



DE / GC4 / CLC

RELATO DA EXECUÇÃO DE TÚNEL NATM EM MACIÇO DE ALTERAÇÃO DE ROCHA NA LINHA 4 – AMARELA DO METRÔ



**Erica Costa Pereira
Arnold Freedy Steiner**

Localização do Trecho Caxingui - Morumbi

AEAMESP
15ª Semana de Tecnologia Metroferroviária
2009



Lote 1: Frad. Coutinho – Luz / 6.690m

Lote 3: Pátio V. Sônia 110.000m²

Lote 2: Pátio – Est. Fradique Coutinho / 6.122m



Localização do Trecho Caxingui - Morumbi



15ª Semana de Tecnologia Metroferroviária 2009



Shopping Butantã

Av Fco. Morato

VSE CAXINGUI

EST. SÃO PAULO MORUMBI

Av Jorge João Saad

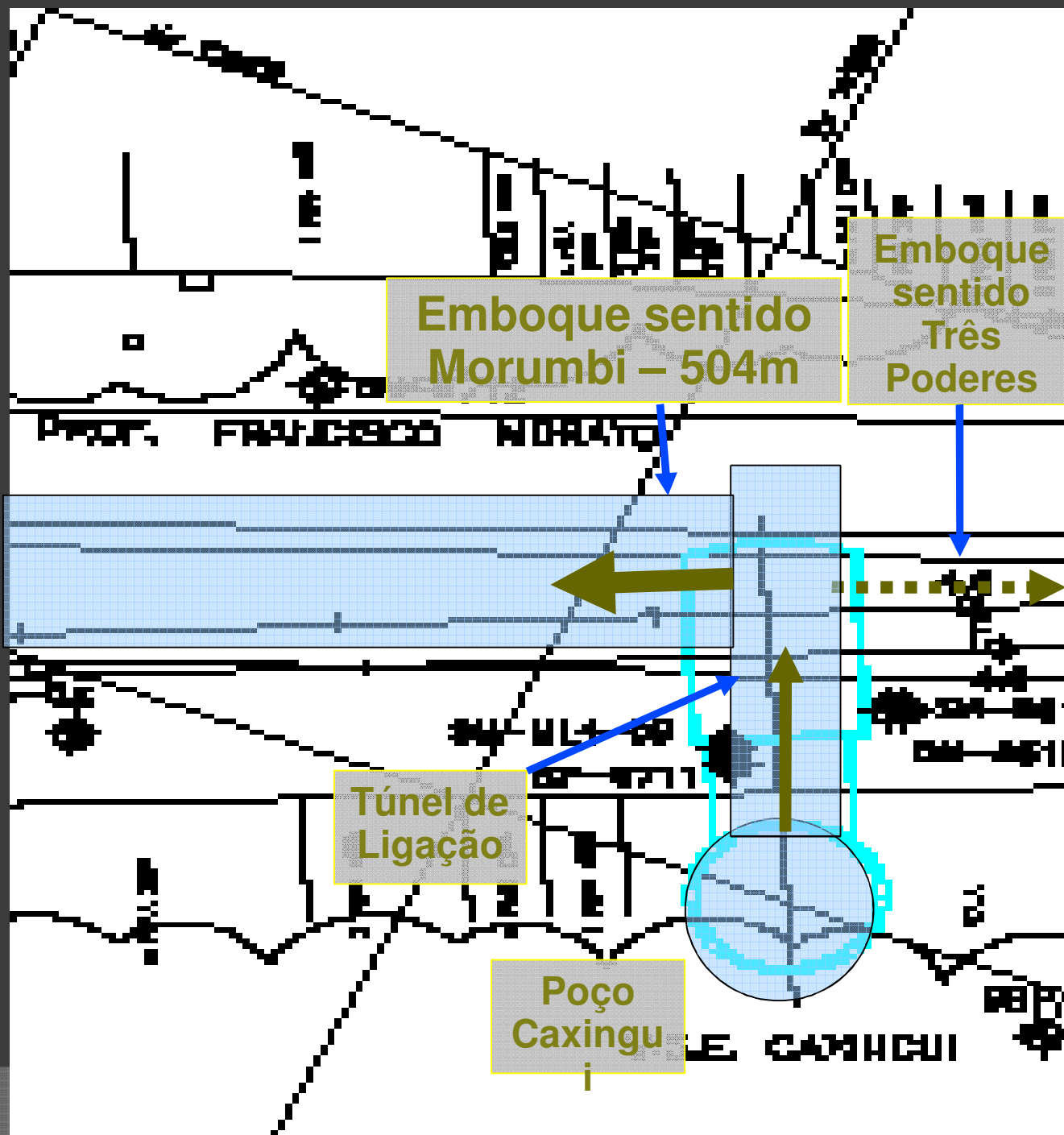
Estádio de Morumbi

74.1m

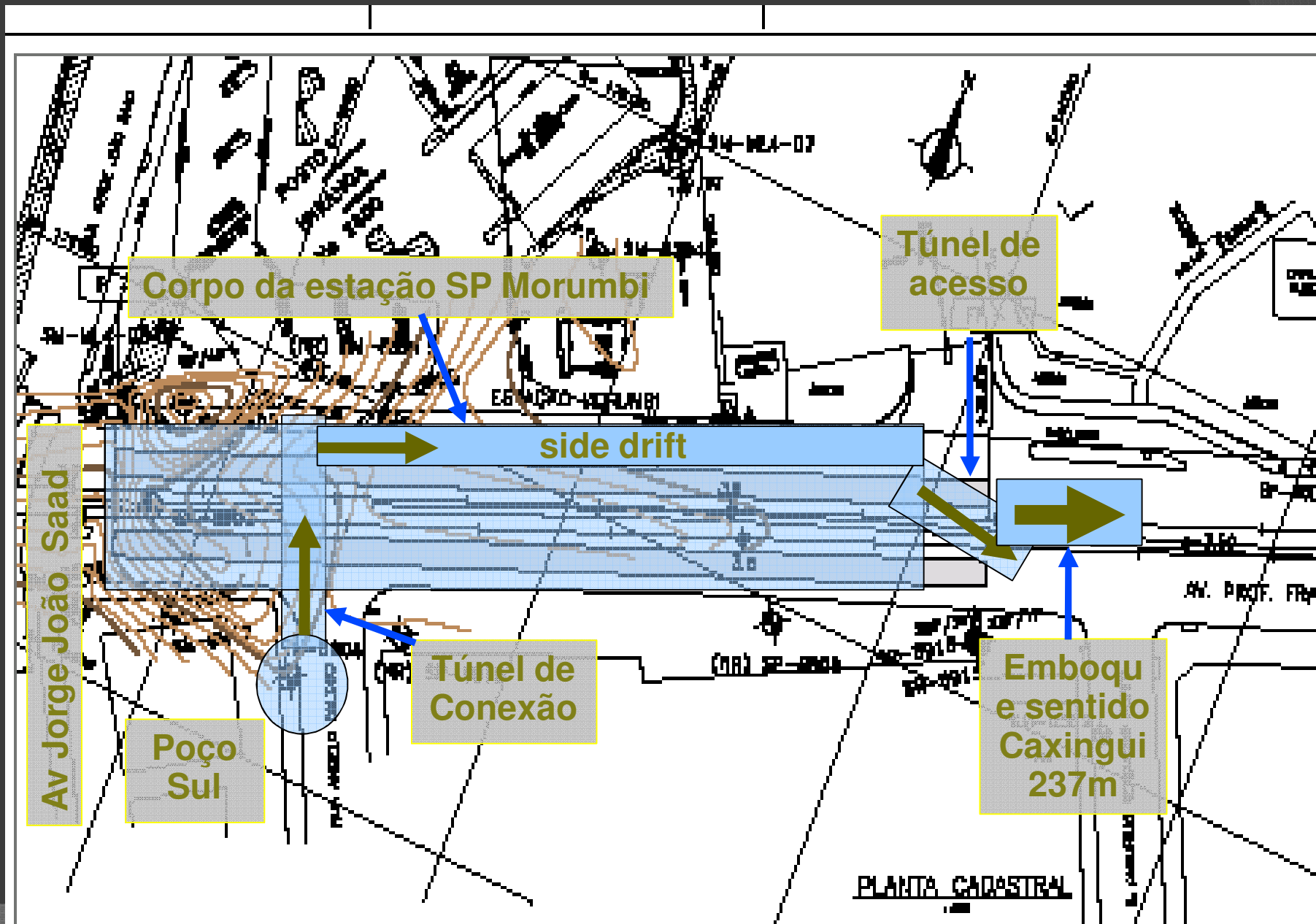
centro

Ma

Emboque Caxingui - 27/04/2006



