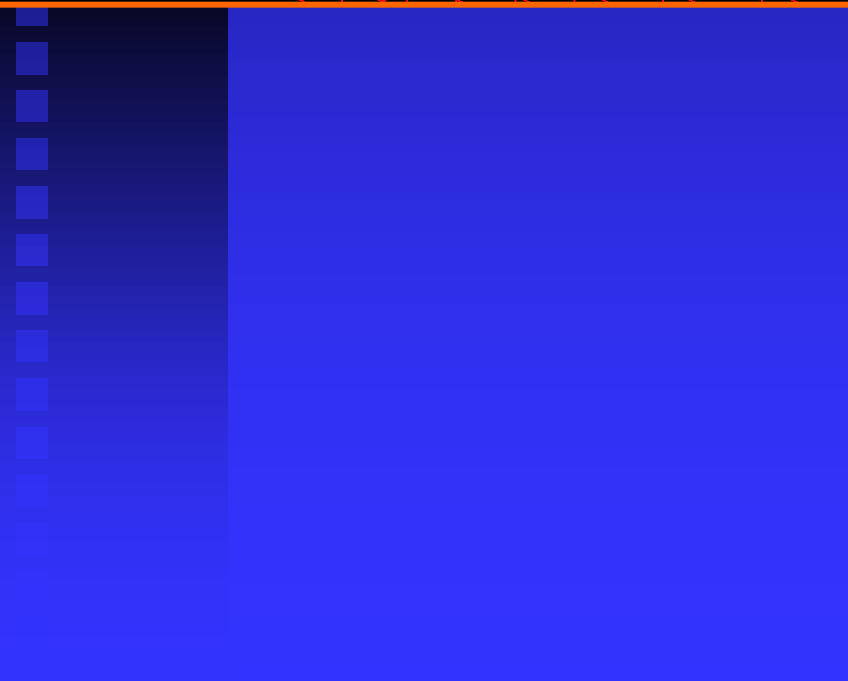
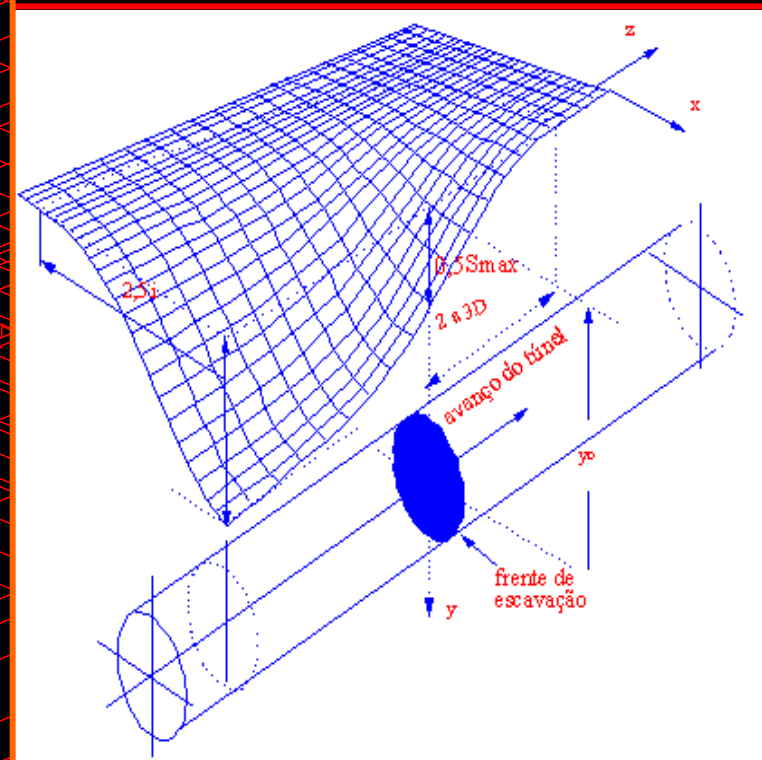
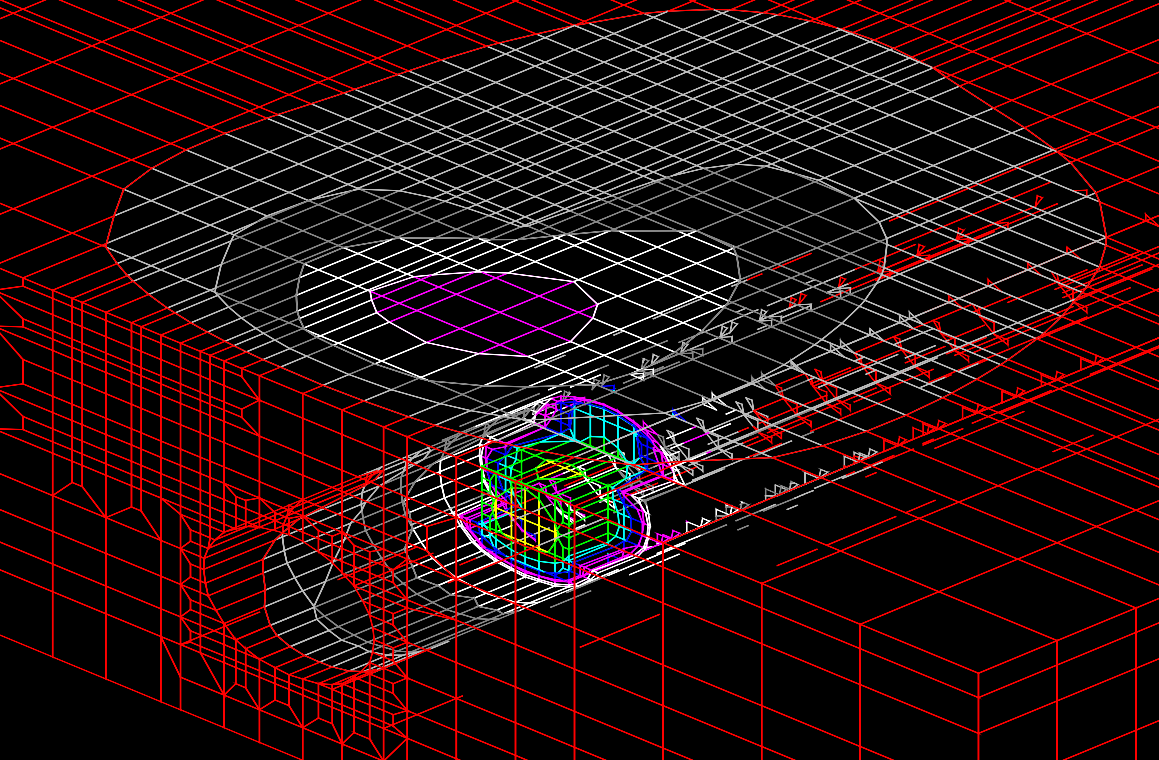


