

# METRO RIO BARRA LINHA 4 - SUL

## INSTRUMENTAÇÃO DE OBRAS

VECTOR PROJETOS LTDA

LUIZ GUILHERME DE MELLO  
WERNER BILFINGER

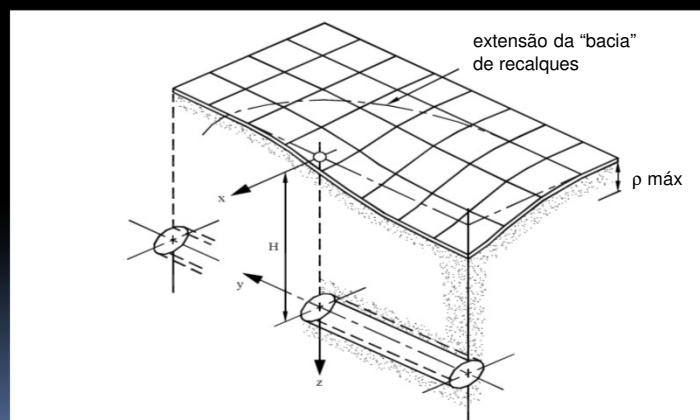
## CONTEÚDO

- Conceitos Básicos
- Tipos de Instrumentos e suas Funções
- Conceito, importância e limitações de Níveis de Alerta
- Inspeções de Campo – o que observar
- Análise de Dados
- Interfaces: Projeto – Obra – ATO
- Riscos e Responsabilidades

## CONCEITOS BÁSICOS

### *Comportamento do maciço e influências*

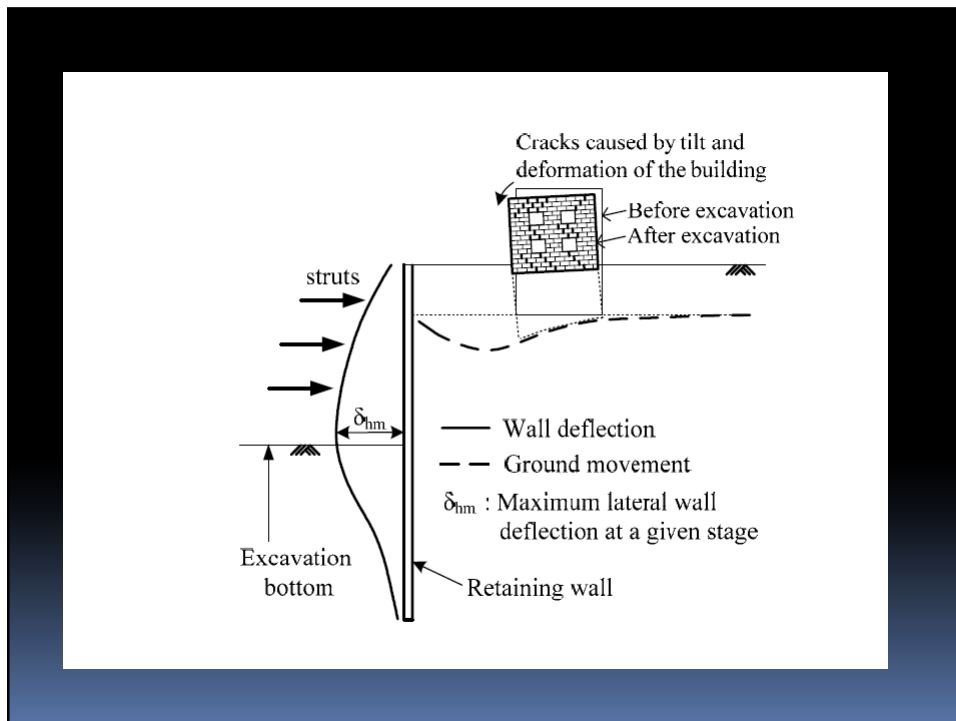
A escavação de túneis provoca, em menor ou maior magnitude, **deslocamentos na superfície** (recalques) e **convergência da seção escavada**



*Comportamento do maciço e influências*



**Tijela típica de recalques, no campo**



**Sistema de Instrumentação****FUNÇÃO**

- \* Monitorar as condições do meio redor da obra (recalques nas estruturas lindeiras, efeitos no lençol freático, qualidade do ar, vibrações, ruído, etc)

**Sistema de Instrumentação****FUNÇÃO**

- \* Auxiliar na validação / verificação do(s) **modelo(s) geomecânico(s)** assumido(s) em fase de projeto
- \* Verificar e validar os **parâmetros geomecânicos** de projeto – possibilidade de aferição e alteração através de **retro análises**, sempre que possível ou pertinente – **premissa básica Método Observacional**
- \* Obter importantes informações do comportamento do maciço durante o período de obra e, eventualmente, operação do túnel → **Realimentar informações de projeto** (investigações geológico – geotécnicas de campo e lab) em função do comportamento real observado

## Instrumentação

**Sistema de instrumentação****FUNÇÃO**

- \* Rever previsões de comportamento / rever níveis de alerta
- \* Medir **esforços no revestimento** do túnel e avaliar seu **desempenho** durante a construção e, eventualmente, durante a operação

Principal **ferramenta de monitoramento e controle** da **construção** → subsídio de **fundamental importância ao ATO**  
(Acompanhamento Técnico de Obras)

## Instrumentação

**Sistema de Instrumentação****FUNÇÃO**

- \* Subsidiar o **Gerenciamento dos Riscos** internos à obra e externos – riscos de terceiros
- \* embasar interação com Cia de Seguros durante período construtivo e operacional
- \* Prover **dados / informações para projetos futuros e pesquisas** acadêmicas

## Instrumentação

***Projeto de instrumentação***

Definição do sistema de instrumentação a ser adotado na obra - quantidade, locação, tipos, periodicidade de leitura – é função da:

- **Localização da obra** – meio urbano, rural, proximidade de edificações, interferências
- **Nível de risco** assumido
- **Sugestões / recomendações:** ISMR, British Geotechnical Society, DER

## Instrumentação

***Projeto de instrumentação***

- **Complexidade** e dimensões da obra
- **Nível de conhecimento** geológico / geotécnico / geomecânico da área de implantação (investigações de campo e lab, obras anteriores em mesmo contexto, etc)
- **Metodologia de acompanhamento** da instrumentação proposta
- Identificação de grandezas que se mostram relevantes / condicionantes em análises de sensibilidade desenvolvidas durante fase de projeto e resultados obtidos através dos **modelos de cálculos**

Instrumentação

***Projeto de instrumentação***

***Importante:***

- Entender claramente a **limitação do que pode e o que deve ser instrumentado**
  
- Identificar **áreas / locais onde a instrumentação deve ser intensificada** para que se obtenha resultados representativos e/ou significativos → em casos de obras urbanas pode haver limitações

***Projeto de instrumentação***

***O que monitorar?***

- Comportamento do maciço face às escavações
  
- Interação solo – estruturas
  
- Interação solo – revestimento
  
- Monitoramento do condicionamento do maciço
  
- Monitoramento dos efeitos causados ao meio ambiente

## ***Projeto de instrumentação***

### ***O que monitorar?***

#### **Principalmente**

- Deslocamentos H e V de superfície e sub superfície
- Pressões de solo/rocha e/ou água no interior do maciço
- Deformações do maciço

#### Método Observacional e NATM

### **Método Observacional**

- Peck 1969
  - “*Most probable design*” – projeto inicial baseado na previsão das condições mais prováveis (e seguras) e cálculos iniciais;
  - Estabelecimento de níveis de valores de alerta ( gatilhos - “*trigger values*”) e planos de ação / contingência associados a eles;
  - Monitoramento e controle devem ser adequados para permitir implementação do plano de maneira a garantir a segurança da obra.



## Método Observacional

- **Eurocode 7**
  - Como a previsão do real comportamento em certas atividades geotécnicas é muito complexa, é possível realizar revisões de projeto durante a obra para melhor adequá-lo às situações reais de campo;
  - Antes da construção iniciar, é necessário:
    - Definir valores limites associados ao comportamento do maciço e estruturas envolvidas;
    - Definir plano de monitoramento – projeto de instrumentação (tipo de instrumentos, locação, método de análise dos dados, etc);
    - Definir plano(s) de contingência(s);
    - Revisão do processo, sempre que necessário.