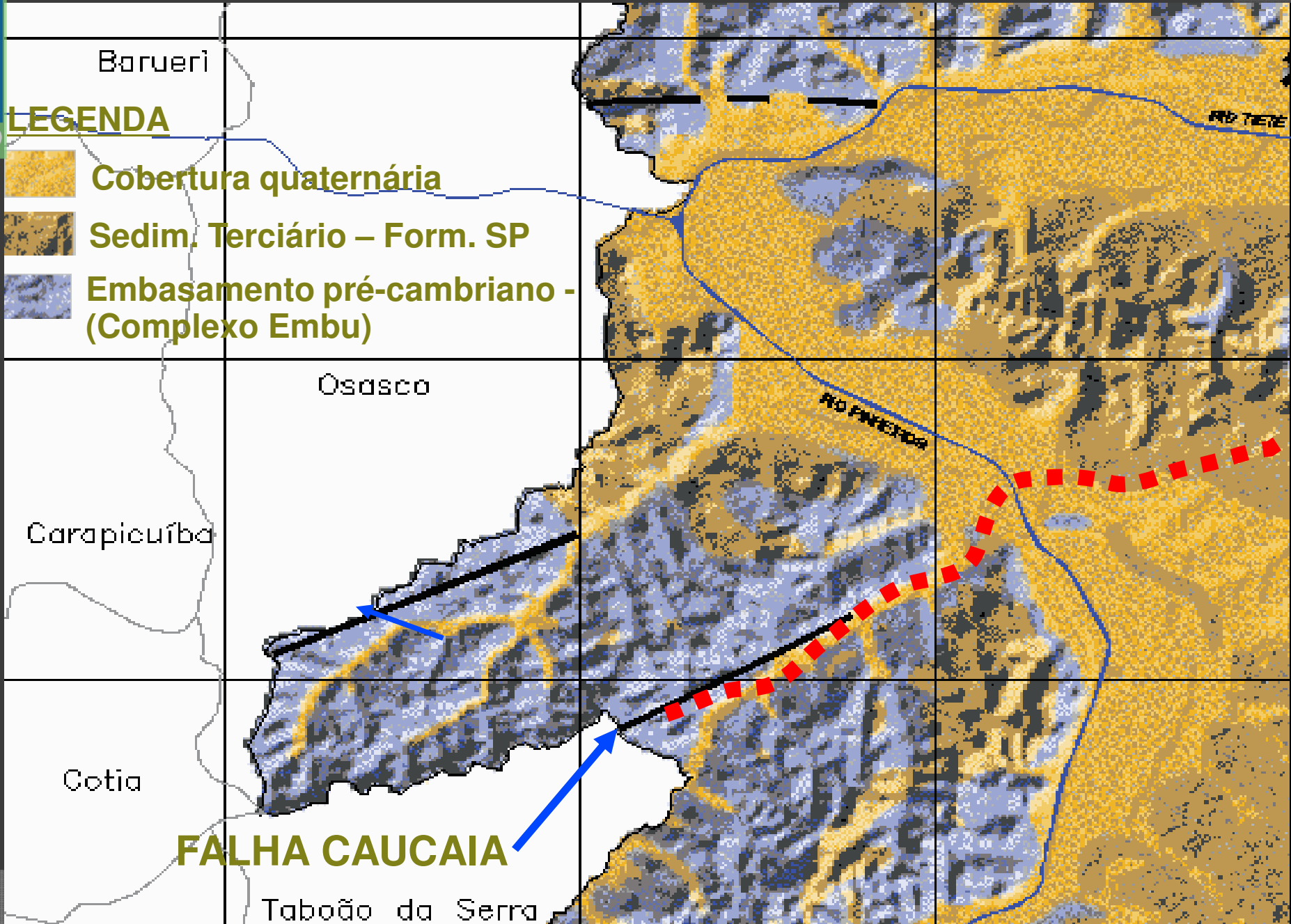
Emboque Estação São Paulo Morumbi - 30/08/2007



Aspectos Geológicos Geotécnicos – a Falha Caucaia



15ª Semana de Tecnologia Metroferroviária 2009



Fonte: Atlas Ambiental – Prefeitura de São Paulo

CONDICIONANTES PARA A ESCAVAÇÃO:

- 1) Foliação vertical do gnaisse;
- 2) Rocha que passou por intemperismo intenso e profundo, originando o topo rochoso, “serrilhado”;
- 3) Rochas com variação de resistência (de 1mPa a 200 mPa);
- 4) Formação de matacões;
- 5) Acesso de água a grandes profundidades – interligação da Falha Caucaia com fraturas transversais muito permeáveis.

Aspectos Geológicos Geotécnicos – a Falha Caucaia

Exemplo de trecho com fratura, constituindo zona de cisalhamento próximo ao poço Caxingui