# Sistema de Suporte



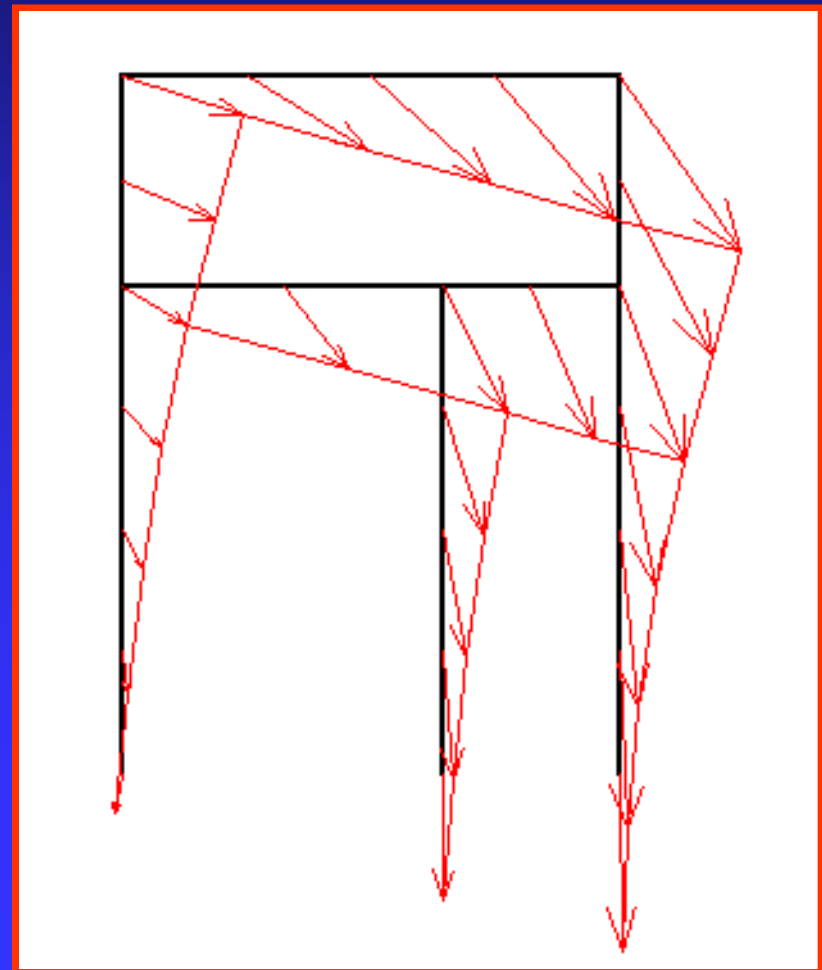
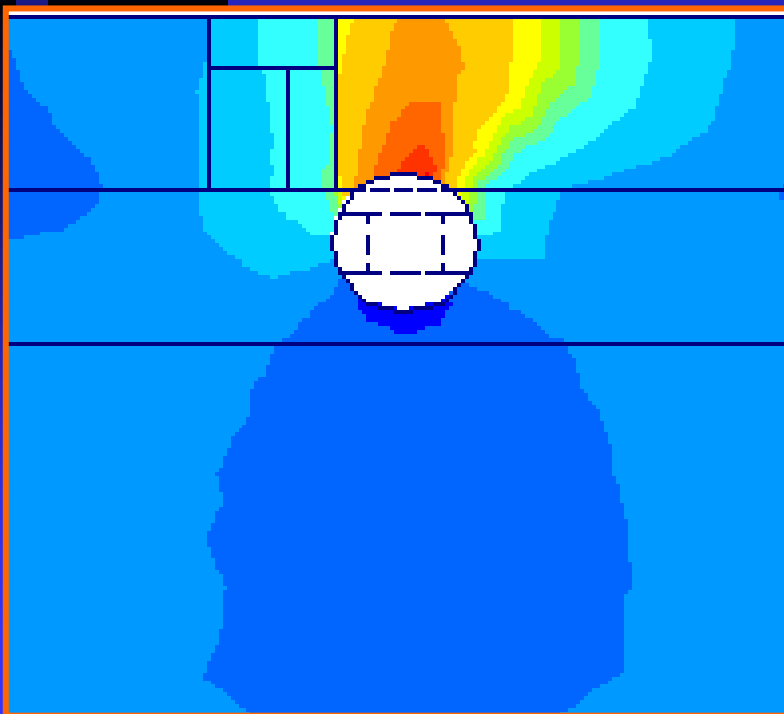
**Interação  
Maciço-Suporte**

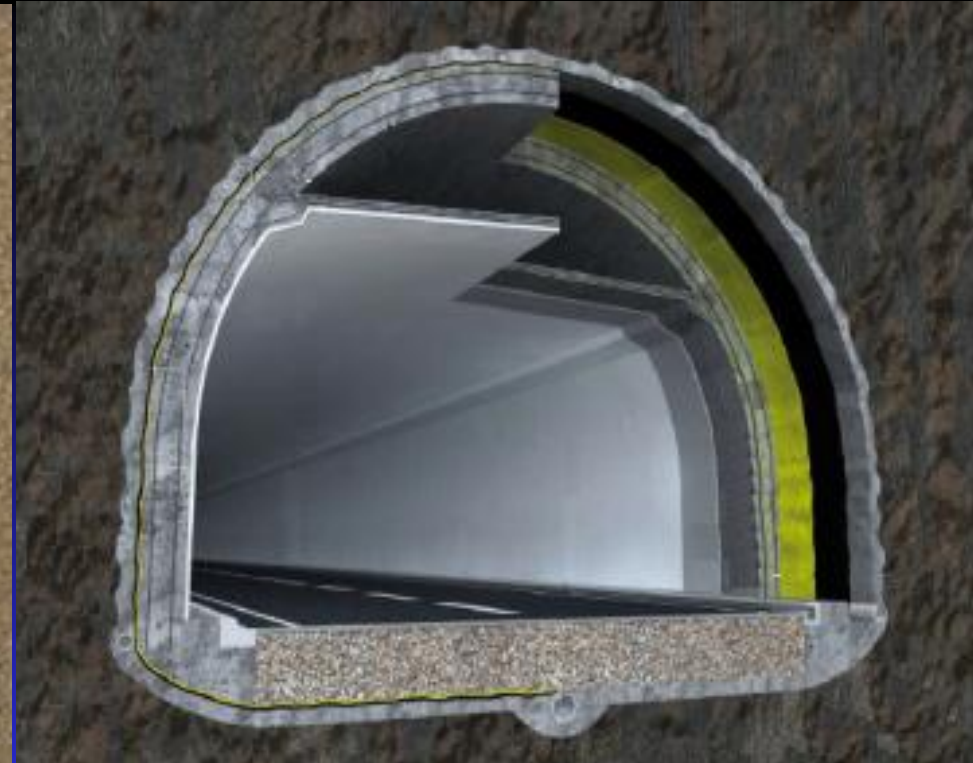
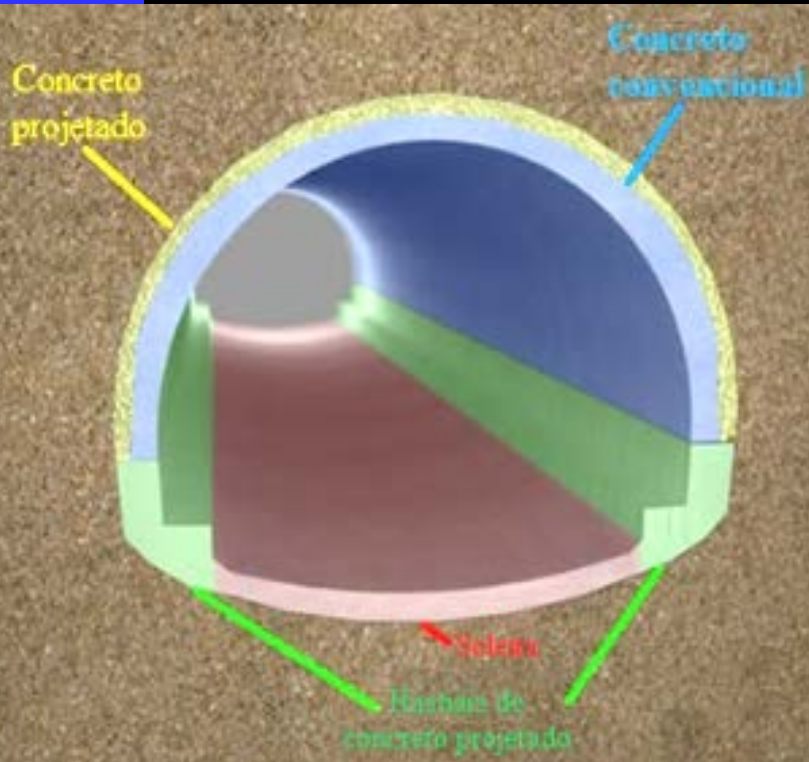
**Rigidez não-linear do  
concreto projetado**