## Método Observacional

- **CIRIA e Managing Geotechnical Risk**
  - Processo em que projeto, controle de construção, monitoramento e revisão de projeto tem forma contínua, controlada e integrada que permita mudanças de projeto a serem incorporadas, durante ou pós construção, quando necessárias
  - O principal objetivo do método observacional é permitir economia nos custos de obra sem comprometimento da segurança
  - Tal método não deve ser aplicado em casos em que não há tempo disponível para implementação total e segura das modificações previstas ou mesmo de planos de emergência específicos

## Fator adicional importante

Existência do Code of Practice for Risk Management of Tunnel Works, preparado pelo International Tunnelling Insurance Group em janeiro de 2006.

**FORMALMENTE TRADUZIDO PARA O PORTUGUES**

**NO INICIO DE 2008**

O ITA apóia os princípios e o espírito do uso de Gerenciamento de Riscos e concorda com os princípios do código.

O Code of Practice:

- não pretende ser impositivo em aspectos projetuais, mas requer um *projeto robusto*, que seja validado por monitoramento durante construção,
- Já é, praticamente, imposto pelas ReSeguradoras

## TIPOS DE INSTRUMENTOS E SUAS FUNÇÕES

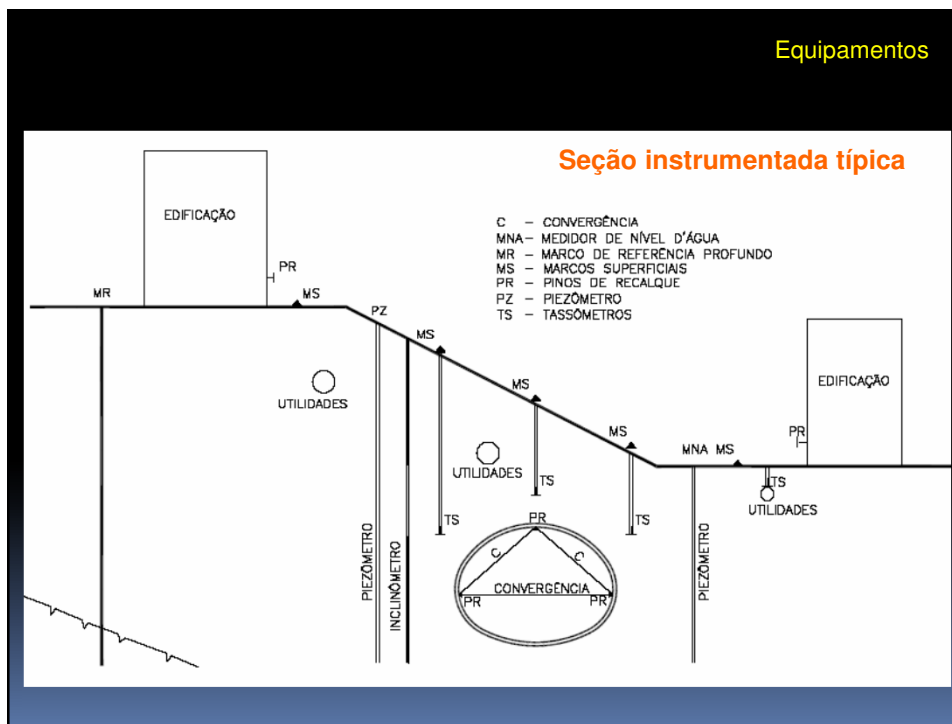
Equipamentos

***Medidos a partir de topografia (nível, estação total, etc)*****Marcos superficiais** – deslocamentos verticais superficiais medidos por estação total ou topografia**Tassômetros** – deslocamentos verticais subsuperficiais, no interior do maciço entre a superfície do terreno e a calota do túnel, também medidos com estação total ou topografia**Pinos de recalque** – deslocamentos de estruturas em regiões nas proximidades do alinhamento do túnel**Pinos de nivelamento e convergência** – deslocamentos **absolutos e relativos** no revestimento

Equipamentos

***Medidas diretas*****Inclinômetros** - deslocamentos horizontais em profundidade**Extensômetros** – medidas de deformações no maciço**Células de carga** – medidas de tensões no revestimento ou maciço**Piezômetros** – medidas de poro pressões no interior do maciço**Indicadores de nível de água** – medidas da posição do nível de água no interior do maciço

## Equipamentos



## Equipamentos

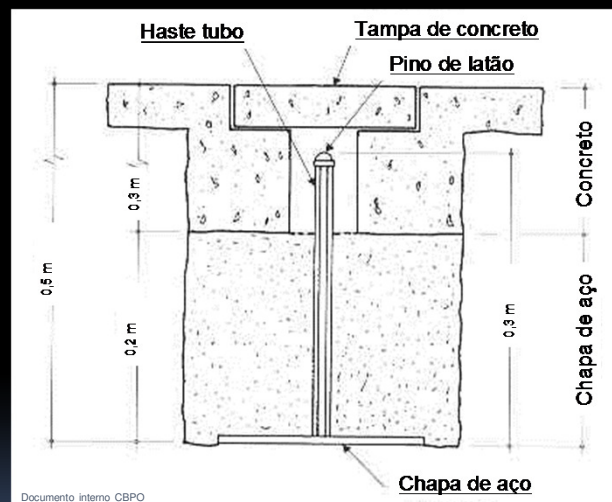
**Marcos superficiais**

- **placas concretadas in loco**, cerca de até 1 m abaixo da superfície do terreno, dotadas de haste com pino de referência para medidas de nivelamento topográfico e protegidas por caixa geralmente de concreto ou metal
- controle de **recalques superficiais** do terreno
- **Padrão usual de medidas**: diárias (uma ou mais vezes por dia) realizadas durante a fase de escavação, quando a seção instrumentada está a uma distância da ordem de  $2 \phi$  antes e  $3 \phi$  após a frente de escavação

## Equipamentos

**Marcos superficiais**

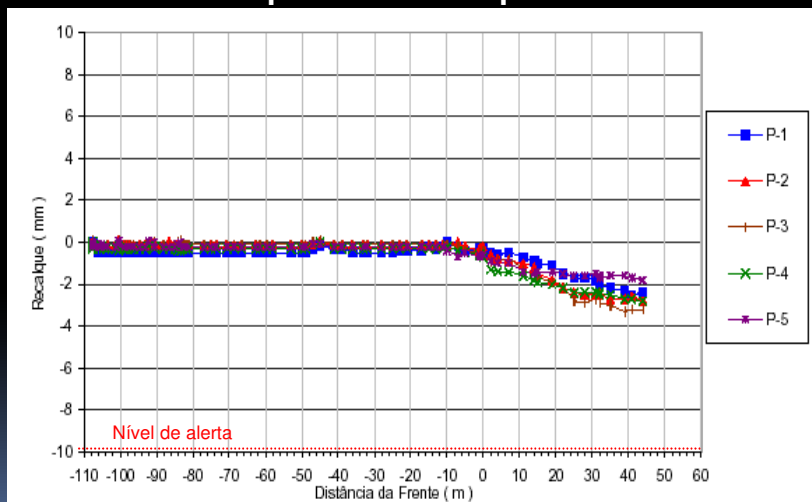
- seções instrumentadas com distâncias superiores à frente de escavação tem leituras menos freqüentes, devendo ser definidas pela Projetista
- permitem, para cada seção transversal, indicar a “bacia” de recalques resultante dos deslocamentos e calcular a perda de volume, os recalques diferenciais específicos e as distorções decorrentes

**Marco Superficial Típico**



Equipamentos

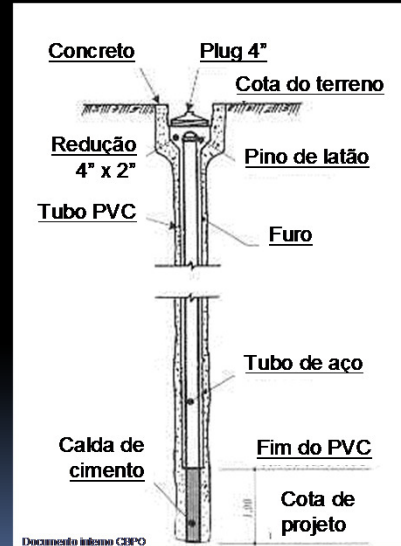
Placas de recalque - Marcos superficiais