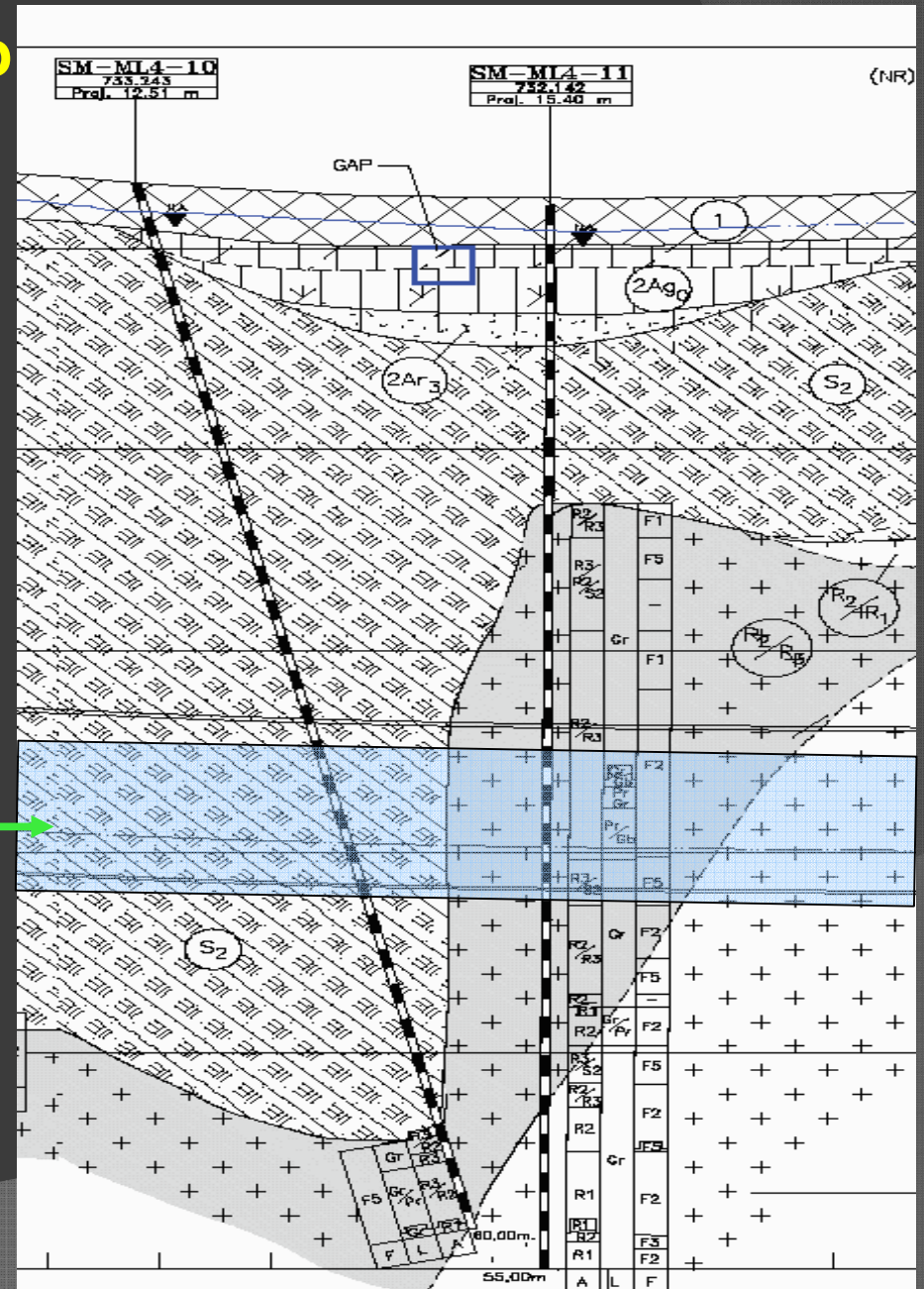
Cobertura e aterros

Solo de alteração ou Saprolito (S2)

Região de escavação – RMR V e IV, raramente III

Rocha alterada com intercalação / dura a mole

Rocha alterada com intercalação / são a dura



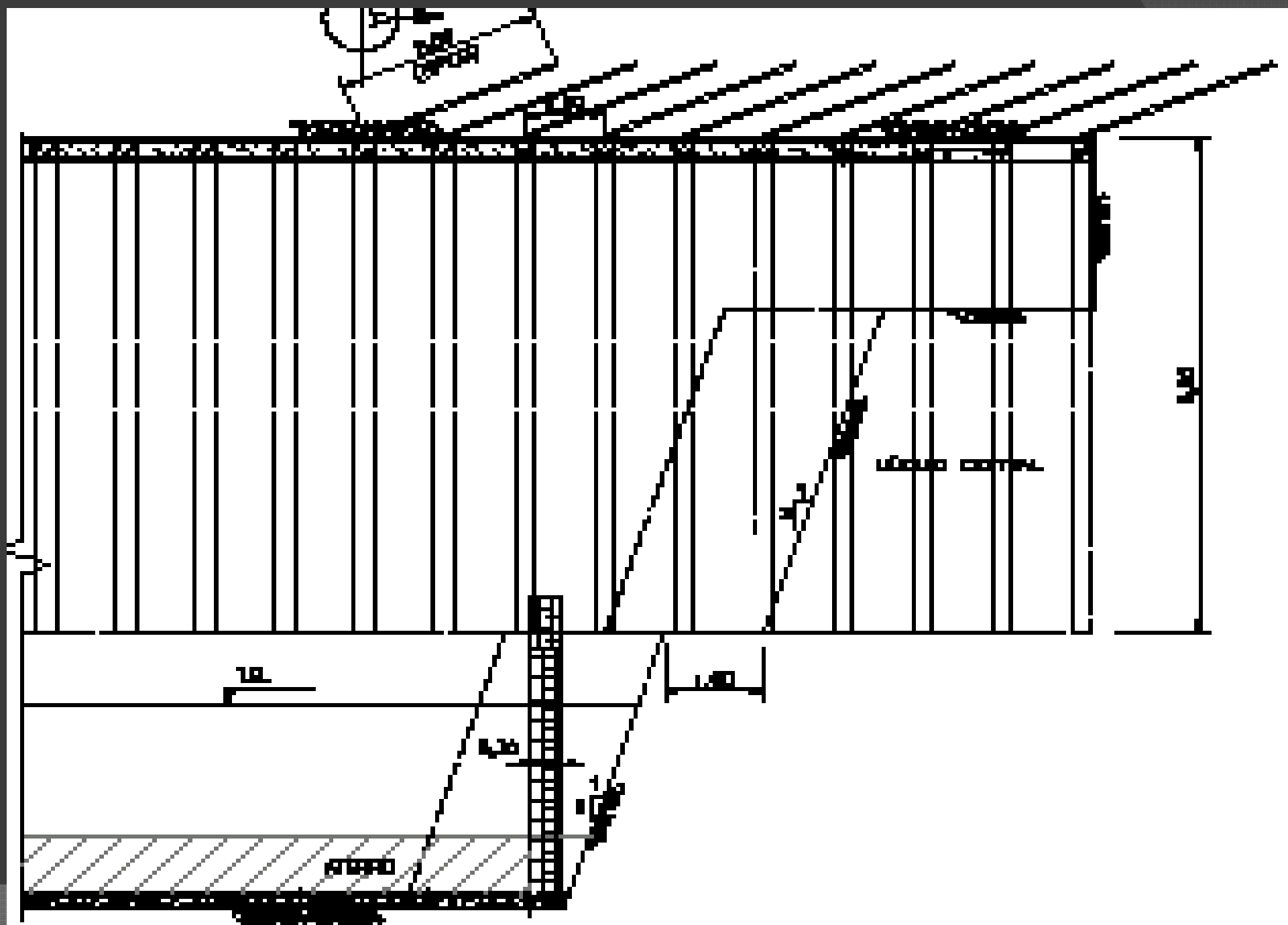
MECANISMOS DE INSTABILIDADE (cenário geológico geotécnico disperso)

- 1) Deformação significativa;
- 2) Queda de blocos (muitos verificados nos núcleos de frente - foto);
- 3) Escorregamentos de solo;
- 4) Pela saturação e degradação, fluxos de solo e fragmentos de rocha nos veios e fraturas;
- 5) Foliação do maciço na direção subparalela ao túnel, apresentando grande variação na seção – apoios de calota.