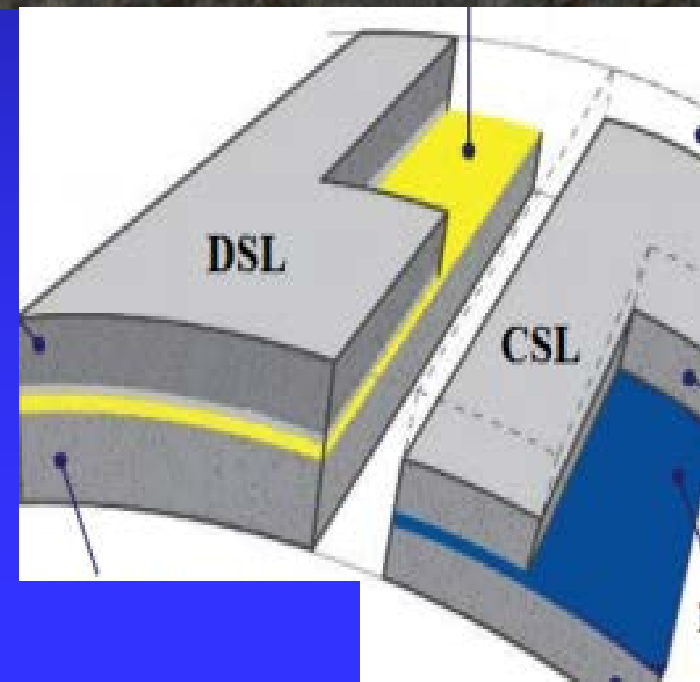
# Interação Túnel-Estrutura



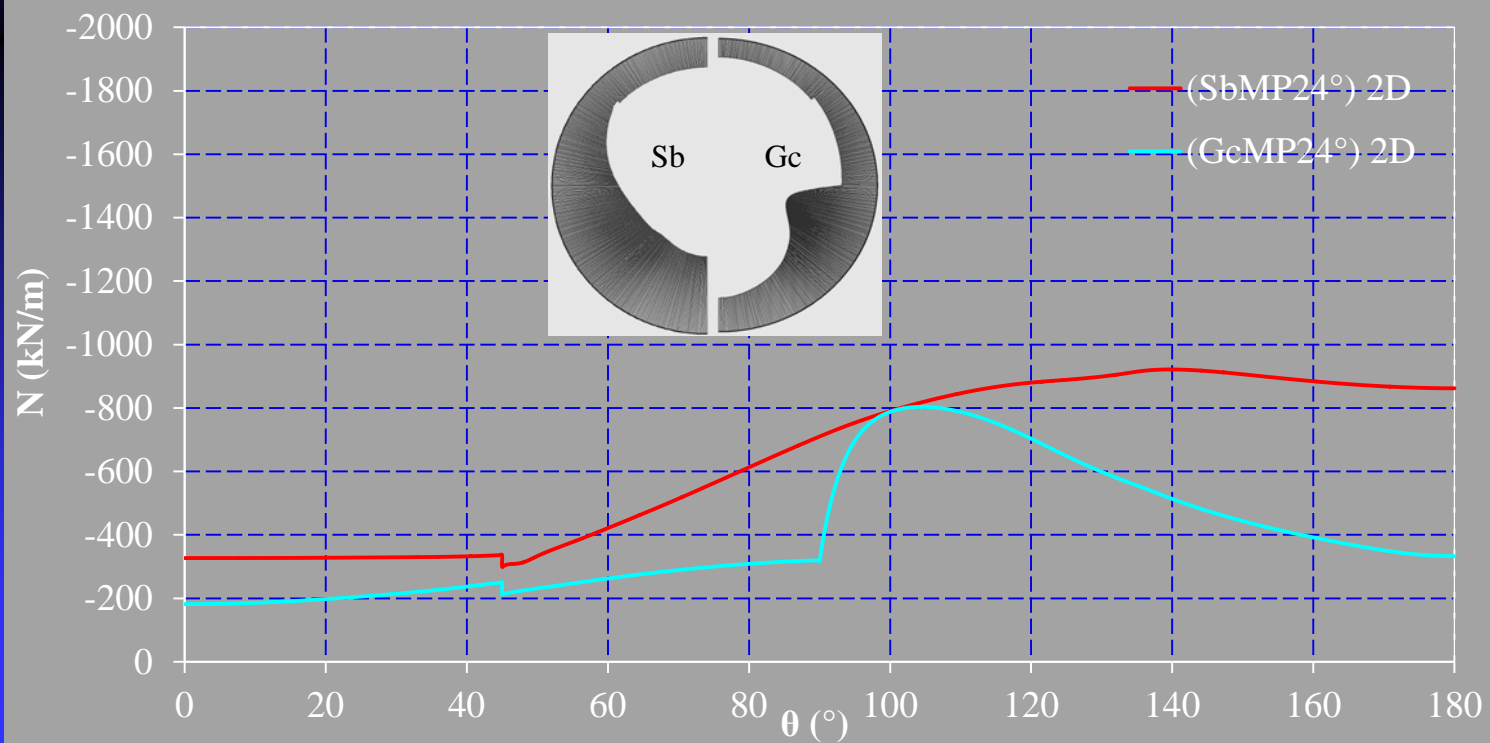
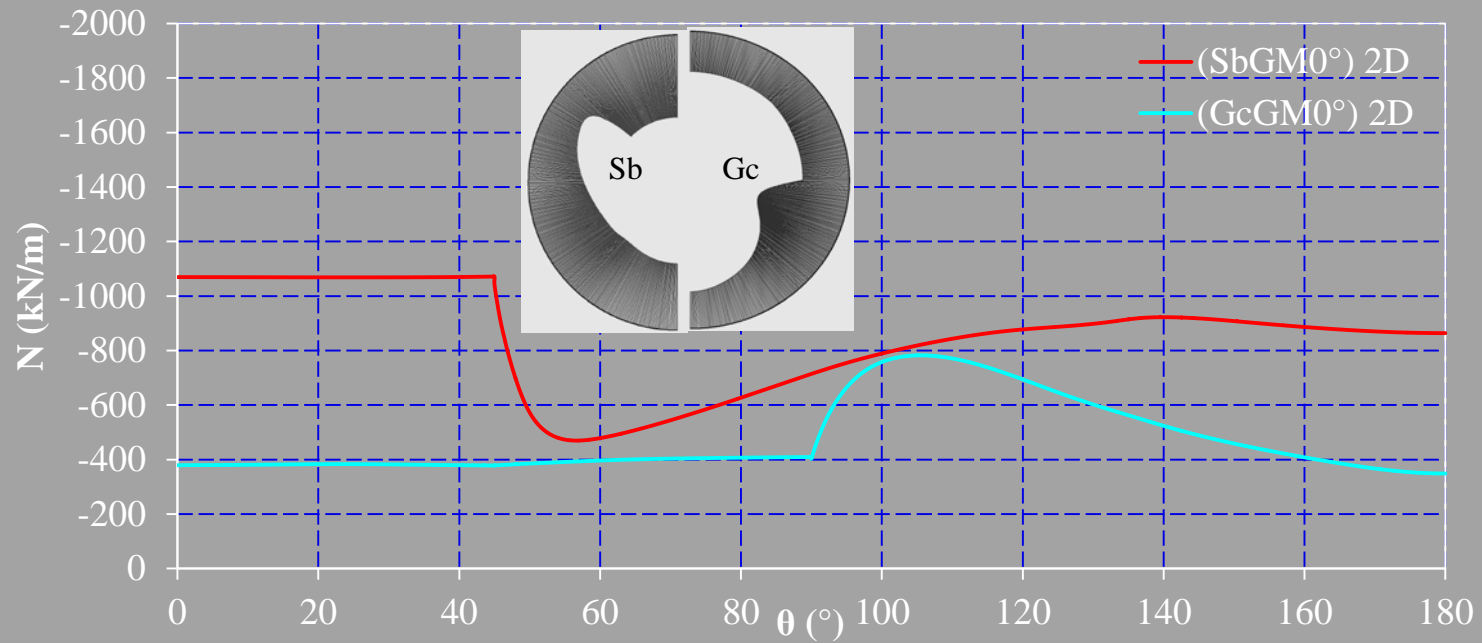