Equipamentos

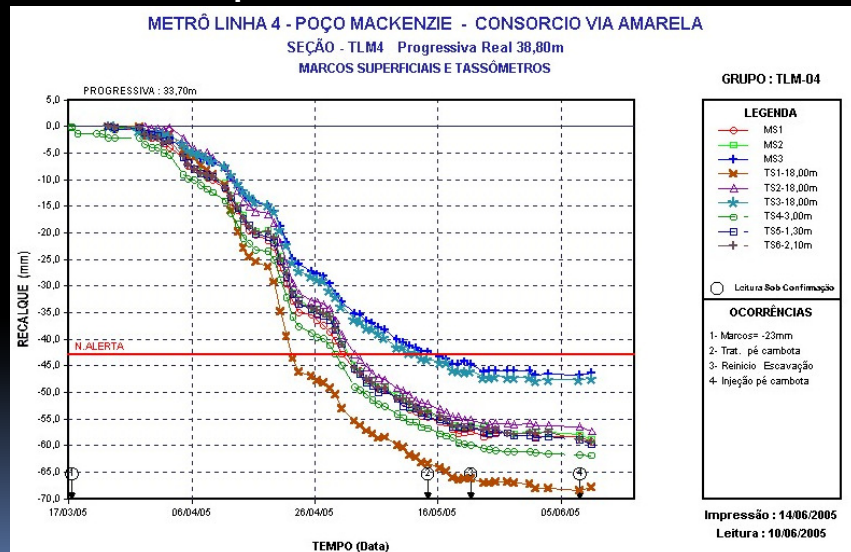
Tassômetros

- o instrumento utilizado é semelhante ao do marco superficial, porém o "bloco" de concreto solidarizado ao terreno fica no interior do maciço, geralmente em profundidade intermediária entre a superfície e o túnel sendo escavado
- medida de recalques no maciço
- bacia de recalques de uma seção no interior do maciço
- avaliar / comparar com recalques superficiais e nivelamento interno ao túnel, interpretando a atenuação por arqueamento



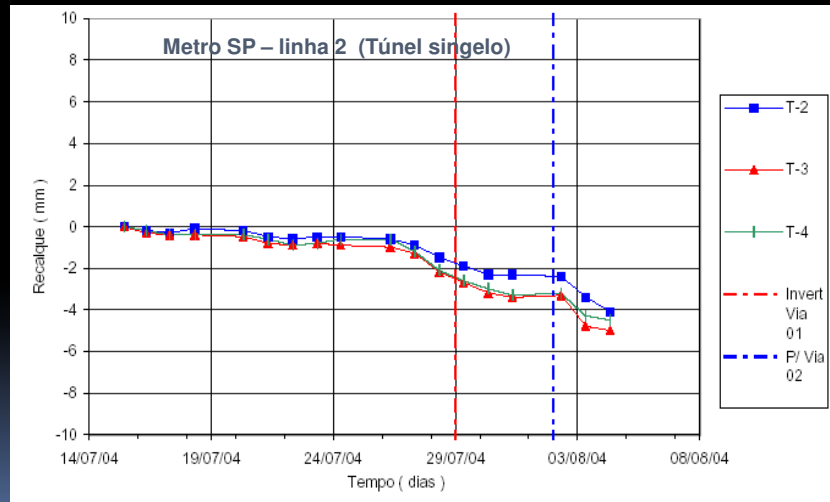
Equipamentos Usuais

Marcos superficiais e tassômetros



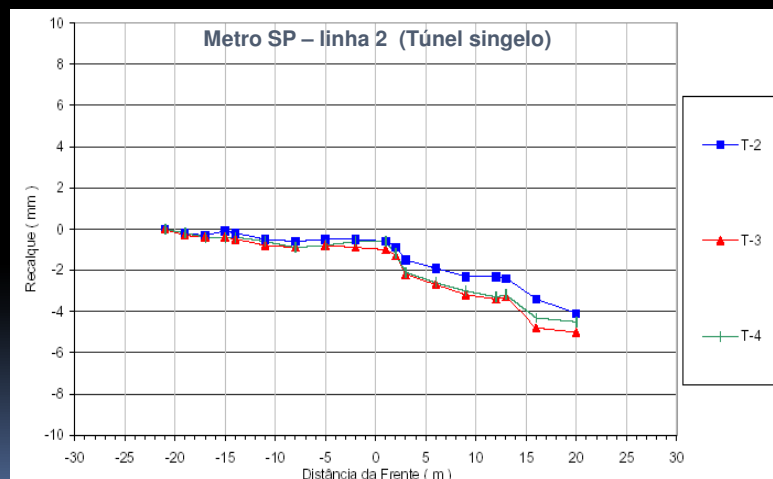
## Equipamentos Usuais

### Tassômetros



## Equipamentos Usuais

### Tassômetros







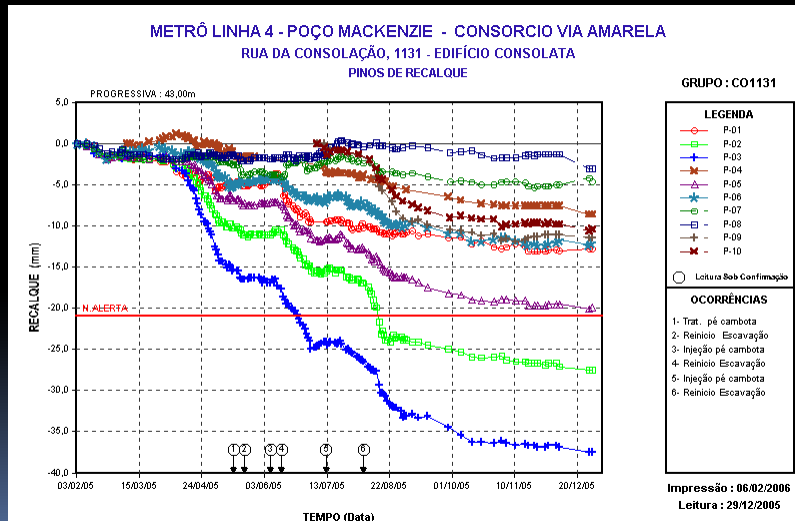
## ***Equipamentos Usuais***

### **Pinos de Nivelamento**

- **pinos metálicos solidarizados a pontos específicos de estruturas** na superfície do terreno
- medir movimentações (principalmente V) das estruturas, decorrentes das escavações
- avaliar **recalques diferenciais** entre pontos próximos e avaliar distorções

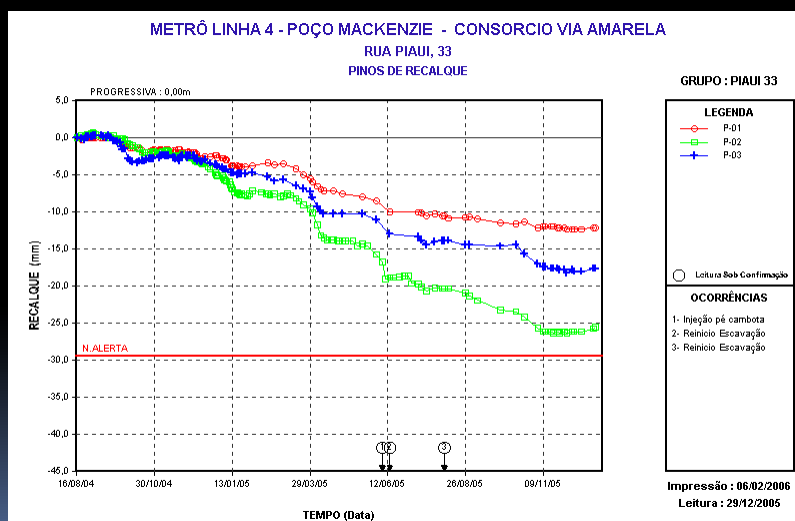
## Equipamentos Usuais

### Pinos



## Equipamentos Usuais

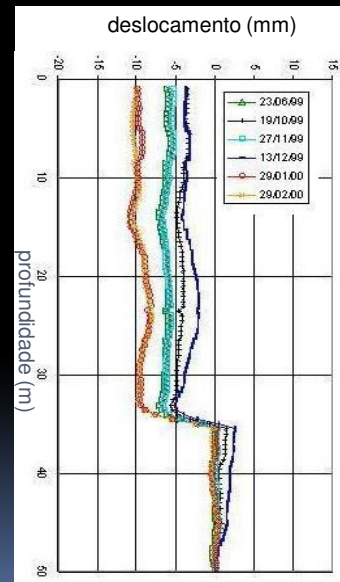
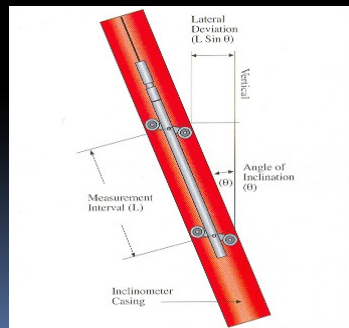
### Pinos