Aspectos Geológicos Geotécnicos



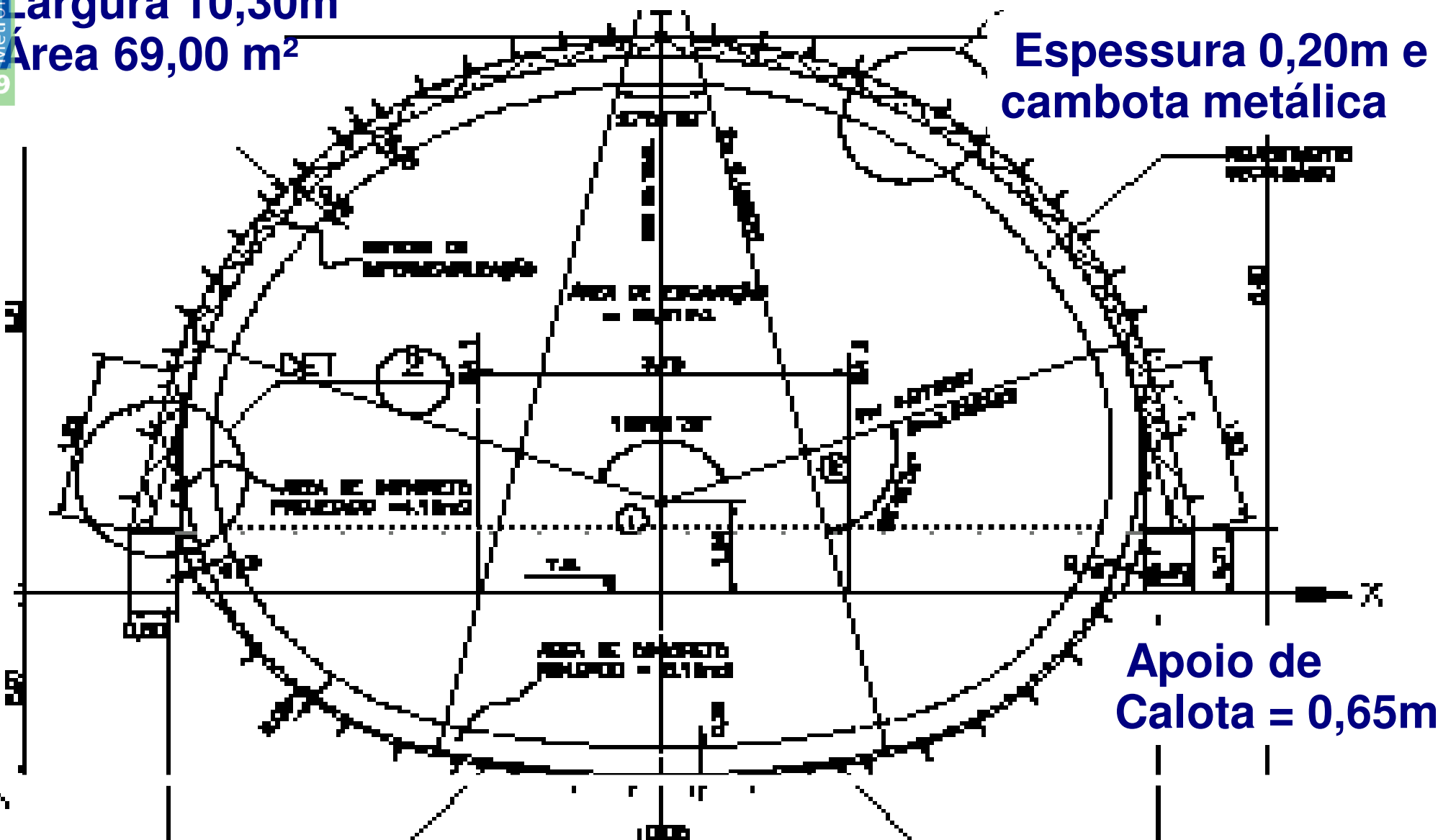
Considerações sobre o NATM



Método Executivo Previsto seção R-01

Altura escavada 8,5m /
Largura 10,30m
Área 69,00 m²

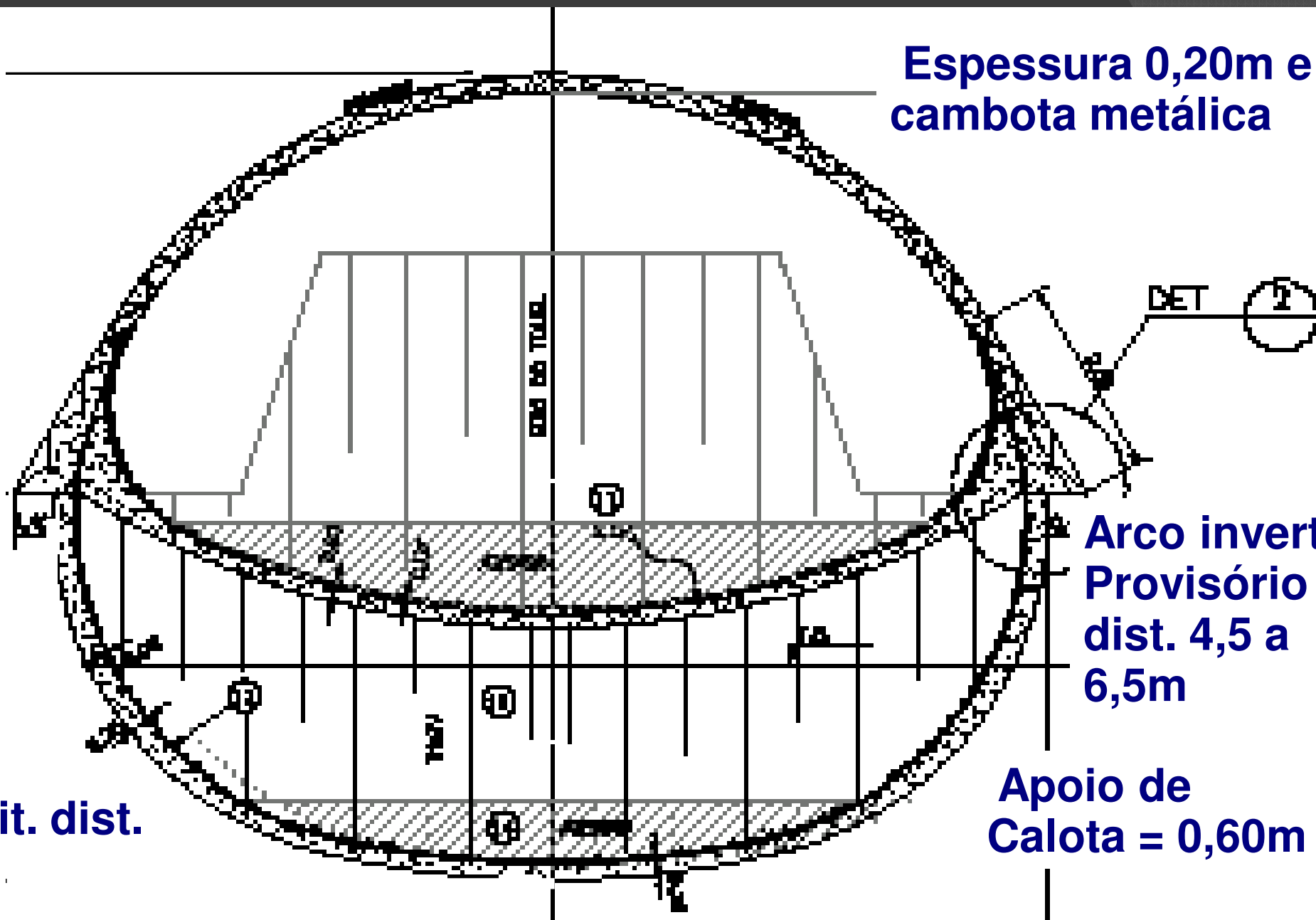
Espessura 0,20m e
cambota metálica



Seção em calota/bancada – rocha com cobertura mínima de 3,5m

Método Executivo Previsto seção S-01

Espessura 0,20m e
cambota metálica



Arco invert.
