

# TUNELADORAS EM ROCHA

## Uma das fronteiras da geotecnia

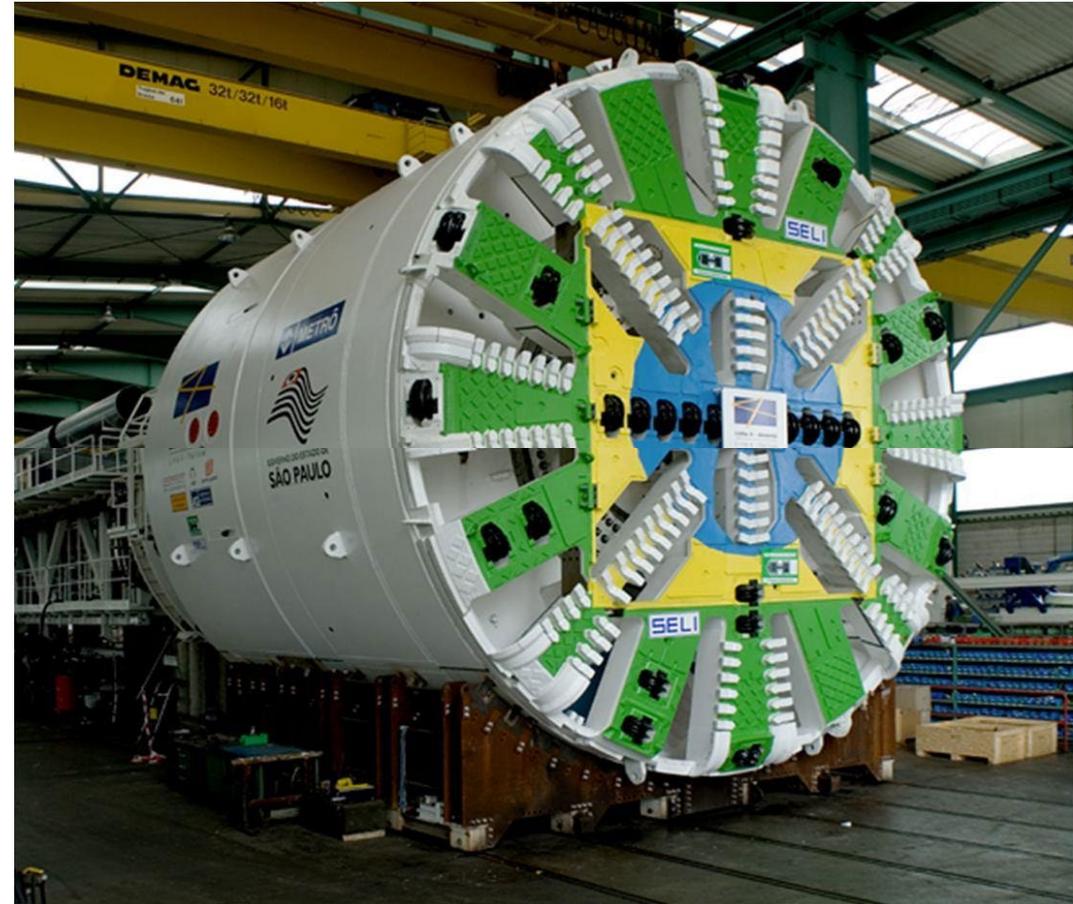
---

**Prof. Dr. Roberto Kochen** – Diretor de infraestrutura do instituto de engenharia e diretor Técnico da GeoCompany – Tecnologia, Engenharia & Meio Ambiente  
[kochen@geocompany.com.br](mailto:kochen@geocompany.com.br)

**MSc Danielle Melo** – Coordenadora de Projetos GeoCompany  
[danielle.melo@geocompany.com.br](mailto:danielle.melo@geocompany.com.br)

# INTRODUÇÃO

- Tuneladoras têm apresentado utilização crescente no Brasil
- País necessita de infraestrutura subterrânea



# INTRODUÇÃO

---

- Para escavação em rocha, o 1º tatuzão de grande diâmetro utilizado no Brasil construiu 4,9 km de túnel sob a Serra do Mar (2011), em granitos – gnaisses, migmatitos e diabásios, sem incidentes ou acidentes
- O diâmetro de 6,19m deste tatuzão equivale a um túnel de via singelo de Metrô
- Túnel em rocha com tuneladora duplo escudo com gripper e frente fechada