## Equipamentos Usuais

### Inclinômetros

- medir **deslocamentos horizontais** no maciço em profundidade – em perfis verticais
- comumente utilizados junto a poços verticais onde se localizam frentes de ataque à obra de escavação subterrânea

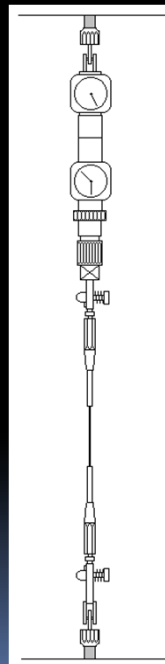


## Equipamentos Usuais

### Convergência

- medida da distância entre pinos permite avaliar a convergência da seção escavada –

**IMPORTANTE MEDIR DESLOCAMENTOS RELATIVOS E ABSOLUTOS**



## Equipamentos Usuais

### Pinos Internos de Nivelamento e Convergência

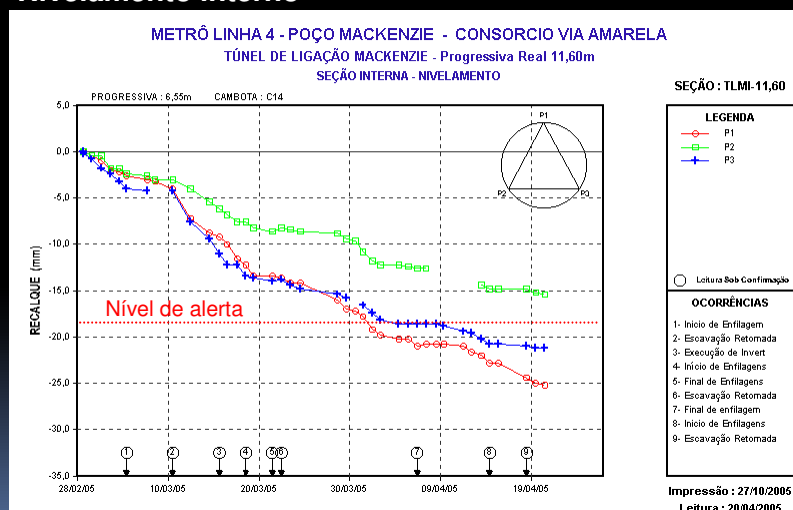
- pinos instalados no **interior do túnel**, junto à cambota ou revestimento
- são feitas leituras de nivelamento topográfico dos pinos – nível ou estação total
- medida da distância entre pinos permite avaliar a convergência da seção escavada – **IMPORTANTE MEDIR DESLOCAMENTOS RELATIVOS e ABSOLUTOS**
- a medida de **convergência** é imprescindível no acompanhamento do comportamento do maciço
- são instalados somente após a escavação, insuflamento de ar, colocação do suporte limpeza e/ou “bate choco”, portanto “perdem” parte dos deslocamentos sofridos pelo maciço em seu estágio inicial





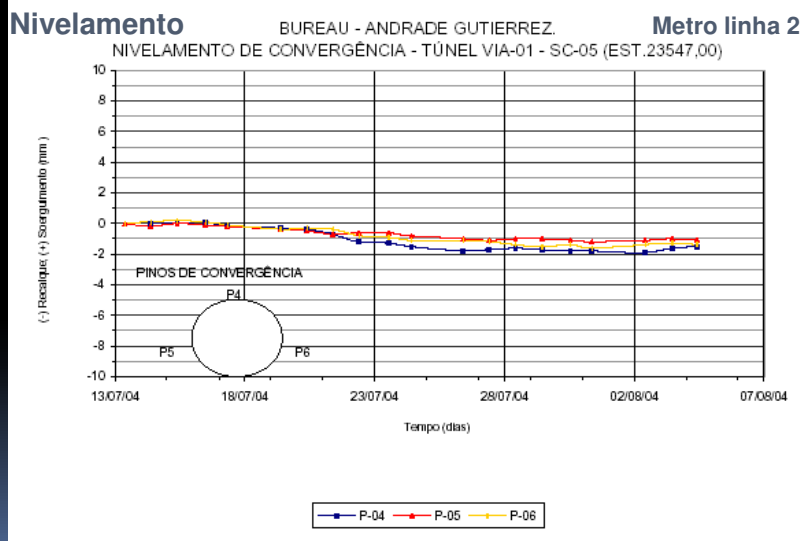
## Equipamentos Usuais

### Nivelamento interno



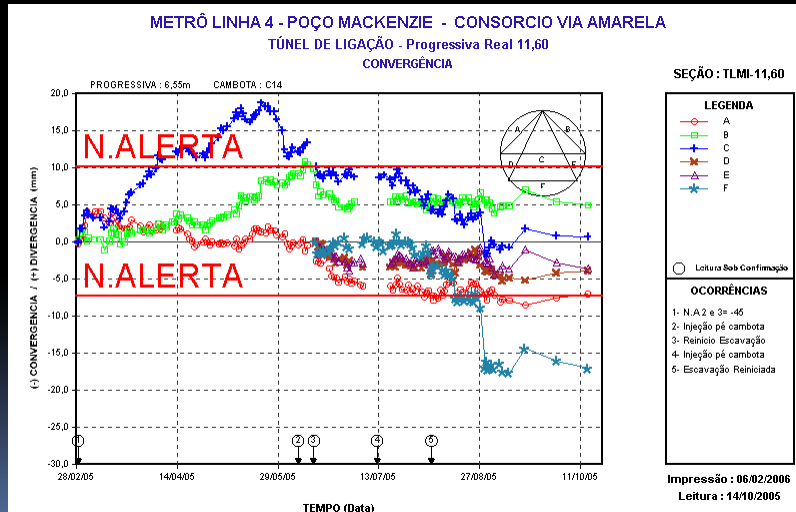


### Equipamentos Usuais



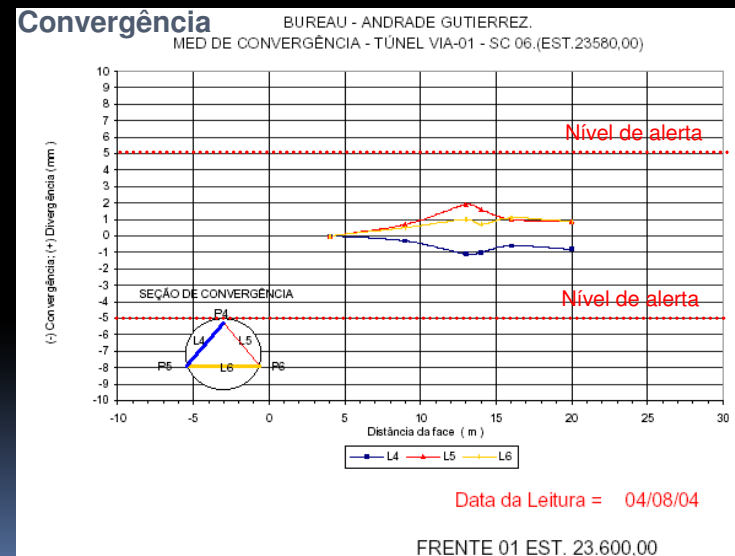
## Equipamentos Usuais

### Convergência



## Equipamentos Usuais

### Convergência





## Equipamentos Usuais

### Extensômetros (*strain gauges*)

- Medidas de deformações do **revestimento**, possibilitando a verificação de esforços de compressão ou tração nas cambotas e/ou partes da estrutura de revestimento
- Instalados no **concreto ou armadura** dependendo do tipo de suporte do túnel
- Compensação de temperatura – próprio equipamento ou a partir de cálculos