Provisório
dist. 4,5 a
6,5m

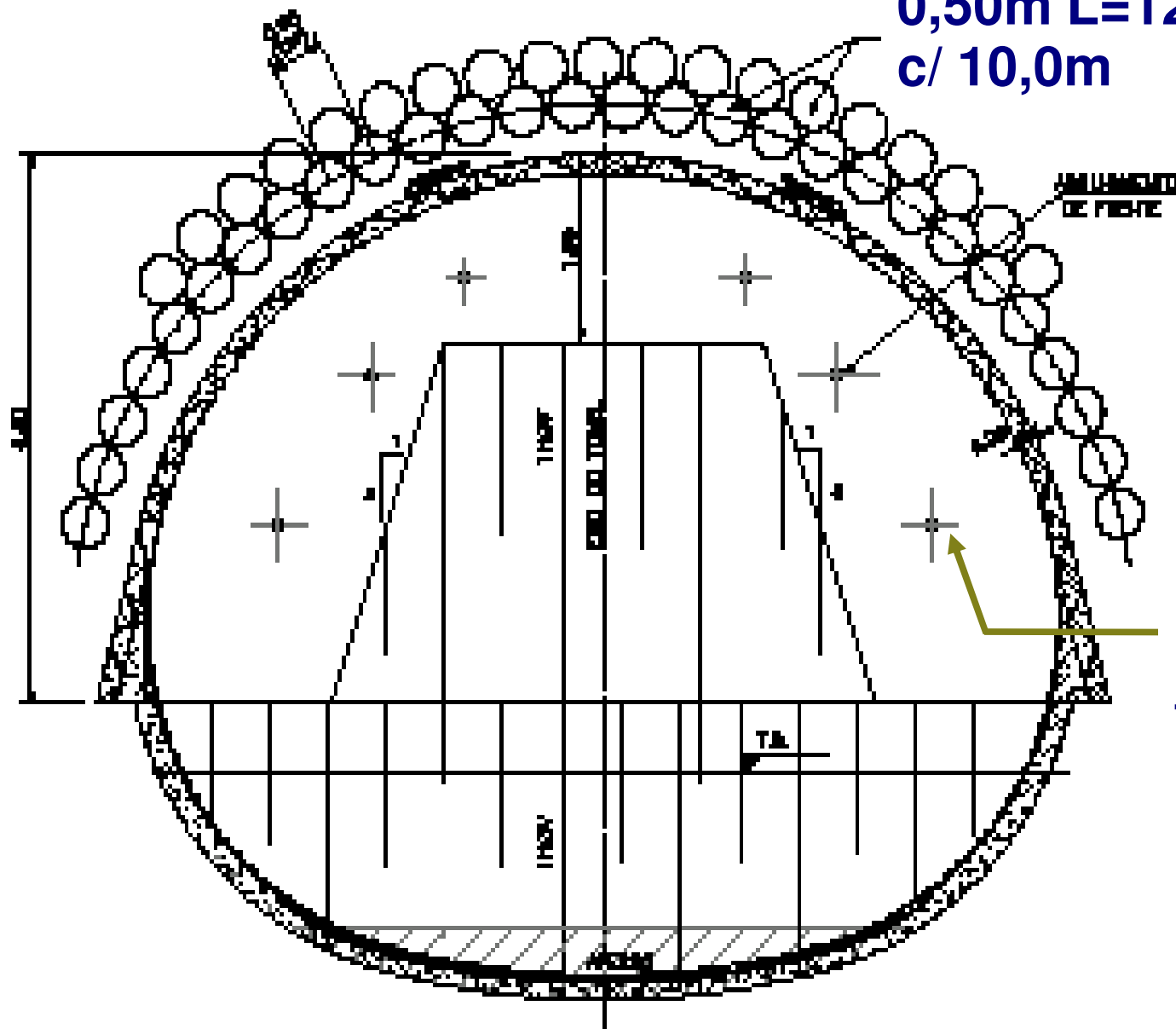
Apoio de
Calota = 0,60m

Arco
Definit. dist.
livre

Seção em calota/bancada – Solo e rocha R3 – RMR IV/V

Método Executivo Previsto seção - tratamentos

CCPh 0,50m c/
0,50m L=12,0m
c/ 10,0m

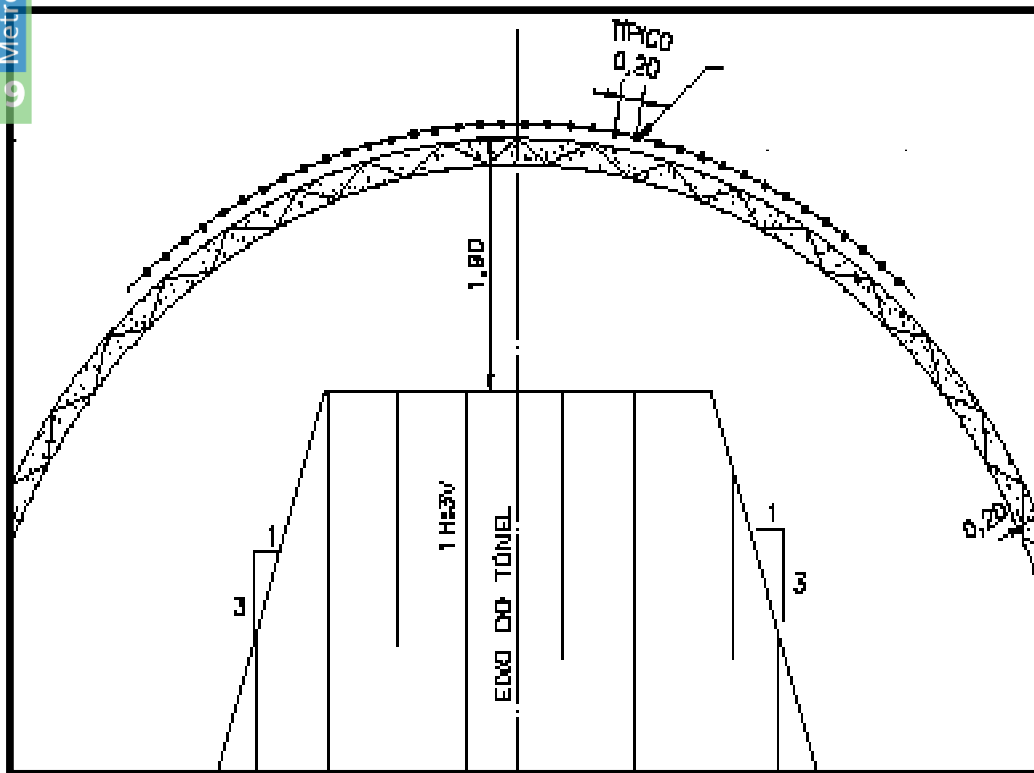


Pregagem de frente

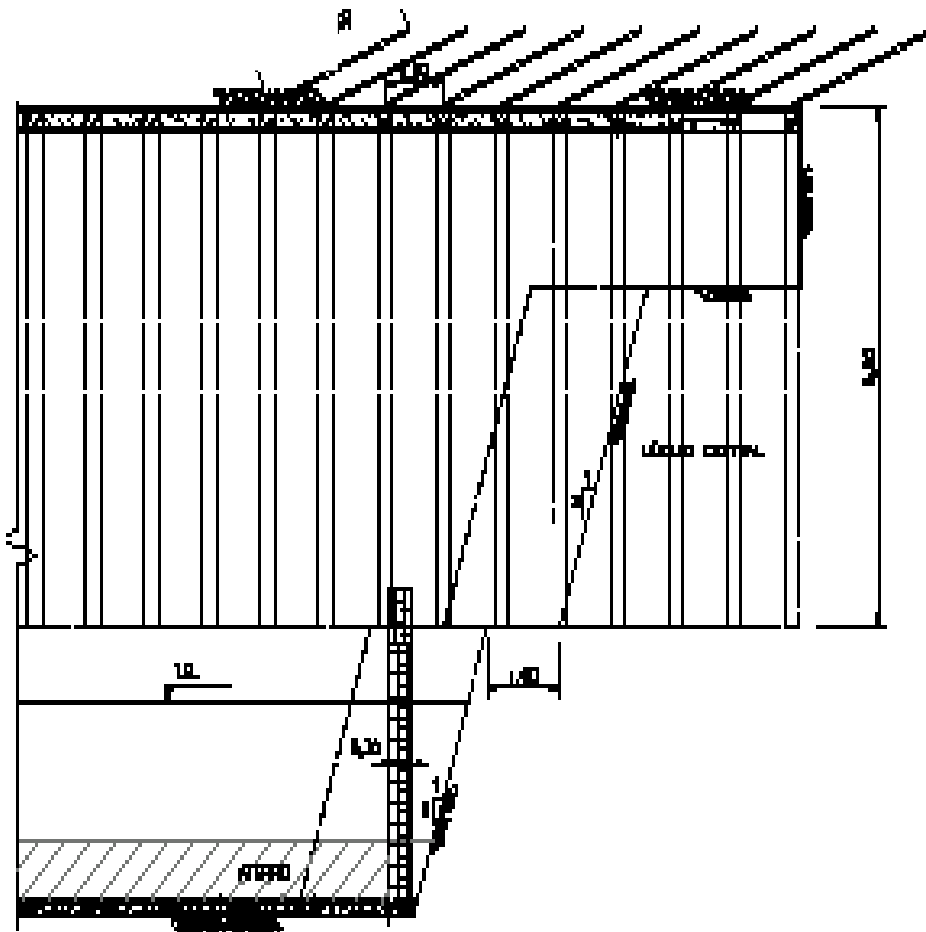
Jet grouting CCPh – Solo baixa compacidade – RMR V