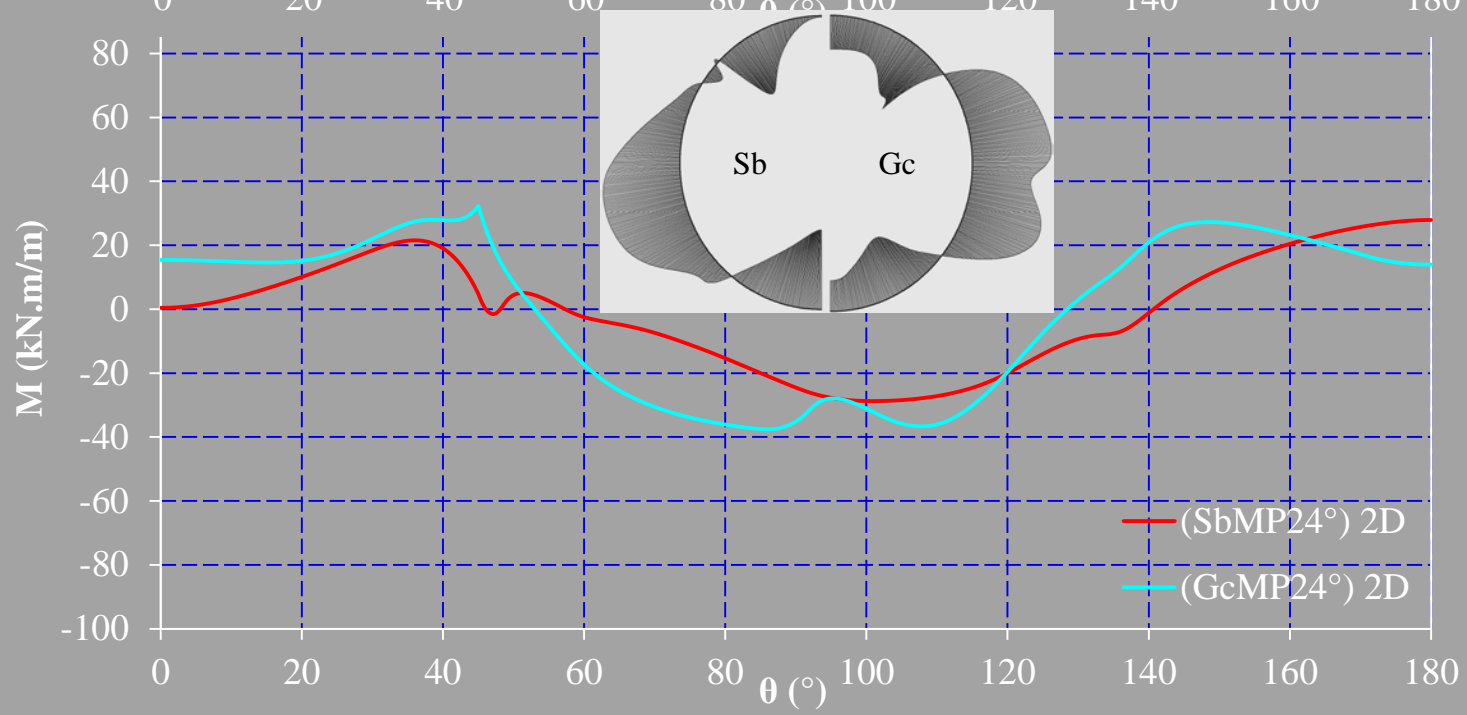
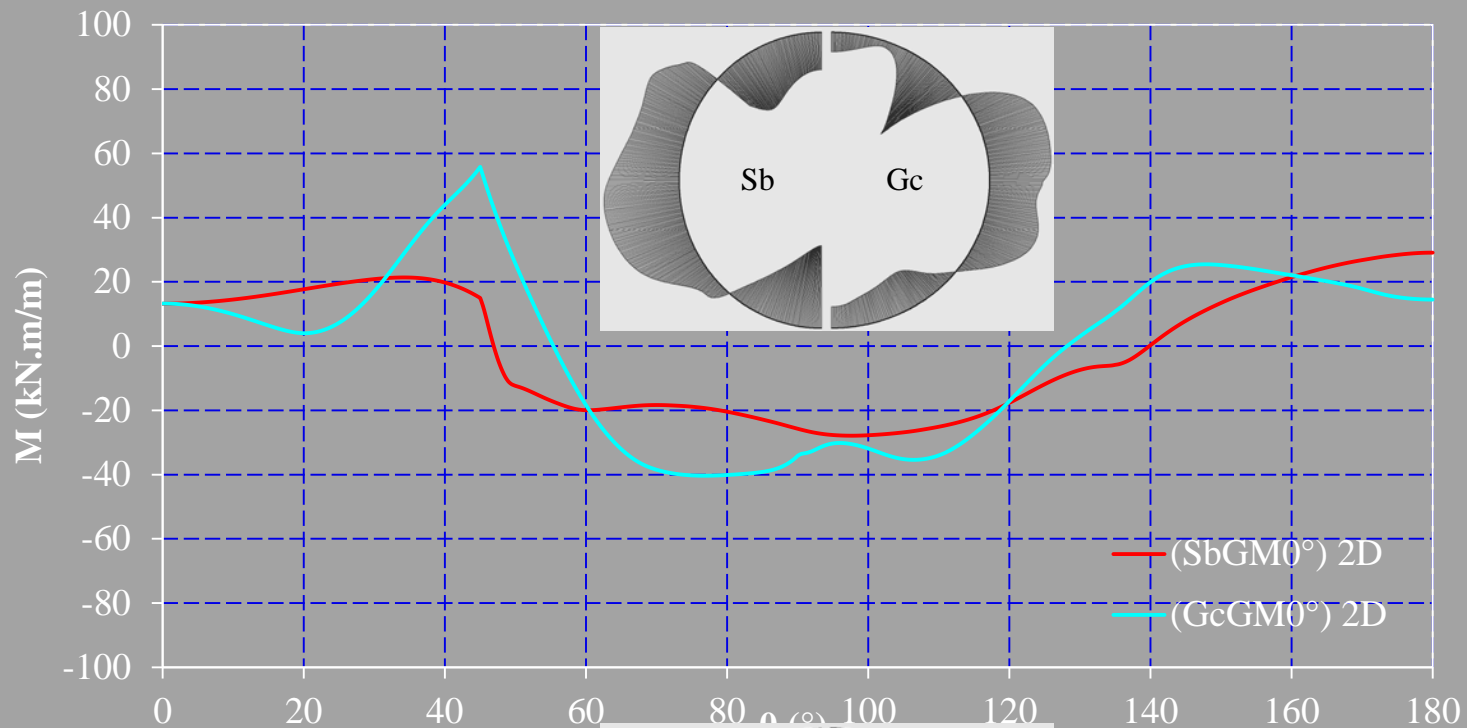
**Dupla Cascas (sem atrito)**