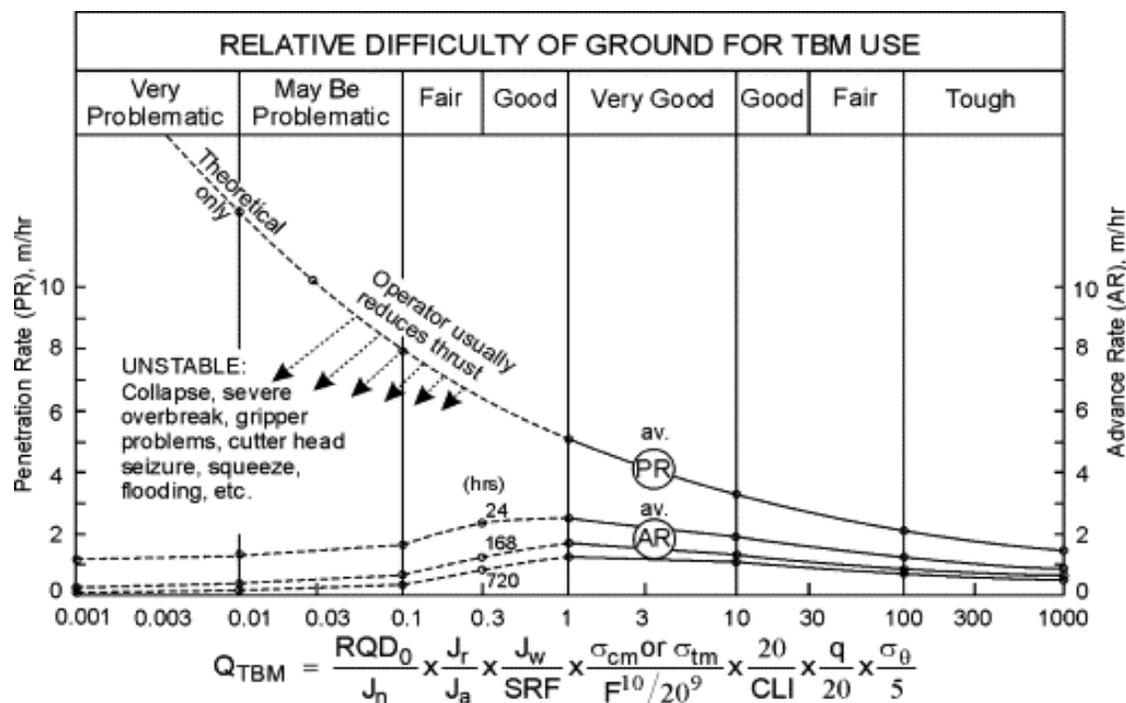
Tuneladora em rocha para túnel sob a Serra do Mar

# TBM EM ROCHA

- Os parâmetros mais importantes são a taxa de penetração (PR) e a taxa de avanço (AR)
- O gráfico ilustra dois parâmetros de uma TBM para escavação mecanizada em rocha

PR Penetration rate  
[metros/hora]

(o quanto os  
cortadores podem  
fazer avançar o disco  
de corte em uso  
contínuo)



AR Advanced Rate  
[metros/hora]

o quanto a tuneladora avança,  
considerando a sua  
porcentagem de utilização, ou  
seja, qual a efetiva utilização  
da máquina escavando a  
rocha, descontando as  
paralisações para troca de  
cortadores, manutenção e  
atividades correlatas.

# O TATUZÃO DO GASTAU (GASODUTO TAUBATÉ)

---

- Passagem de gasoduto na Serra do Mar sem impacto ambiental no Parque Estadual
- Túnel na Serra do Mar, Extensão de 5,2km em rocha granítica, com presença identificada em sondagens e reconhecimentos geológicos de campo de zonas fraturadas por milonitos e diques de diabásio
- Utilização de *Double-Shielded TBM* (couraça dupla – maior produtividade, velocidade de escavação)

# TBM

---

- Dois mecanismos principais de sistemas de empuxo:
  - Grippers laterais, que se apoiam diretamente sobre o maciço rochoso, acionados por cilindros hidráulicos;
  - Grippers traseiros, com cilindros hidráulicos posicionados diretamente sobre os anéis de revestimentos construídos pelo TBM.