Extensômetro de armadura



Extensômetro de estrutura

## Equipamentos Usuais

### Extensômetros de haste

- Medidas de **deformações no maciço** – geralmente em rocha, do trecho entre os extremos do extensômetro – ponto de ancoragem e cabeça de referência
- Elétrico (potenciômetro) ou Mecânico (micrômetro)
- Compensação de temperatura

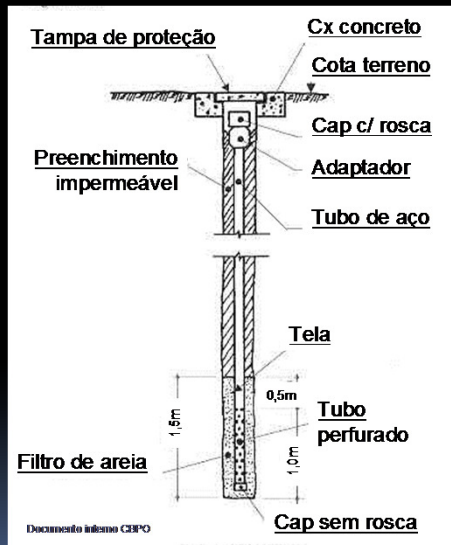




## Equipamentos Usuais

### Piezômetros

- medir a pressão de água (**pressão neutra**) estática ou em regime de fluxo no interior do maciço
- quando o maciço apresenta mais de um nível freático, é possível instalar várias células de leitura numa mesma vertical (piezômetros individuais)
- níveis de água “empoleirados”
- Interpretar redes de fluxo em direção à escavação sob hipótese de meio contínuo



## Equipamentos Usuais

### Piezômetros

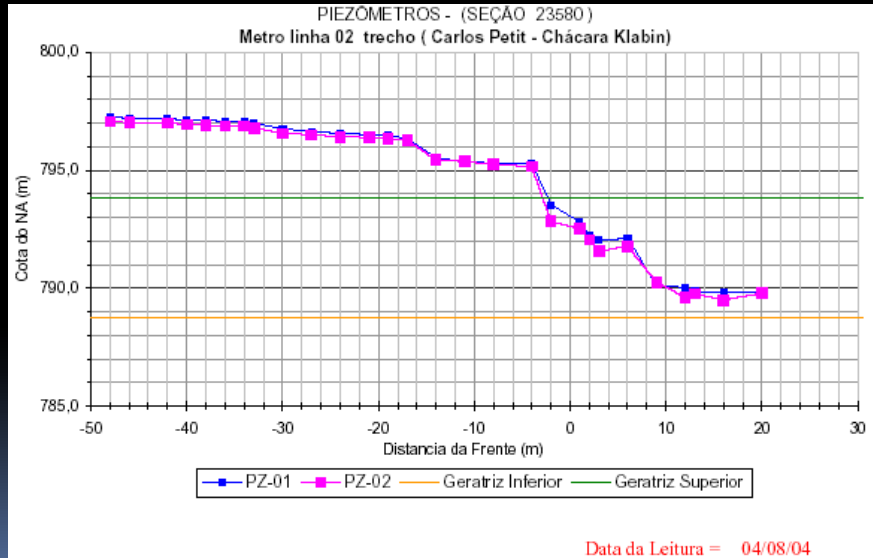
- Tipos disponíveis
  - Casagrande
  - Pneumático
  - Hidráulico
  - Elétrico





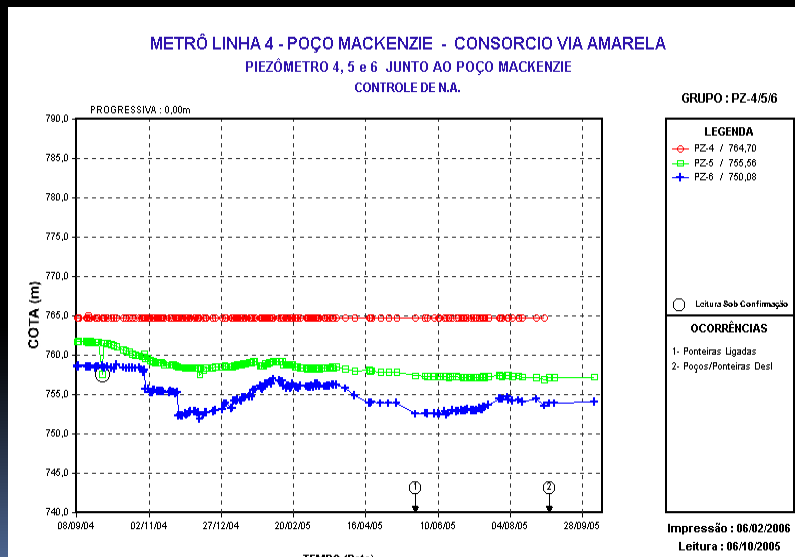
## Equipamentos Usuais

### Piezômetros



## Equipamentos Usuais

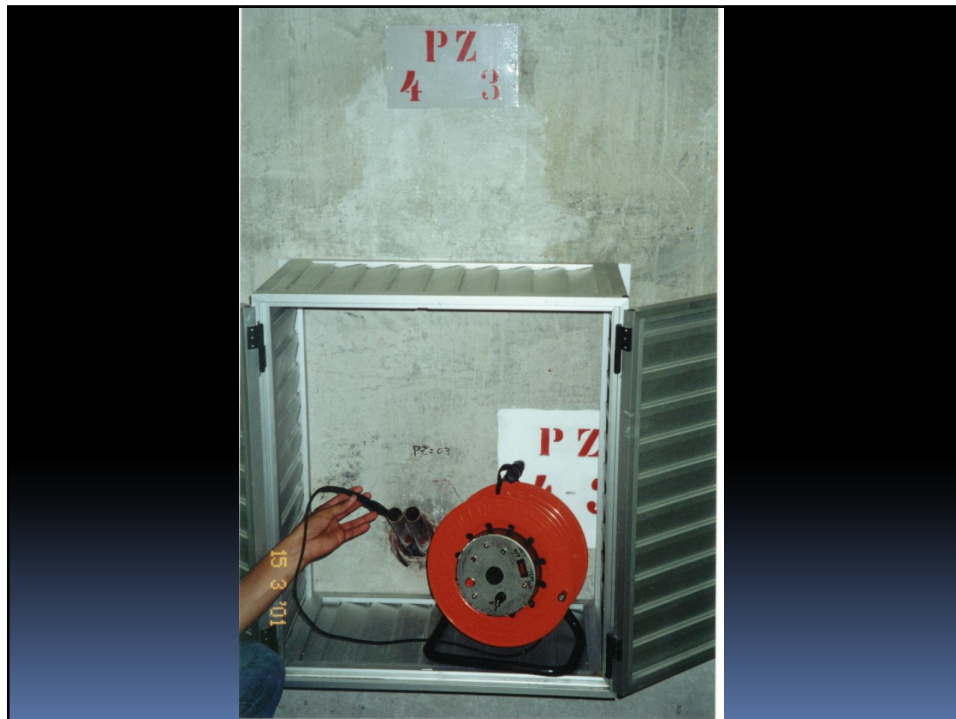
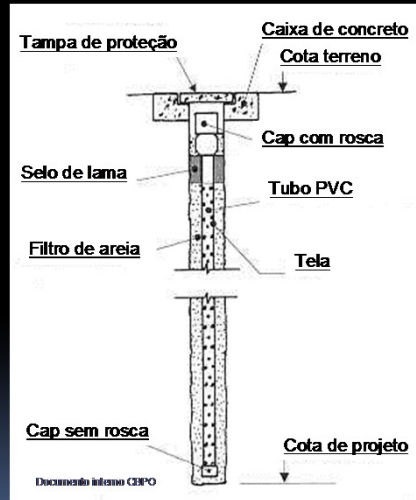
### Piezômetros