**Casca Composta (atrito)**





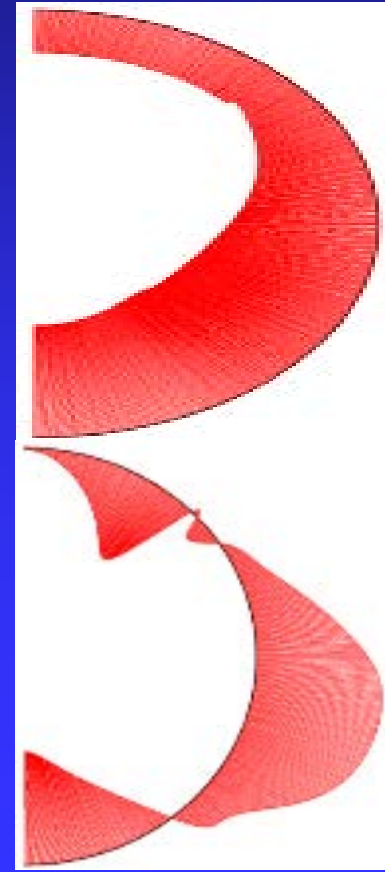
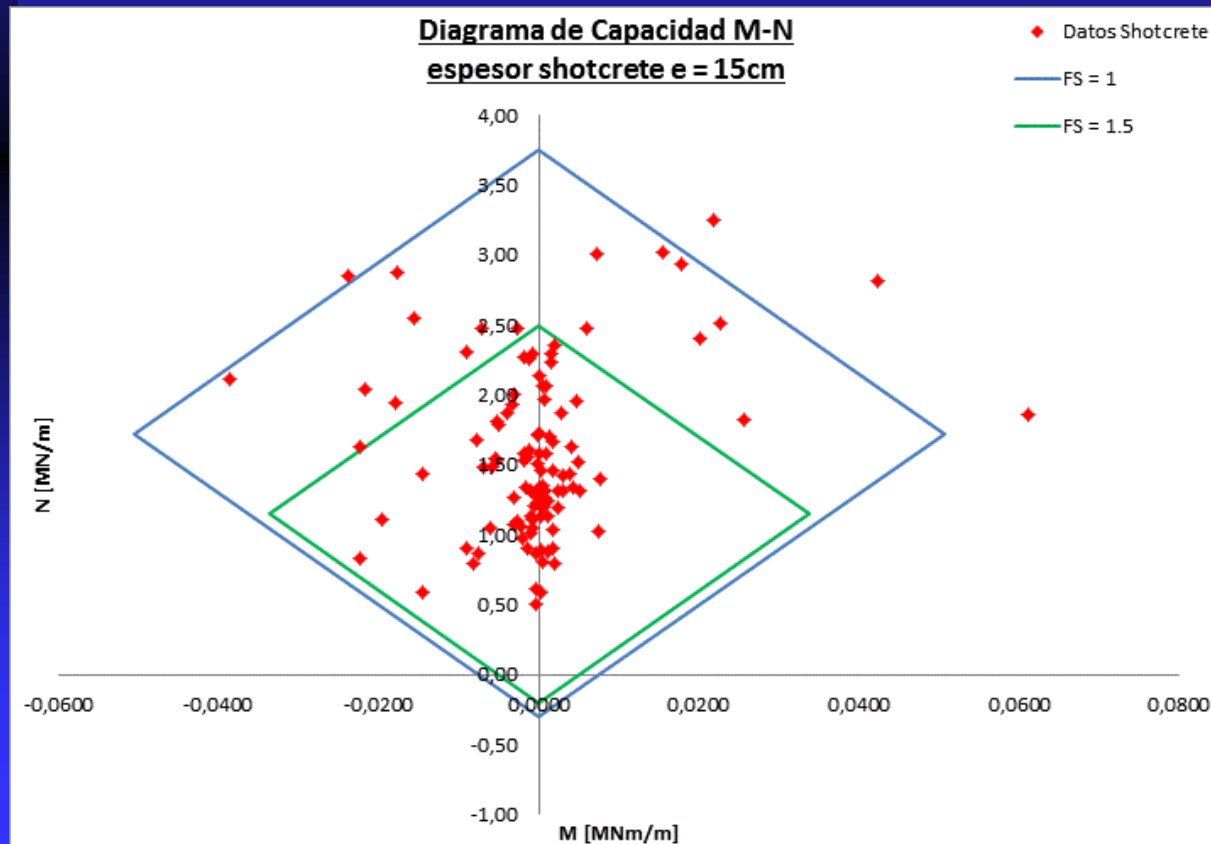






# Projeto do Sistema de Suporte

- Resultados em termos de Momentos e Normais
- Diagrama M-N
- Cálculo de tensões (flexo-compressão)

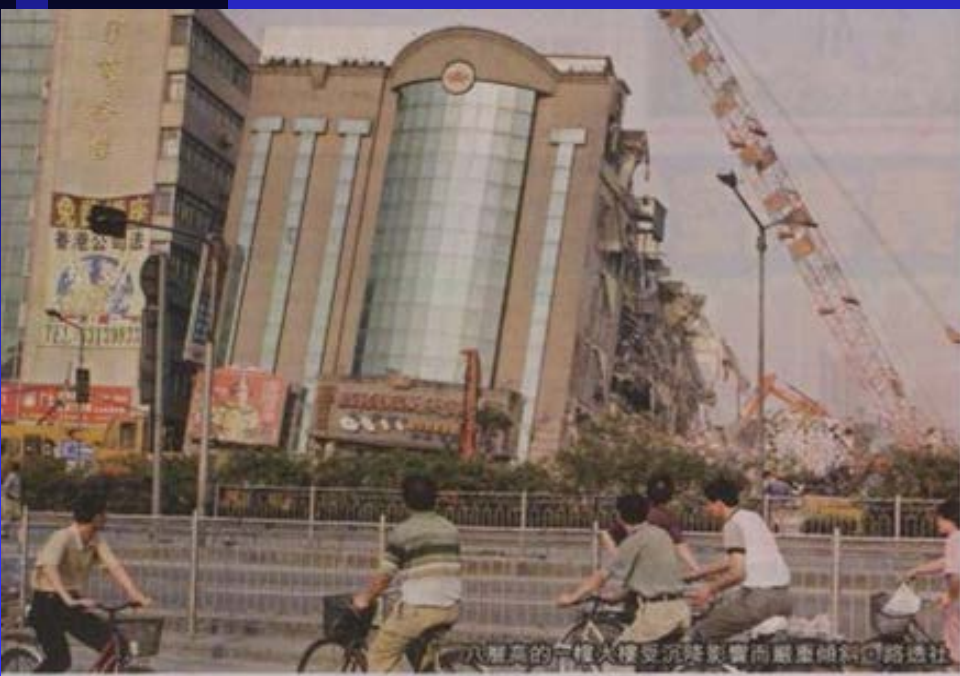


# Segurança Durante a Construção: Gestão de Riscos



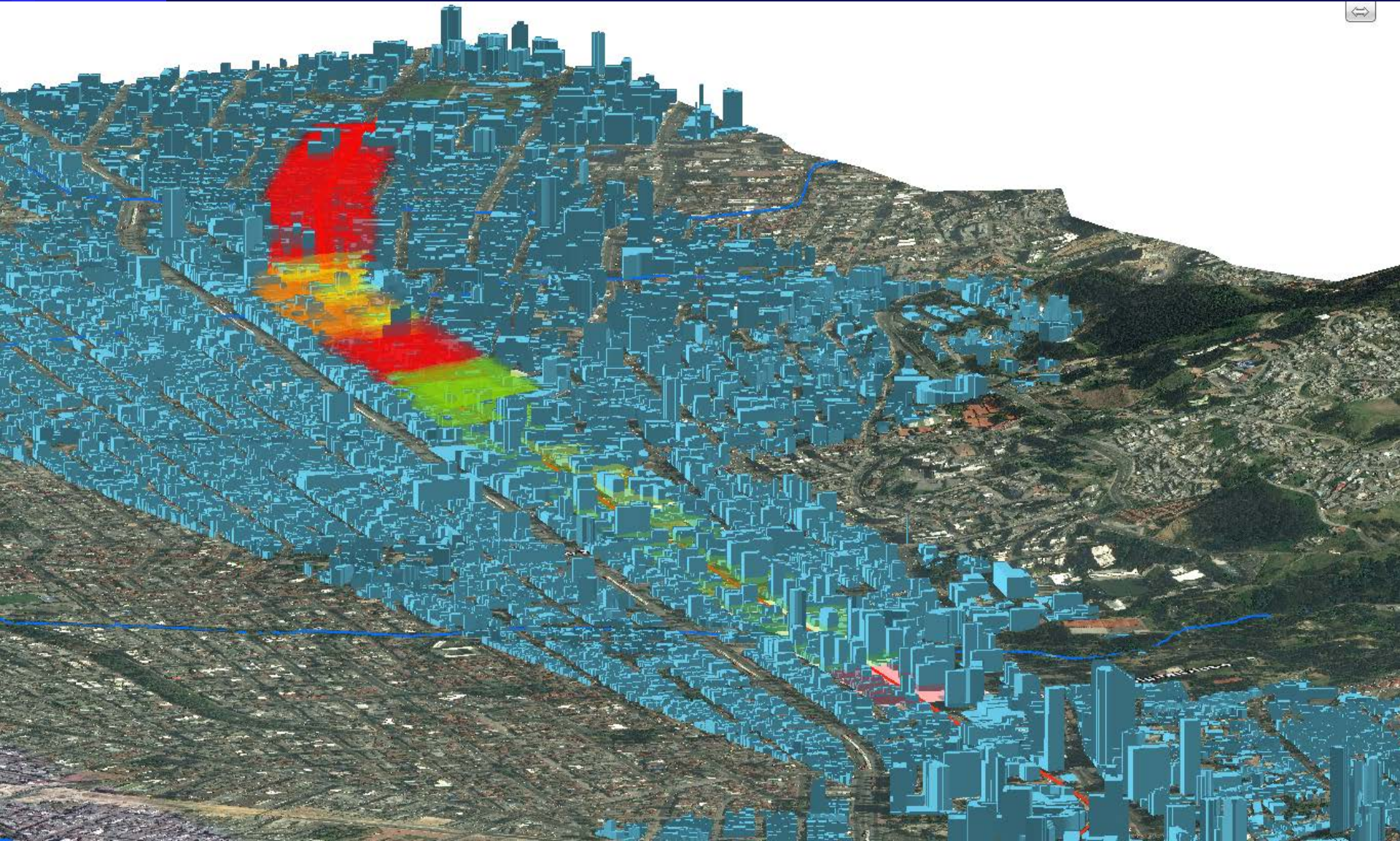
- Métodos construtivos de alto risco
- Tendência para contratos de preço global
- Condições de contrato unilaterais
- Cronogramas apertados
- Orçamentos financeiros baixos
- Competição leonina na indústria da construção civil