# TBM

---

- O equipamento TBM de Double-Shield possui os dois sistemas de empuxo e pode realizar a operação combinada de ambos, reduzindo seu tempo de ciclo de escavação e aumentando sua produtividade diária com segurança tanto em áreas de menor resistência lateral da rocha, como em áreas de rocha (MAIDL et al., 2008).

# TBMB



# TBM



# ASPECTOS GEOLÓGICOS E INVESTIGAÇÕES REALIZADAS

---

- Nunca é demais enfatizar a importância de estudos geológicos – geotécnicos, e de uma correta e completa caracterização dos maciços de solo e rocha a serem escavados, para o sucesso do empreendimento.
- O sistema de classificação do maciço rochoso foi o Rock Mass Rating (BIENIAWSKI, 1989). O maciço rochoso ao longo dos mapeamentos geológicos realizados apresentou maciço rochoso Classe I e II para 90% do comprimento do túnel.

# TBM

---



Frente de escavação, durante mapeamento diário  
Rocha dura não fraturada

# ASPECTOS GEOLÓGICOS E INVESTIGAÇÕES REALIZADAS

---

- O túnel foi implantado com início aproximado na cota 60m em relação ao nível do mar e final na cota 200m, com aclividade constante de 2,69%, a favor da drenagem para o lado externo do túnel.
- O trecho final do túnel se encontra 540m abaixo da superfície, com confinamento vertical do maciço superior a 1300tf/m<sup>2</sup>.

# ASPECTOS GEOLÓGICOS E INVESTIGAÇÕES REALIZADAS

---

- Campanha de ensaios de campo com sondagens mistas e rotativas, geofísicas, probe drilling, perfuração horizontal de grande diâmetro, ensaio de condutividade e fraturamento hidráulico.
- O trecho escavado por método mecanizado foi caracterizado como granito-gnaiss muito duro e abrasivo, de pouco faturamento com presença de diques hidrotermais de diabásio, milonitos e pegmatitos.

# ASPECTOS GEOLÓGICOS E INVESTIGAÇÕES REALIZADAS

- A parte inicial do túnel foi escavada pelo método NATM, principalmente em saprólito.



# TBM

- Uma vez montada a TBM, sua extensão total média cerca de 130m, sendo cerca de 30m de escudo (Shield) e 100m de Back-up, onde são instaladas os diversos sistemas e dispositivos auxiliares de funcionamento da TBM.