## Equipamentos Usuais

### Medidores de nível de água

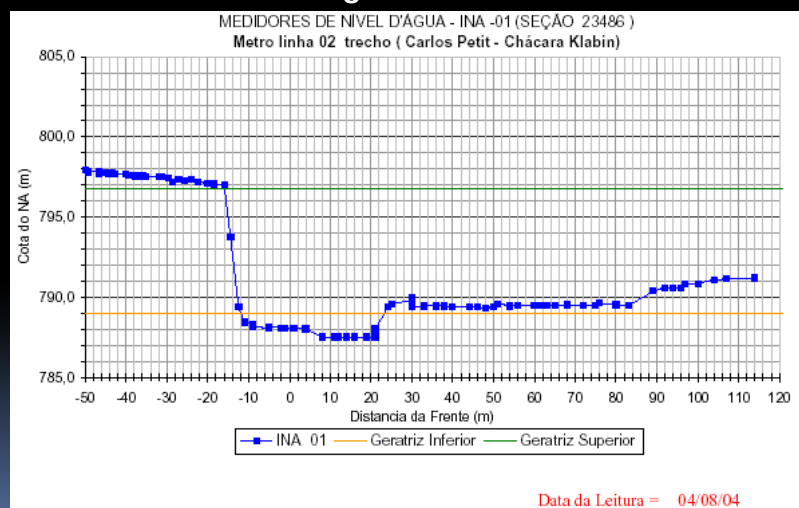
- medir o nível do lençol freático no interior do maciço
- pressupõe condição estática de aquífero, sem rede de fluxo, ou lê a máxima pressão na vertical, postulando que seja a freática puntual





## Equipamentos Usuais

### Medidores de nível de água



## **Equipamentos Usuais**

### **Células de carga**

- medida de pressões totais - compressão
- contatos estrutura / revestimento com solo – muito difícil que as condições de compactação no entorno “zerem” os efeitos de instalação
- carga em tirantes







## **Equipamentos**

***Ainda pouco utilizados no Brasil***

**+ Estações totais automatizadas integradas a sistemas de transmissão de dados via internet**



- medidas com **maior freqüência** - de maneira **contínua**
- maior número de pontos de medida
- **rapidez na transmissão** de dados → agilização da manipulação e processamento informação

## ***Equipamentos e monitoramento***

### **Brasil x Tendências Mundiais**

- Variabilidade de equipamentos não é a principal diferença
  - equipamentos utilizados atualmente no BR são suficientemente “sofisticados” para o acompanhamento / monitoramento adequado de obras subterrâneas em período construtivo ou operacional
  
- Metodologia de acompanhamento e sistemas de auxílio à leitura, tratamento / manipulação e gerenciamento de dados *estão em evolução para*
  - ***Sistemas automatizados de leitura / aquisição de dados → Informação instantânea***
  - ***Softwares específicos para manipulação de dados – interfaces amigáveis e apresentação de fácil assimilação***

**CONCEITO, IMPORTÂNCIA E  
LIMITAÇÕES DE NÍVEIS DE ALERTA**

Monitoramento

### **Níveis de Atenção, Alerta e Emergência**

- \* Valores baseados em resultados de análises numéricas de projeto ou soluções fechadas de previsão de recalques e/ou demais comportamentos em análise → **VALIDADE e REPRESENTATIVIDADE**
- \* Geralmente adota-se parcelas dos valores obtidos em cálculos para definição dos gatilhos (“*trigger values*”) associados a situações de atenção e alerta
- \* Níveis de deslocamentos / deformações devem estar associados a planos de ações mitigadoras - **planos de contingenciamento / emergenciais**

Monitoramento

### **Níveis de Atenção, Alerta e Emergência**

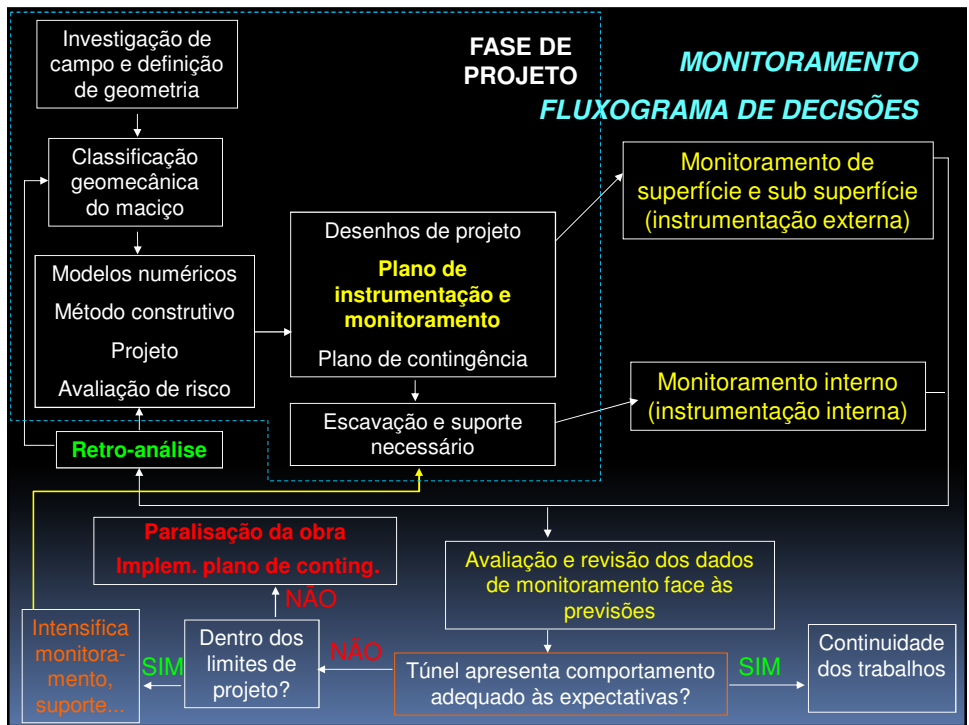
- \* Para **cada instrumento** instalado, ou conjunto desses, deve-se definir diferentes níveis de ação
- \* Os níveis de ação definidos representam uma **referência**, e só são úteis se bem definidas as linhas de ação para o caso de superação dos mesmos

**Monitoramento**

**Níveis de Atenção, Alerta e Emergência**

Comportamento tensão deformação de diferentes tipos de litologias de rochas

Esse é o caso de comportamentos associados a rupturas frágeis, desavisadas como dizemos, e que é difícil prever pela instrumentação. Este comportamento é muito diferente daquele dúctil



*Monitoramento***Níveis de Atenção, Alerta e Emergência**

- **Atenção**
  - revisão de frequência de leituras,
  - reavaliação de projeto (suporte, método construtivo),
- **Alerta**
  - retroanálises,
  - reavaliação de projeto (suporte, método construtivo),
  - paralisação da obra,
  - implementação de plano de contingenciamento
- **Emergência**
  - evacuação da obra e áreas vizinhas
  - intensificação ações acima

**Obra Metro RJ - Estações**

- 2 Aspectos importantes:
  - Escavações profundas, de maneira geral, próximas a edificações => necessidade de limitação de deslocamentos para reduzir impactos no meio
  - Conceito de impermeabilização de fundo => nível de água alto + tipo de solo (areia uniforme) => pequeno(s) defeito(s) representa(m) risco elevado de carreamento
- Necessidade de conceito de projeto robusto
- Instrumentação importante, mas somente se permitir ações rápidas

## Obra Metro RJ – Túnel em Areia

- Avanço do TBM deve ser rápido
- Tipo de solo susceptível a carreamento (evento rápido, sem “aviso”).
- Instrumentação deve ser ágil e “casada” com operação do TBM => medições de volume escavado x avanço; acompanhamento desempenho parafuso sem fim.
- Conceito de Projeto “robusto” => Estruturas críticas => proteção prévia contra possível cenário de carreamento ou recalque excessivo?