Método Executivo Previsto seção - tratamentos

Marchavante, verg. 20mm c/ 0,20m
L=2,00m, a cada avanço de 0,80m



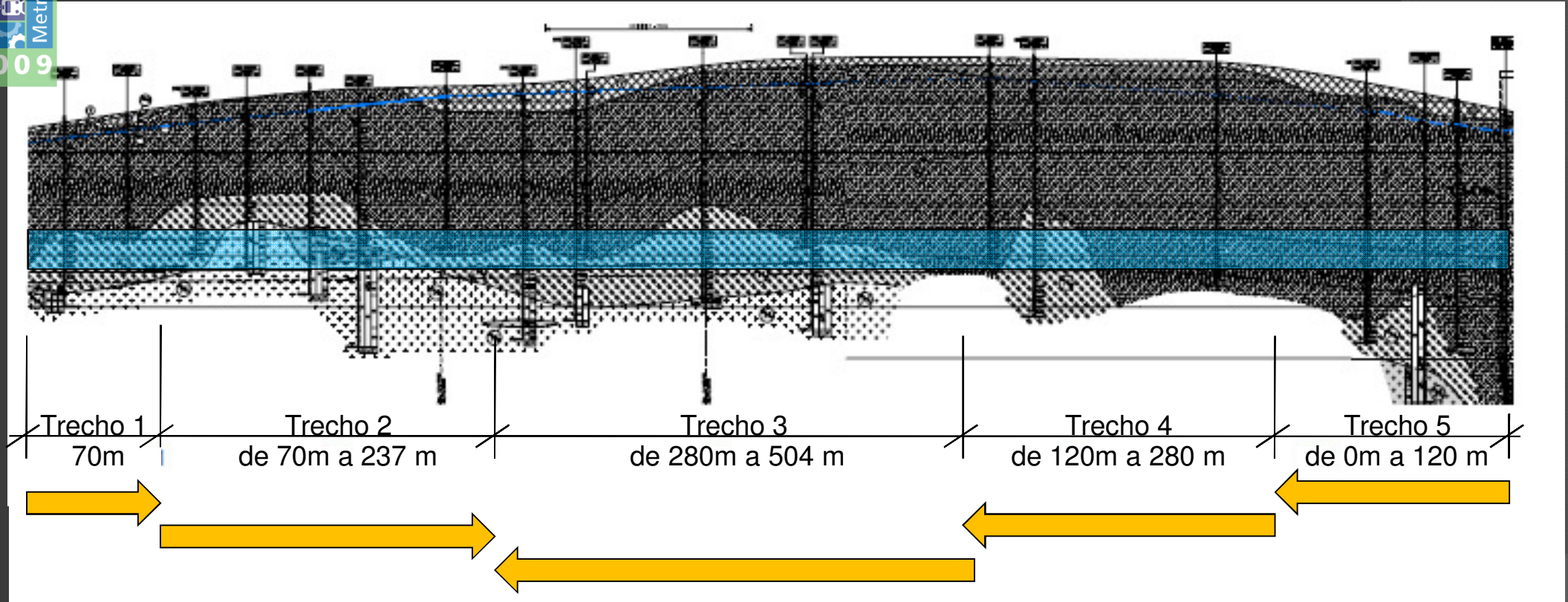
Seção na região da abóbada



Perfil longitudinal

Marchavantes – Solo ou rocha R3 – RMR IV/V

Situações típicas de escavação



Situações típicas trecho 5 - Emboque Caxingui de 120m até o poço Cobertura 31 m – Seção parcializada em calota/bancada

Condição: trecho escavado com AIP

Avanço: 0,80m a frio

Condicionantes: instabilidade de teto e de frente e recalques acentuados

Executado: enfilagem com marcha-à-vante e pregagem de CCPh, DHP's a vácuo, ponteiros filtrantes no AID, reforço de pé de cambota com CCP, quando necessário

Suporte: cambotas e telas metálicas, 0,20m de concreto projetado, aumento de apoio de calota de 0,60m para 1,00m e reforços pontuais com tela metálica e concreto projetado

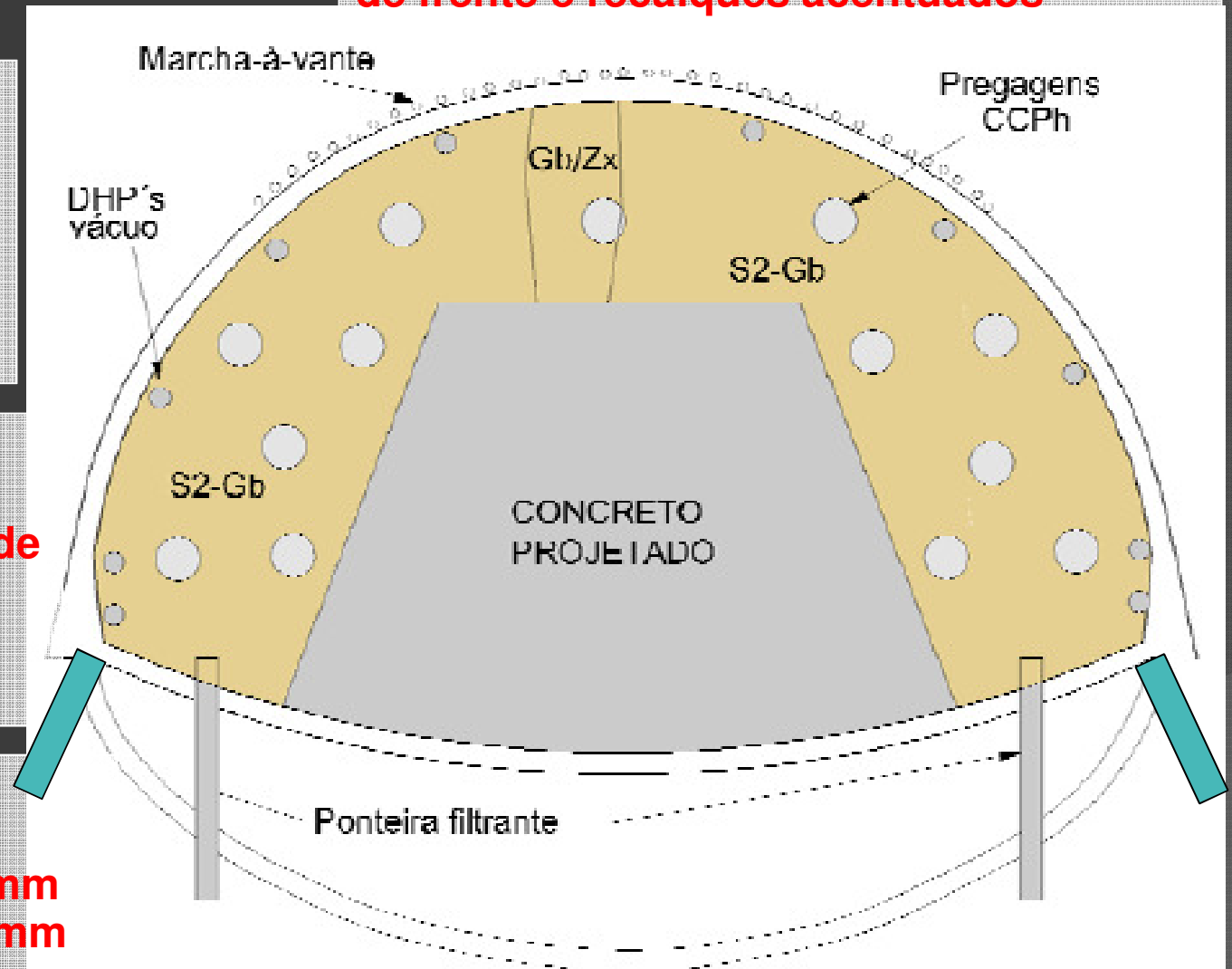
Instrumentação

Desl. Int. Prev.: $\leq 6\text{mm}$

Desl. Int. Real: $30 \leq \text{Desl} \leq 100\text{mm}$
com convergências de até 40mm