# Gestão de Risco Integrado ao Projeto







# Segurança Durante a Operação (Fogo)

Gotthard

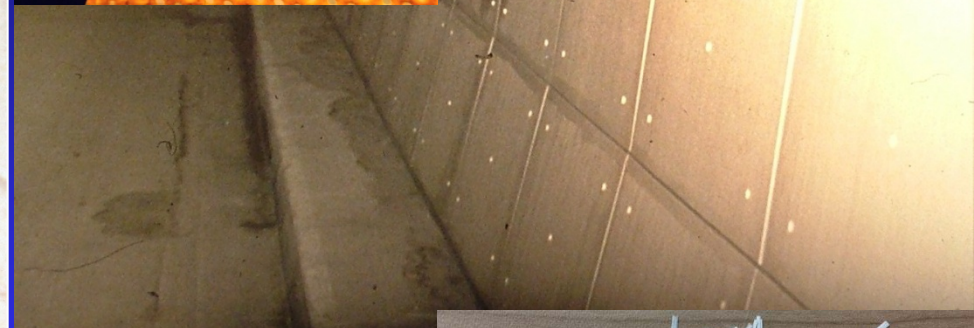
Euro tunnel





# Placas Especiais

# Reforço Adicional

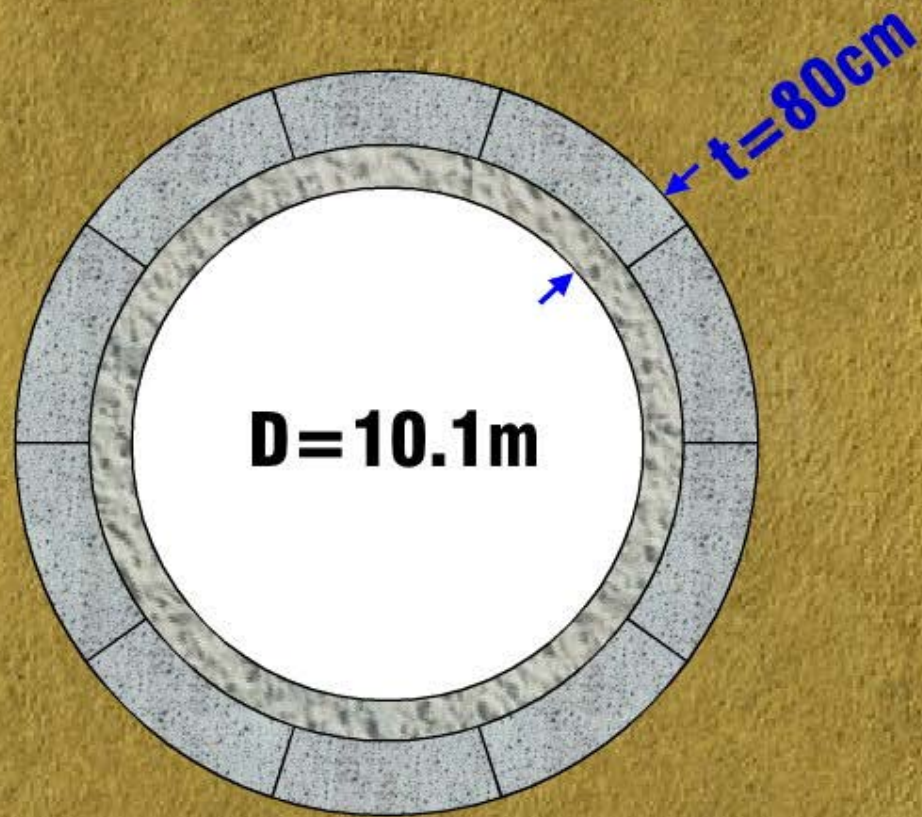


# Fibras Sintéticas

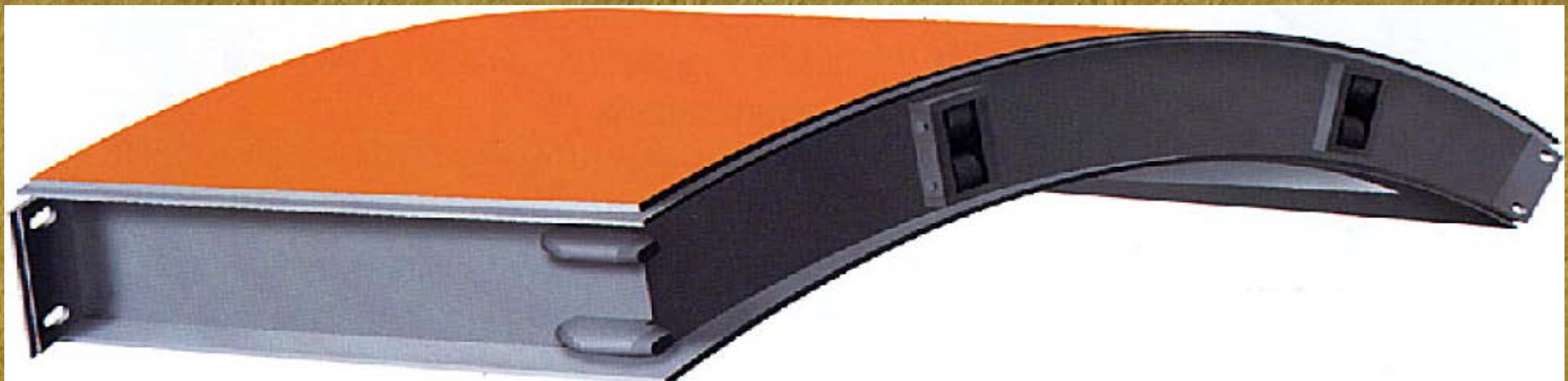
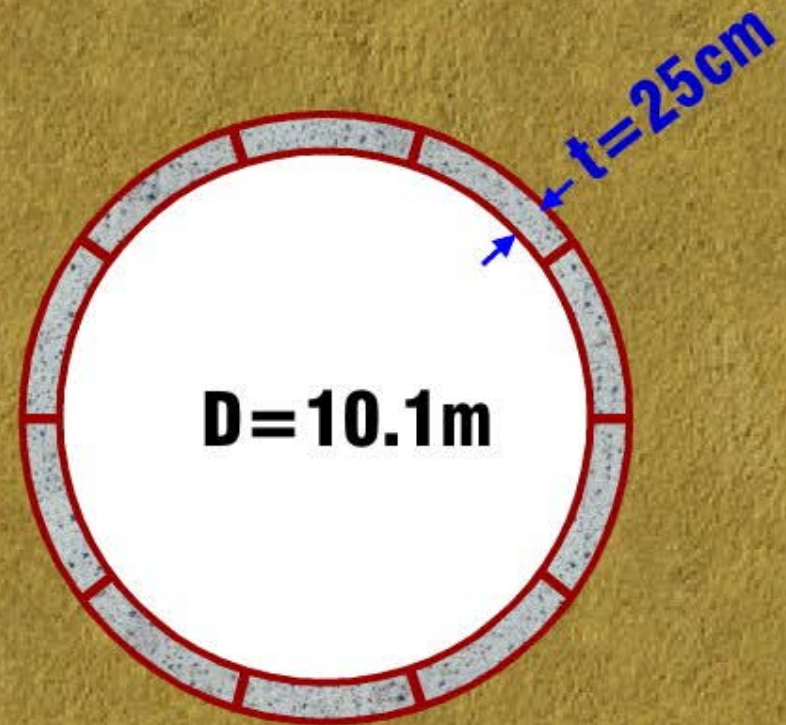