GeoCompany

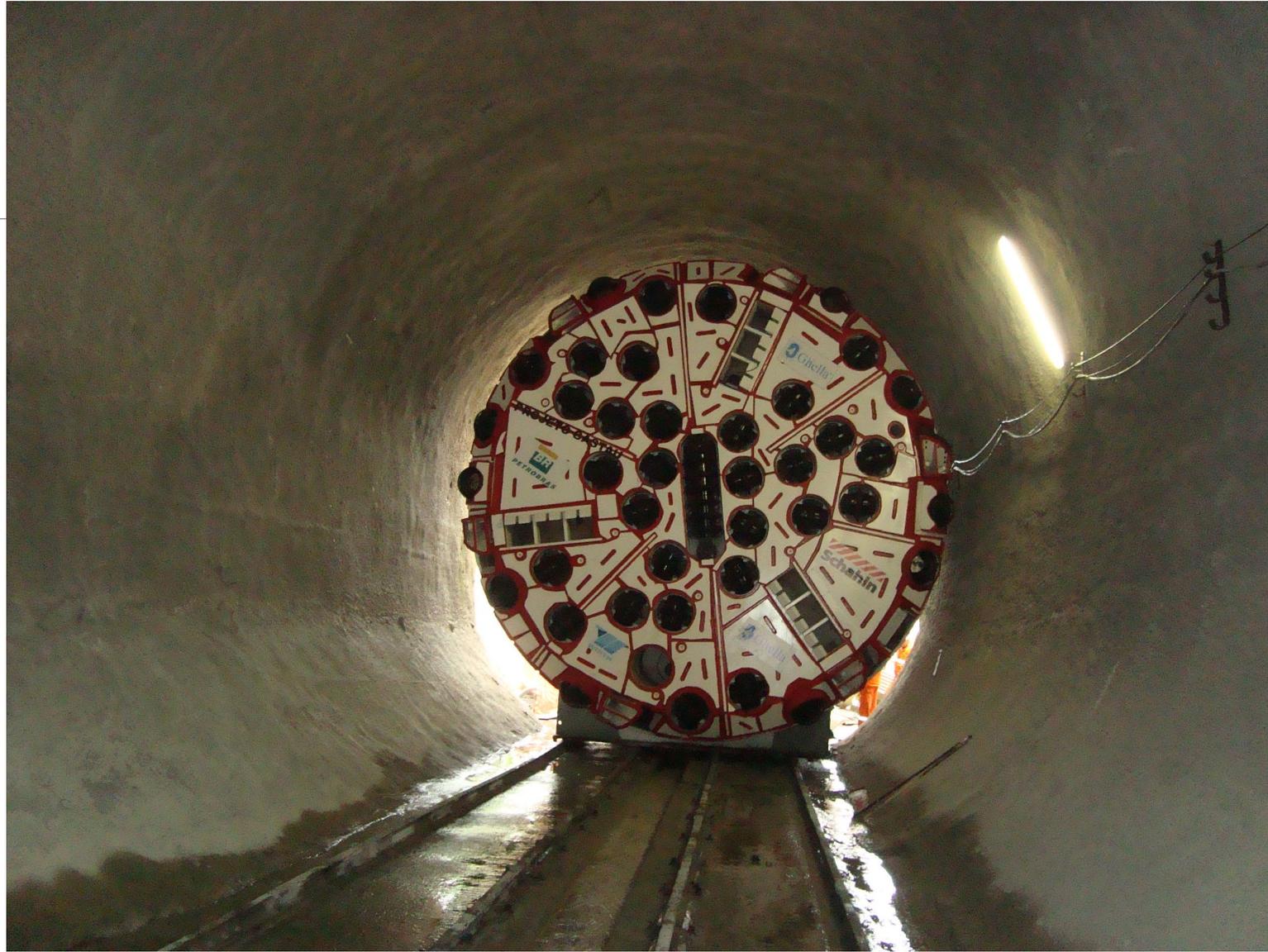


# TBM



# TBM

---



# TBM



# ACOMPANHAMENTO TÉCNICO DO AVANÇO DA TBM

---



- Mapeamento diário da frente de escavação
- Execução de sondagens profundas horizontais na frente de escavação em rocha e verificada a condição adequada para o início da escavação mecanizada
- Sistema de monitoramento elétrico da frente de escavação, acoplado ao TBM de modo a se obter contato com o maciço na frente de escavação

# ACOMPANHAMENTO TÉCNICO DO AVANÇO DA TBM

---



- A atuação da GeoCompany neste processo foi de vital importância, seus profissionais que definiram a necessidade ou não de eventuais tratamentos e reforço no trecho avaliado, caso ocorressem sinais de aporte de água consideráveis, com pressão elevada e/ou ocorrência de zonas fraturadas ou com possibilidade de tensões anômalas.
- Para estas condições especiais de esforço, são projetadas aduelas de dois tipos, devendo sua atuação ser definida por diversos estudos geológicos-geotécnicos

# ATO

---



Frente de escavação apresentando planos de fraturamento evidentes em maciço Classe III

# ATO

---



Redução de temperatura da frente de escavação com água

# ATO (ACOMPANHAMENTO TÉCNICO DE OBRA)

Observa-se que os cortadores promovem marcas visíveis no maciço, que pode ser identificado como maciço classe I ou II, em função do número e disposição do fraturamento. Este mapeamento é expedito e extremamente complexo e perigoso, uma vez que o espaço entre o maciço e a cabeça de corte da TBM é de cerca de 50 a 70cm.



Discos de corte e raspadores

# PRINCIPAIS OCORRÊNCIAS

---

- Denotam atenção as ocorrências que prejudicam a velocidade de avanço
- Para tanto:
  - Análises periódicas do maciço para verificação da abrasividade – influi na periodicidade de troca dos cortadores
  - Verificar a existência de falhas na frente de escavação – prever ajuste no avanço e tratamentos eventuais

# PRINCIPAIS OCORRÊNCIAS

---

- Verificação de Zonas com elevado aporte de água
- Inspeção do túnel para verificação e identificação de aduelas anômalas, ocorrência de instabilidade ou risco de danos estruturais ao túnel









Passagem do TBM pelo trecho escavado em NATM

















# CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

- Benefícios da utilização de equipamento tunelador
  - redução do tempo de construção
  - escavação em perfil preciso
  - facilidade de uso de elementos de acabamento pré-moldados
  - processo de trabalho contínuo e automatizado
  - necessidade de menos operários
  - melhores condições de segurança de trabalho
  - processo mecanizado e automatizado com registro computacional do direcionamento do túnel