INSPEÇÕES DE CAMPO:  
O QUE OBSERVAR

## O que observar

- 2 Universos:
  - Túnel ou vala => controle da estabilidade e serviço
  - Estruturas na superfície => mesmo se o túnel estiver "seguro", estruturas na superfície podem não estar
- É necessário que os dois aspectos sejam acompanhados

## O que observar

- Túnel /Vala-
- Internamente:
  - Recalques e deslocamentos horizontais
  - Convergência
- Externamente:
  - Estruturas – geralmente recalques
  - Superfície – geralmente recalques
  - Vibrações (no caso de desmonte com explosivos)
  - Nível de água (INA's e PZ's).
  - Inspeções visuais => interação com a comunidade

## Estruturas – o que observar

### Abertura de fissuras e nível de dano causado à estrutura

Damage Category	Description of Typical Damage	Approximate Individual Crack
Negligible (0)		
Very Slight (1)	Abertura de Trincas x nível de dano: <0,1 mm - desprezível	
	Very slight damage includes fine cracks which can be easily treated during normal	
	Abertura de Trincas x nível de dano: 1 mm - muito pequeno	
Slight (2)	Abertura de Trincas x nível de dano: < 5 mm - pequeno	
	building, cracks which are visible externally and some repointing may be required, and doors and windows may stick	
Moderate (3)	Abertura de Trincas x nível de dano: 5 a 15 mm ou várias trincas > 3mm - moderado	
	required, doors and windows stick, service pipes may fracture, and weather-	
Severe (4)	Abertura de Trincas x nível de dano: 15 a 25 mm dependendo também da quantidade - severo	
	distorted windows and door frames, nonceably sloping floors, leaning or bulging on the interior of walls, some loss of bearing in beams, and disintegrated service pipes	
Very Severe (5)	Abertura de Trincas x nível de dano: > 25 mm – muito severo	
	with distortion, and there is danger of structural instability.	



Trinca inclinada em alvenaria – recalque diferencial => aparentemente sem dano estrutural





Trinca inclinada em viga => foi removido revestimento e confirmado dano na estrutura => CRÍTICO!



Conjunto de trincas em alvenaria e possivelmente estrutura => necessidade de melhor investigação. Abertura de trincas significativa

### Comportamento do maciço e influências

#### Deformação crítica de varias estruturas em distintos modos de deformação

Test Conditions	Mode of Deformation	Critical Strain
Brick buildings with $L/H > 3$ <sup>16</sup>	Tensile from flexure	0.05%
Full scale frames with brick in-fill <sup>17, 18</sup>	Diagonal-tensile	0.081% to 0.137%
	Shear approximation	0.16% to 0.27%
Hollow tile & clinker block, brickwork <sup>17, 18</sup>	Shear distortions	0.22% and 0.33%
Hollow tile & clinker block, brickwork <sup>17, 18</sup>	Diagonal-tensile	0.11% to 0.16%
Full scale brick walls with supporting concrete beams, $1.2 < L/H < 3.0$ <sup>19</sup>	Tensile from flexure	0.038% to 0.06%
Concrete beams supporting brick walls <sup>19</sup>	Tensile from flexure	0.035%
Fibreboard or plywood on wood frame <sup>20</sup>	Shear strain	0.6% to 1.66%
Gypsum fiberboard/plaster on wood frame <sup>20</sup>	Shear strain	0.37% to 0.7%
Structural clay tiles with cement-lime mortar <sup>20</sup>	Shear strain	0.1%
Clay brick with cement-lime mortar <sup>20</sup>	Shear strain	0.1% to 0.2%
Cement-lime mortared concrete blocks <sup>20</sup>	Shear strain	0.1%
Core samples of brick and mortar <sup>21</sup>	Tension	0.001% to 0.01%
Full scale brick walls in field test <sup>22, 23</sup>	Tension	0.02% to 0.03%
Re-evaluation of full scale wall panel tests <sup>24</sup>	Principal tensile	0.02% to 0.03%

## Estruturas na superfície

- Avaliar segundo critério objetivo (recalques limite  $1/xxx$ , ou similar)
- Inspeccionar frequentemente e ENTENDER eventuais comportamentos adversos
- Conhecer tipo de estrutura e seus limites teóricos
- Nunca deixar de considerar possíveis riscos para usuários: quebra de vidro, queda de vigas simplesmente apoiadas, etc.

*Comportamento do maciço e influências***para pensar .....**

Grande problema é que sempre se estima as deformações e distorções **adicionais**, geradas pela escavação do túnel, assumindo que a estrutura não tenha sofrido deslocamentos anteriores →

hipótese de condição virgem

Em obras urbanas como levar em consideração as deformações anteriores de cada estrutura, função de sua construção e outras ações, e que não necessariamente geraram trincas ou fissuras visíveis em inspeções ?

Como saber se recalques diferenciais específicos limite da ordem de 1/500 (Bjerrum) consideradas usualmente em projetos são adequadas a edificações “antigas” ?

## ANÁLISE DE DADOS

*Monitoramento****Manipulação dos dados de instrumentação***

- Leituras mecânicas / manuais – tornam o processo lento / ineficiente
- **Fundamental** - Apresentação das leituras da instrumentação na forma de **gráficos** que relacionem variáveis básicas e permitam a **visualização rápida, clara e direta de tendências de comportamento do maciço e da estrutura**
  - Gráficos – deslocamentos no tempo e espaço, velocidades de deslocamento no tempo e espaço
  - Importância da rapidez da disponibilização dos dados de leituras devidamente “limpos” e interpretados

*Monitoramento****Manipulação dos dados de instrumentação***

- **Tendências atuais**
  - sistemas **automatizados** de leituras, permitindo realização de leituras com maior frequência
  - transmissão automática de dados via internet
  - utilização de programas para **tratamento automático e visualização** dos dados coletados

*Monitoramento****Interpretação dos dados de instrumentação***

- Avaliação de tendências de comportamento – análise da evolução de deslocamentos
  - Conceitos de **instabilização / estabilidade**  
Tendências de **aceleração ou desaceleração** de movimentos
- Avaliação do comportamento observado com previsões de cálculo

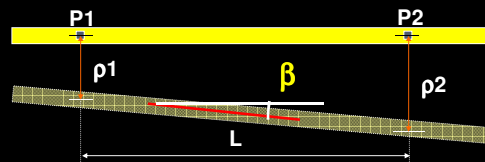
*Monitoramento****Interpretação dos dados de instrumentação***

- **Comparação direta**
  - entre seções instrumentadas
  - entre equipamentos próximos, por ex. tassômetros x pinos nivelamento
- **ESCAVAÇÕES MECANIZADAS TBMs**

Análise de perda de volume – a partir de medidor de peso material escavado continuamente; analisando conjuntamente com o avanço real a partir de coeficientes de empolamento, tem-se importante informação relacionada à possibilidade de se estar criando caverna

*Comportamento do maciço e influências*

**Recalque e recalque diferencial específico**



Recalques:  $\rho_1$  e  $\rho_2$

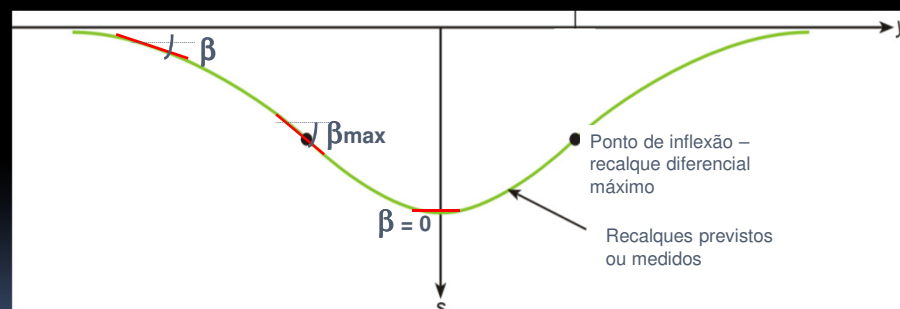
Recalque Diferencial:  $R = |\rho_1 - \rho_2|$