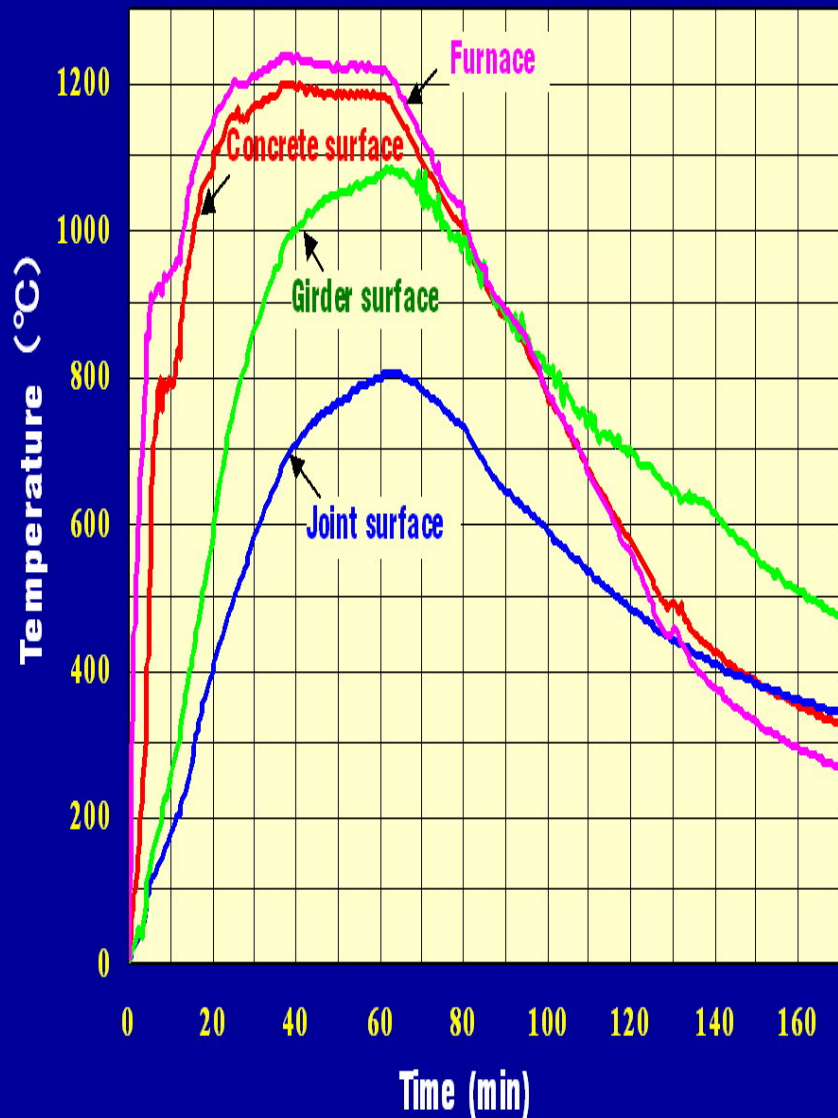


# Original design

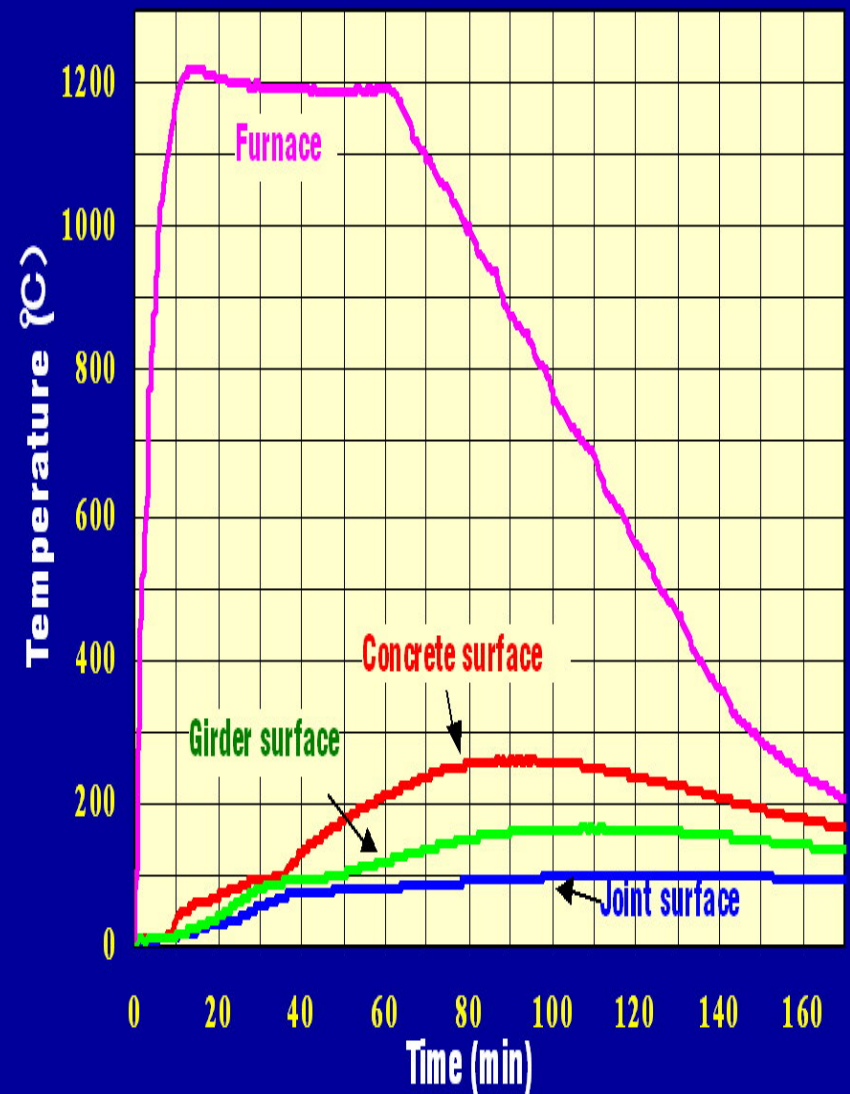


# Design change





Surface temperature of unprotected specimen



Surface temperature of board type protection



# Dificuldades de Obras Subterrâneas Quanto a Custos

MÉTODOS CONSTRUTIVOS	RELAÇÃO DE CUSTOS
SUPERFÍCIE *	1.0
ELEVADO *	1.5
CUT-AND-COVER *	2.5
TÚNEL	3,0

*\* Sem Desapropriações*

# Cut-and-Cover x Túnel





# Desafio de Estimar o Custo Global de Túneis

$$CT = CC + BS$$

## ■ Custos de Construção

- ◆ Desapropriações
- ◆ Indenizações / compensações durante a construção
- ◆ Desvalorização imobiliária