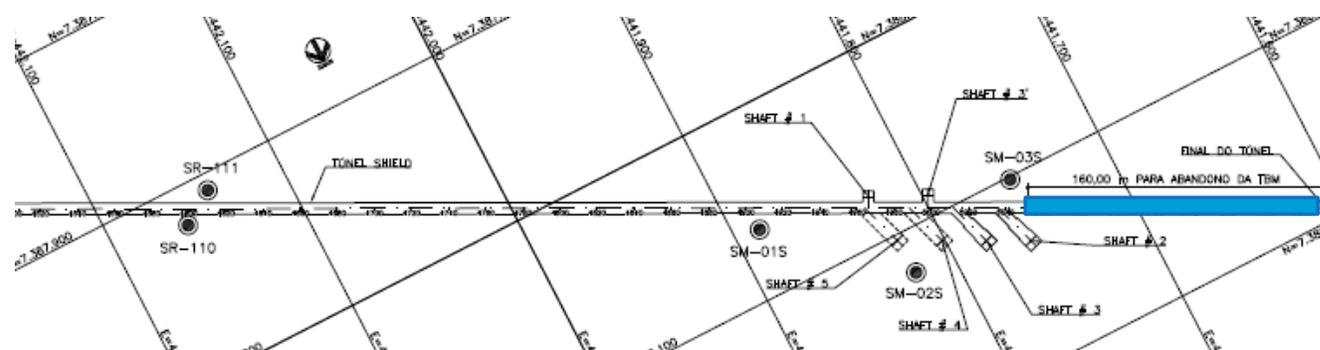
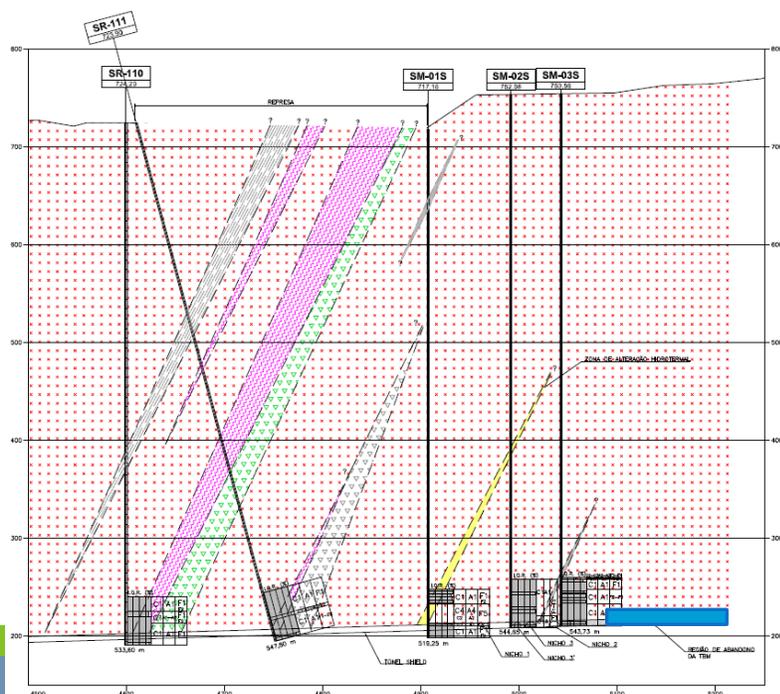
# CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

- Necessário investimento inicial
  - Aquisição (ou aluguel) e montagem do TBM
  - projeto e elaboração de estudos geológicos-geotécnicos complementares
- A utilização é favorecida em empreendimentos com elevado comprimento e prazo curto de execução

# CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Túnel Gastau não tem desemboque, a máquina ficou no maciço
- O gasoduto foi até a planície por shafts (poços) verticais de 520m



# CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

- De forma geral podemos afirmar que é possível contar com estas máquinas tuneladoras para construir a infraestrutura subterrânea tão necessária atualmente ao desenvolvimento do Brasil.
- É possível utilizá-las para a construção de linhas de metrô, sistemas de adução de água, e outras obras de infraestrutura, de grande relevância para o nosso país, e extremamente necessárias para compor nossa infraestrutura de logística e transporte.