Recalque Diferencial Específico:  $\beta = R / L$  ou  $|\rho_1 - \rho_2| / L$

*Comportamento do maciço e influências*

**Recalque**

Recalques diferenciais específicos  
ao longo da bacia de recalques



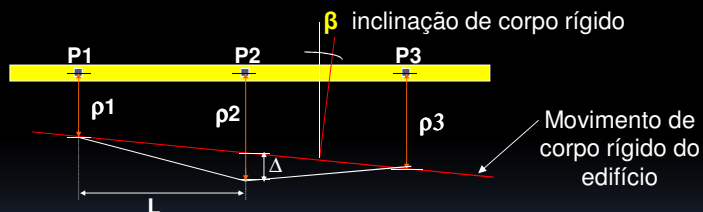
*Comportamento do maciço e influências*

### Valores usuais de **Recalques Diferenciais Específicos** limite (apud Bjerrum 1963)

$\beta$	Limite
1 / 500	Limite seguro para evitar-se danos em paredes de edifícios
1 / 300	Limite a partir do qual aparecem trincas em paredes de edifícios
1 / 150	Limite a partir do qual se pode esperar danos estruturais em edifícios correntes

*Comportamento do maciço e influências***Distorção angular**

Distorção angular é a diferença entre o recalque diferencial específico e o movimento de corpo rígido do edifício



$$|\rho_1 - \rho_2| / L = \Delta / L + \tan \beta$$

Recalque Diferencial Específico:  $\beta = R / L$  e  $R = |\rho_1 - \rho_2|$

Distorção angular:  $\alpha = \Delta / L = |\rho_1 - \rho_2| / L - \tan \beta$

*Comportamento do maciço e influências***Distorção angular**

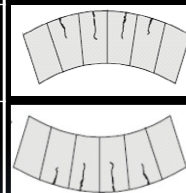
Esta 2a aproximação é usada quando se verifica que um edifício, com estrutura articulada nas fundações, já tenha atingido o limite de aceitabilidade pelos critérios de 1a aproximação.

Como a 2a aproximação é bem menos conservadora, esse edifício poderá eventualmente ser liberado sem reforço ou serviços na estrutura

Indicações / critérios de Burland e Wroth servem de referência

*Comportamento do maciço e influências*
**Valores limite de *distorção angular* propostos por Burland & Wroth, 1974**

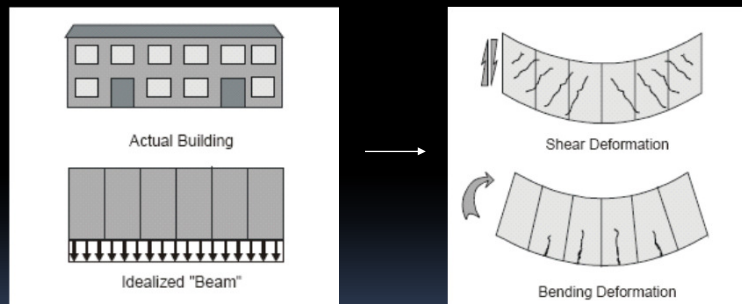
$\alpha$	Limite
1 / 2000	Limite para alvenaria portante distorção dorsal
1 / 1000	Limite para alvenaria portante distorção ventral
1 / 500	Limite para pórticos com painel de alvenaria





### Comportamento do maciço e influências

Efeitos de recalques em edifícios – modelo idealizado da parede de edifício como viga – distorção ventral



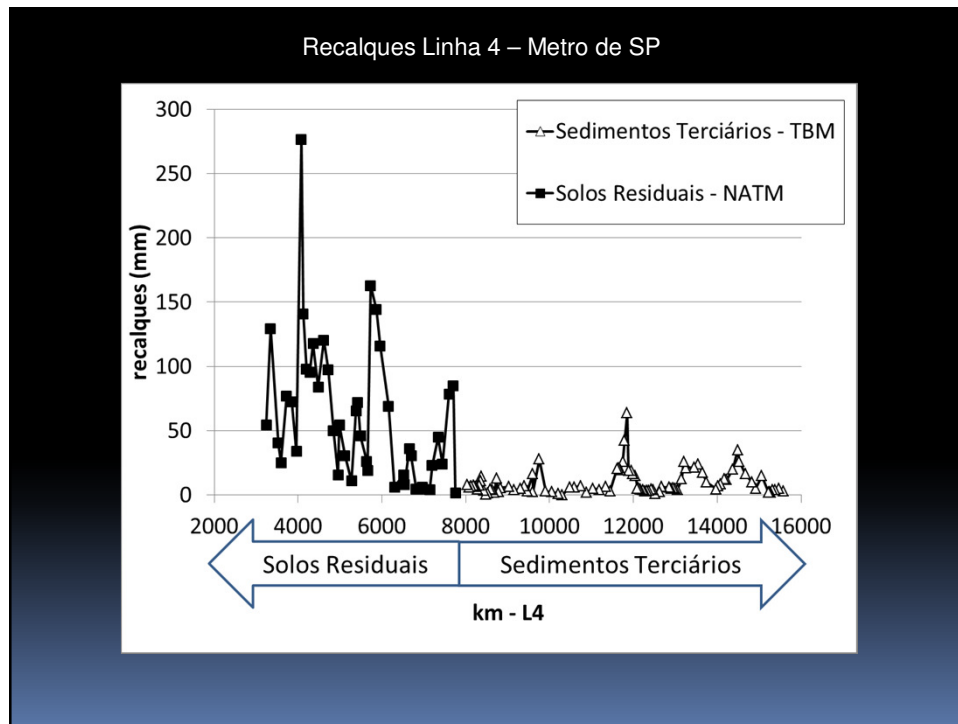
Burland et al, após 1977

### ***Recalques e perda de volume***

Eisenstein cita como usuais para perda de volume em túneis escavados com TBM de frente balanceada os seguintes valores:

- 1% para túneis escavados em **solos coesivos normalmente adensados ou levemente sobreadensados** ou **solos granulares**
- 0,5% para túneis escavados em **solos sobre- adensados** ou **solos condicionados/tratados previamente**

Em TBMs temos a possibilidade de tentar equacionar o avanço com a quantidade de material pesado na correia transportadora (função empolamentos, etc)



INTERFACES: PROJETO-  
OBRA-ATO

### **ATO – Acompanhamento Técnico de Obras**

#### **ATO**

Equipe de **especialistas** (técnicos, geólogos e engenheiros) devem **acompanhar continuamente** o avanço da obra de escavação de túneis.

Em geral é constituída por elementos da equipe de projeto, com conhecimento prévio das hipóteses e condicionantes de projeto.

### **ATO – Acompanhamento Técnico de Obras**

#### **Principais funções do ATO**

- Mapear geologicamente e observar geomecanicamente as condições do maciço junto à frente escavação, avaliando sua compatibilidade com o projeto, adequando quando necessário os dispositivos de suporte, estabilização, drenagem
- Acompanhar e interpretar continuamente os dados de instrumentação

**ATO – Acompanhamento Técnico de Obras****Principais funções do ATO**

- Discutir com a equipe de tunelagem a metodologia executiva à luz do comportamento observado e mapeado
- Alimentar a equipe de projeto para retroanalisar o comportamento observado
- Registro fotográfico da obra, associado ao lançamento das informações geológicas

**ATO – Acompanhamento Técnico de Obras**

- Comunicar à Projetista / Equipe de Escritório eventualidades não previstas em projeto, tais como deslocamentos excessivos, alteração dos materiais do maciço em relação ao previsto nos levantamentos – imprevistos geomecânicos, imprevistos geológicos, hidrogeológicos, etc
- Levantar possíveis irregularidades de execução, informando ao responsável pela execução
- Apoiar a Fiscalização
- Registrar e documentar todas as observações realizadas em relação aos itens anteriores

## RISCO E RESPONSABILIDADES

- Assunto muito amplo, mas:
  - De início, responsabilidade total é do construtor!
  - No caso de acidente, todos são investigados e, normalmente, responsabilizados:
    - Responsável técnico da obra
    - Engenheiro da Frente
    - Projetista
    - ATO
    - Etc.
  - Aspectos comerciais ficam para o 2º plano no caso de acidentes
  - Portanto, todos devem(os) sempre buscar a mitigação de riscos

- Existe uma tendência a que organizações “passem o risco, e a responsabilidade a outros”.
- Responsabilidade pode facilmente se tornar obscura.
- Uma obscura linha de responsabilidades cria um risco muito sério por si só.
- Assumir responsabilidade requer concentração plena – particularmente no caso de processos geotécnicos.

John Burland