## ■ Benefícios Sociais e Ambientais

- ◆ Tempo de viagem, economia de energia, poluição, produtividade



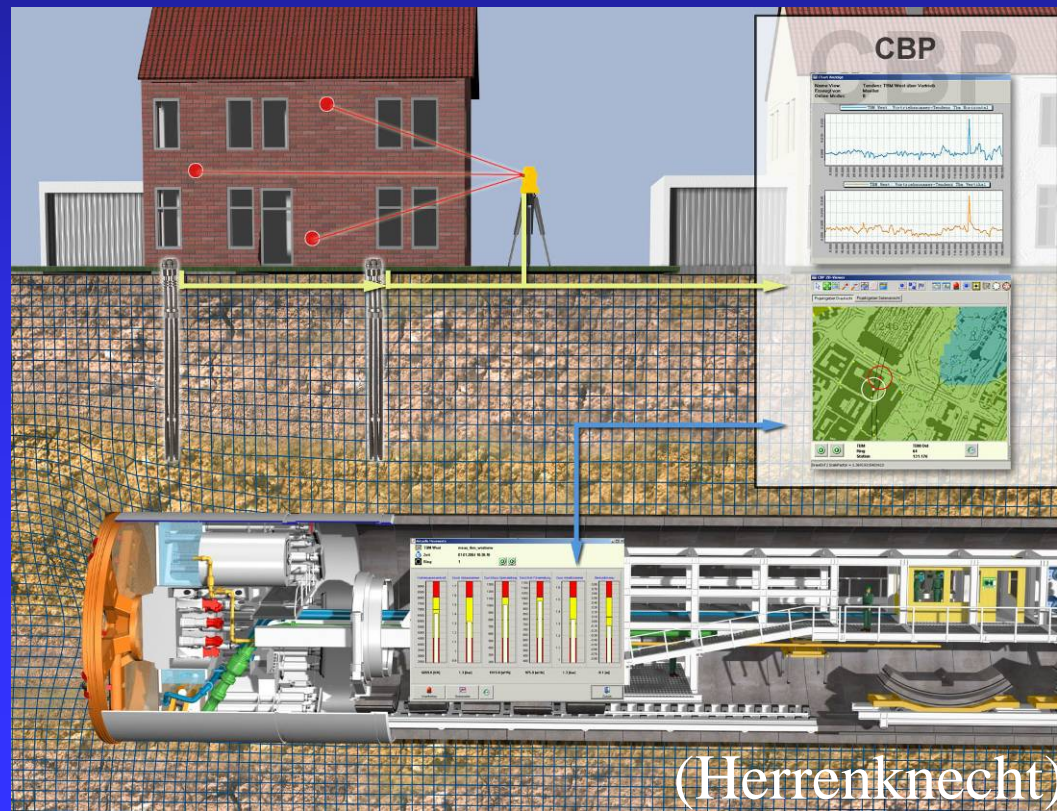
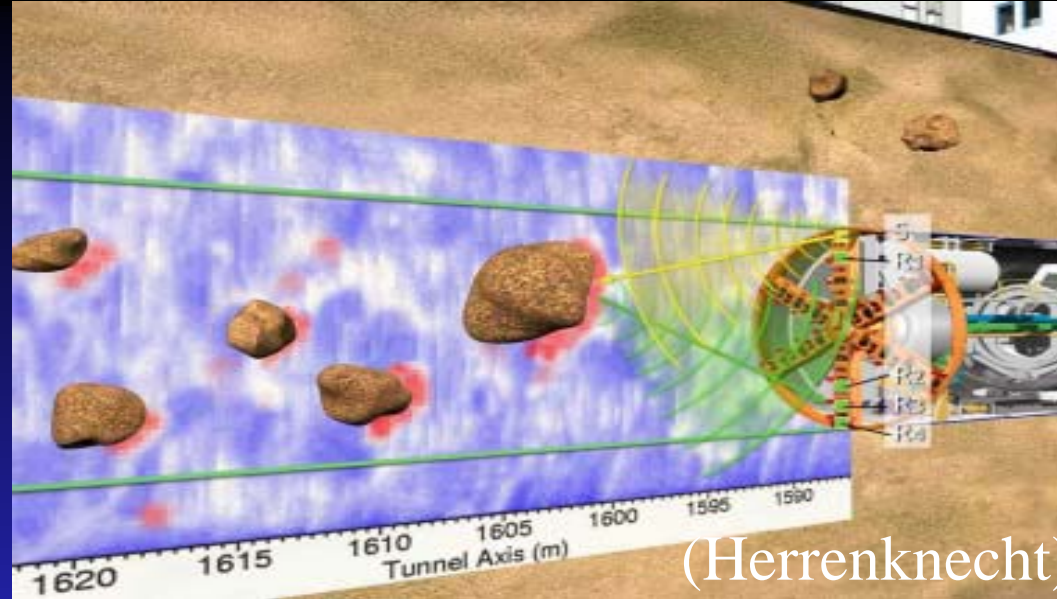
# Considerações Finais

- **Infraestrutura de mobilidade é uma necessidade e demanda mundial**
- **Túneis podem ser uma solução de infraestrutura sustentável**
- **Avanço tecnológico e inovações**
- **Complexidade e multidisciplinaridade**
- **Gestão de risco integrada**
- **Conceito de custo global incorporando benefícios sociais e ambientais**



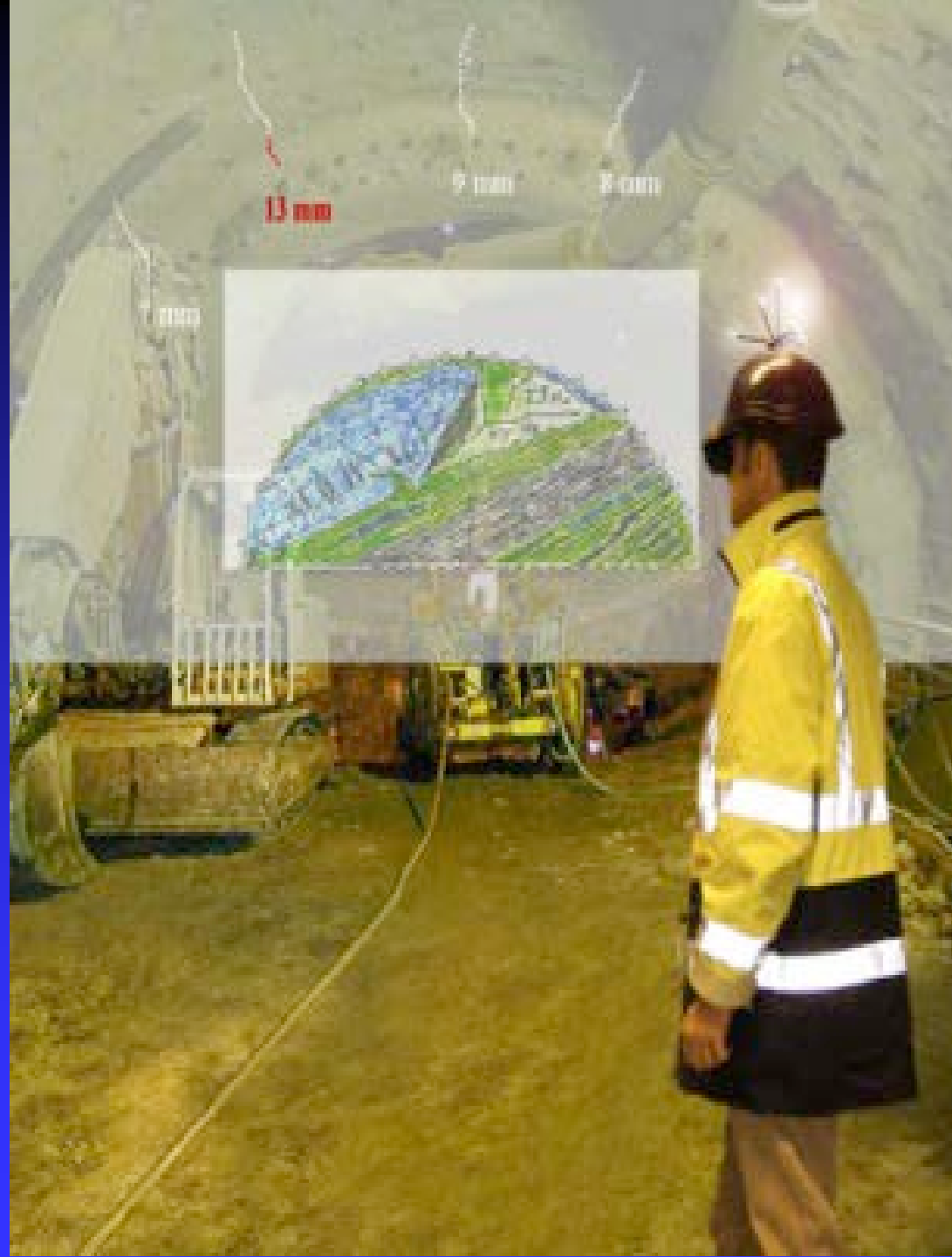
# Inovações na Engenharia de Túneis

- Investigações durante a construção
- Monitoramento *online* e controle automático



# Inovações na Engenharia de Túneis

- Mapeamento *online*
- Visualização 3D





# Agradecimentos

- Ibracon
- UnB
- CBT / ITA