Desl. Ext. Prev.: $\leq 49\text{mm}$

Desl. Ext. Real: $100 \leq \text{Desl} \leq 150\text{mm}$



Elaborado por: Geól. Fábio Canzian

Situações típicas trecho 5 - Emboque Caxingui de 120m até o poço Cobertura 31 m – Seção parcializada em calota/bancada



Situações típicas trecho 4 - Emboque Caxingui de 120m até 280m

Cobertura 33 m – Seção parcializada em calota/bancada

Condição: trecho escavado com AIP

Avanço: 0,80m a frio

Condicionantes: instabilidade de teto e de frente e recalques acentuados

Executado: enfilagem com marcha-à-vante e pregagem de CCPh, DHP's a vácuo, ponteiros filtrantes no AID, reforço de pé de cambota com CCP, quando necessário

Suporte: cambotas e telas metálicas, 0,20m de concreto projetado, aumento de apoio de calota de 0,60m para 1,00m e reforços pontuais com tela metálica e concreto projetado

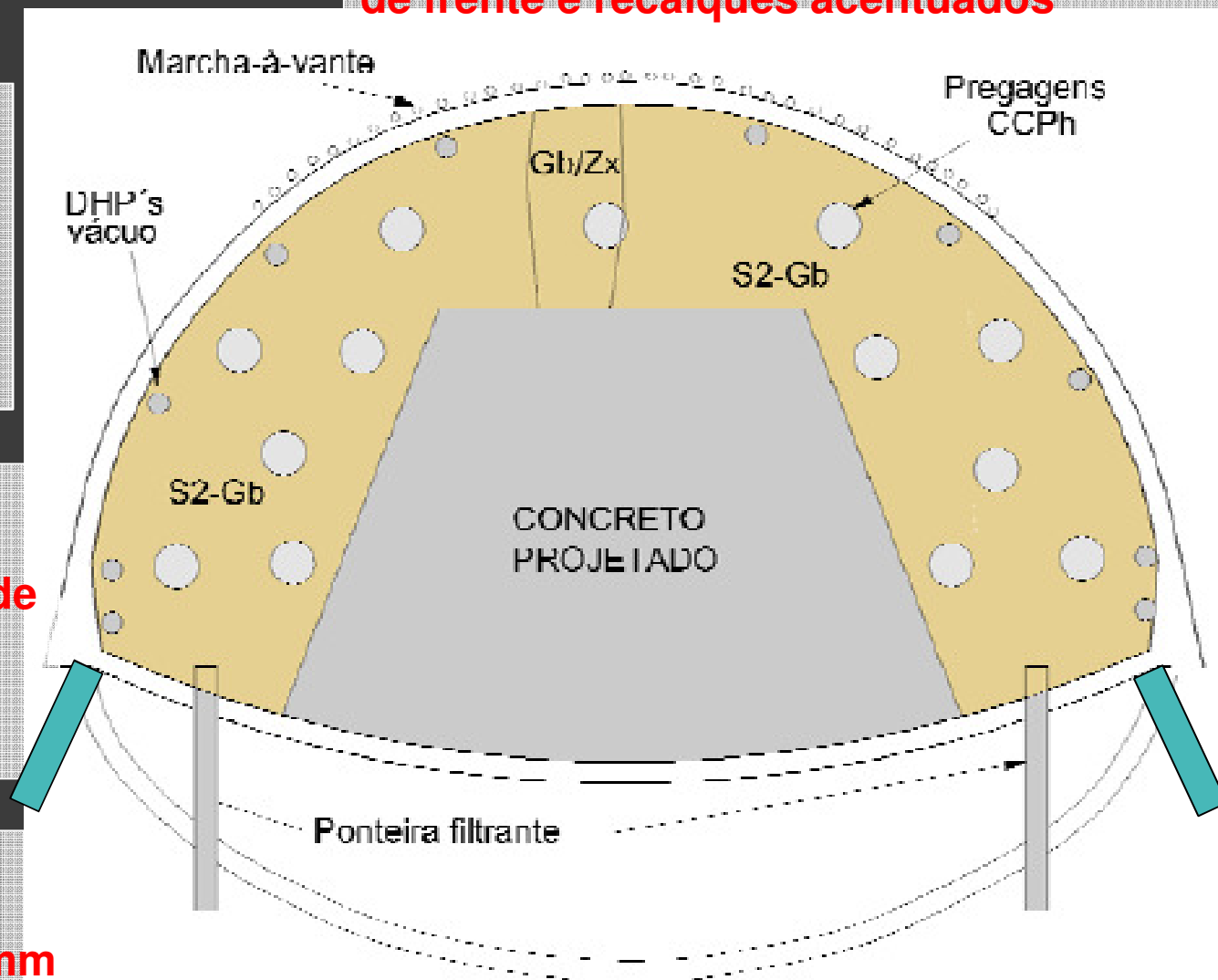
Instrumentação

Desl. Int. Prev.: $\leq 6\text{mm}$

Desl. Int. Real: $30 \leq \text{Desl} \leq 100\text{mm}$

Desl. Ext. Prev.: $\leq 49\text{mm}$

Desl. Ext. Real: $100 \leq \text{Desl} \leq 150\text{mm}$



Elaborado por: Geól. Fábio Canzian

Situações típicas trecho 4 - Emboque Caxingui de 120m até 280m Cobertura 33 m – Seção parcializada em calota/bancada

AEAMESP
15ª Semana de Tecnologia Metroferroviária
2009



CAXINGUI-MORUMBI CAMBOTA285 ESTACA 4.346,40

Situações típicas trecho 3 - Emboque Caxingui de 280m a 504m

Cobertura 32 m – Seção parcializada em calota/bancada

Seção: trecho escavado com AIP

Avanço: 0,80m a frio

Condicionantes: instabilidade de teto e de frente e recalques acentuados

Executado: enfilagem com marcha-à-vante e pregagem de CCPh, DHP's a vácuo, ponteiros filtrantes nos AIP e AID, reforço de pé de cambota com CCP ou micro estacas

Suporte: cambotas e telas metálicas, 0,20m de concreto projetado, aumento de apoio de calota de 0,60m para 1,00m e reforços pontuais com tela metálica e concreto projetado

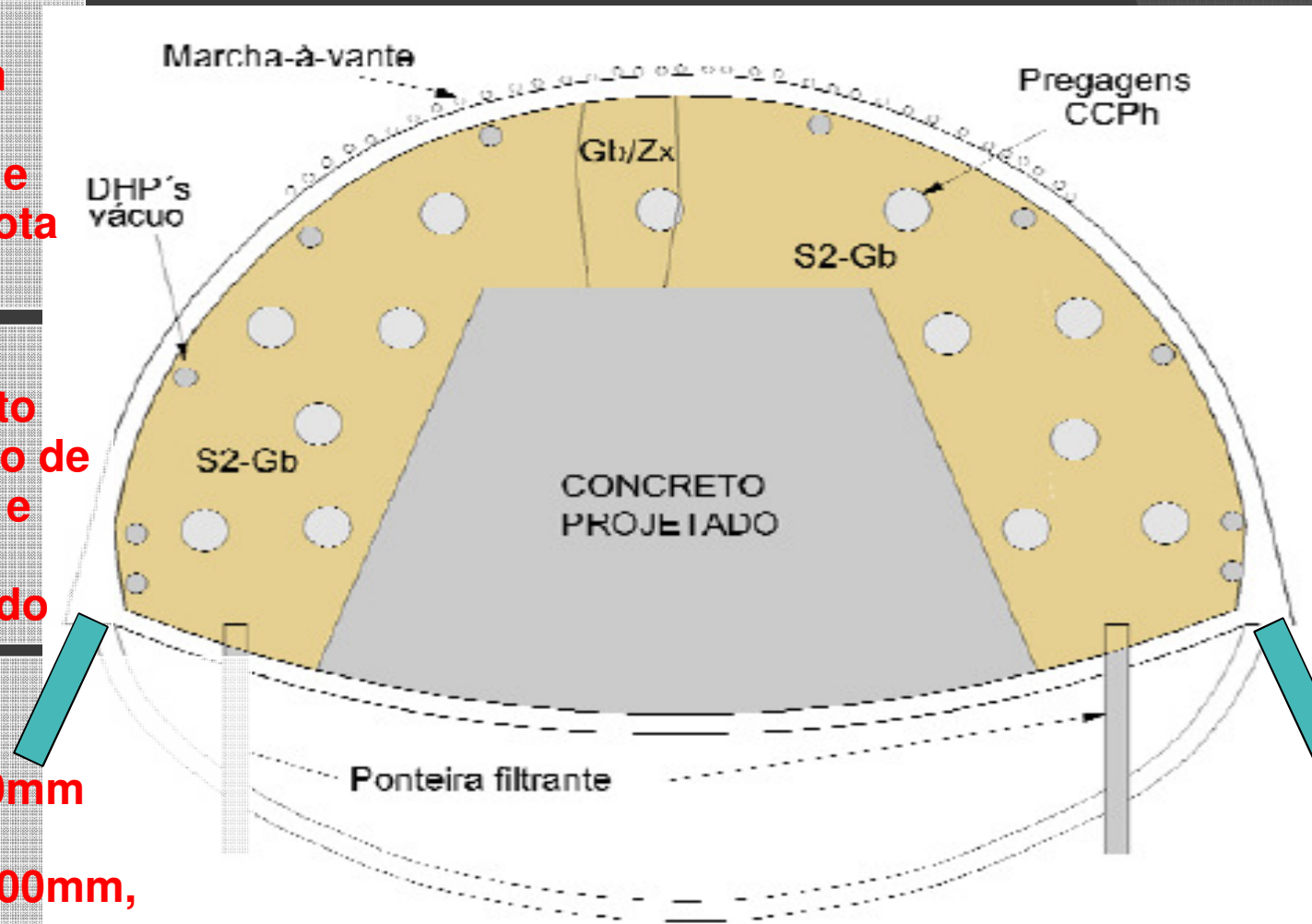
Instrumentação

Desl. Int. Prev.: $\leq 6\text{mm}$

Desl. Int. Real: $30 \leq \text{Desl} \leq 60\text{mm}$

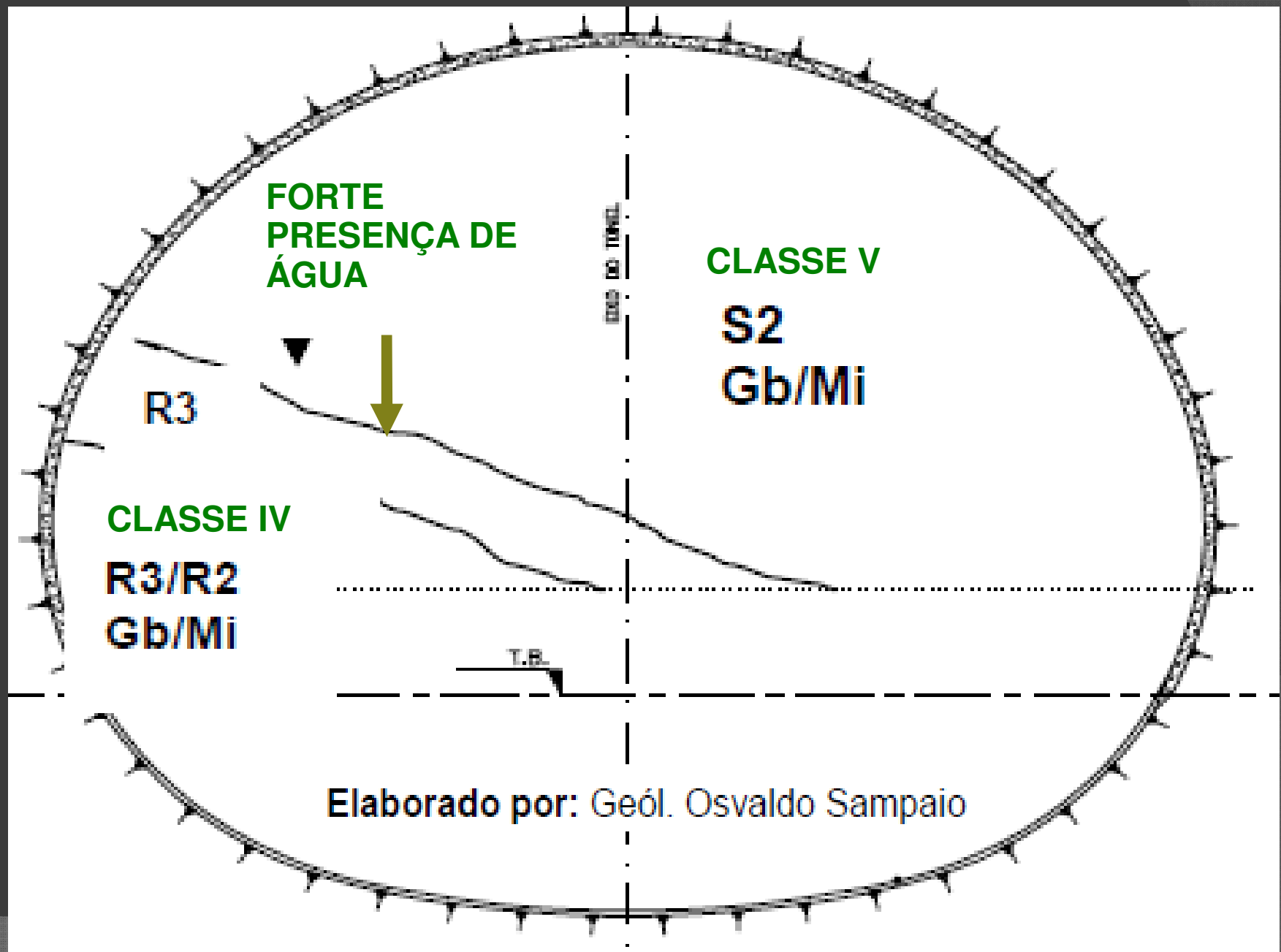
Desl. Ext. Prev.: $\leq 49\text{mm}$

Desl. Ext. Real: $80 \leq \text{Desl} \leq 100\text{mm}$, com picos de 250mm. Danos consideráveis aos edifícios lindeiros



Elaborado por: Geól. Fábio Canzian

Situações típicas trecho 3 - Emboque Caxingui de 280m a 504m Cobertura 32 m – Seção parcializada em calota/bancada



Situações típicas trecho 3 - Emboque Caxingui de 280m a 504m Cobertura 32 m – Seção parcializada em calota/bancada

LATERAL DIREITA

PREGAGEM DE FRENTE CCP-h

S2

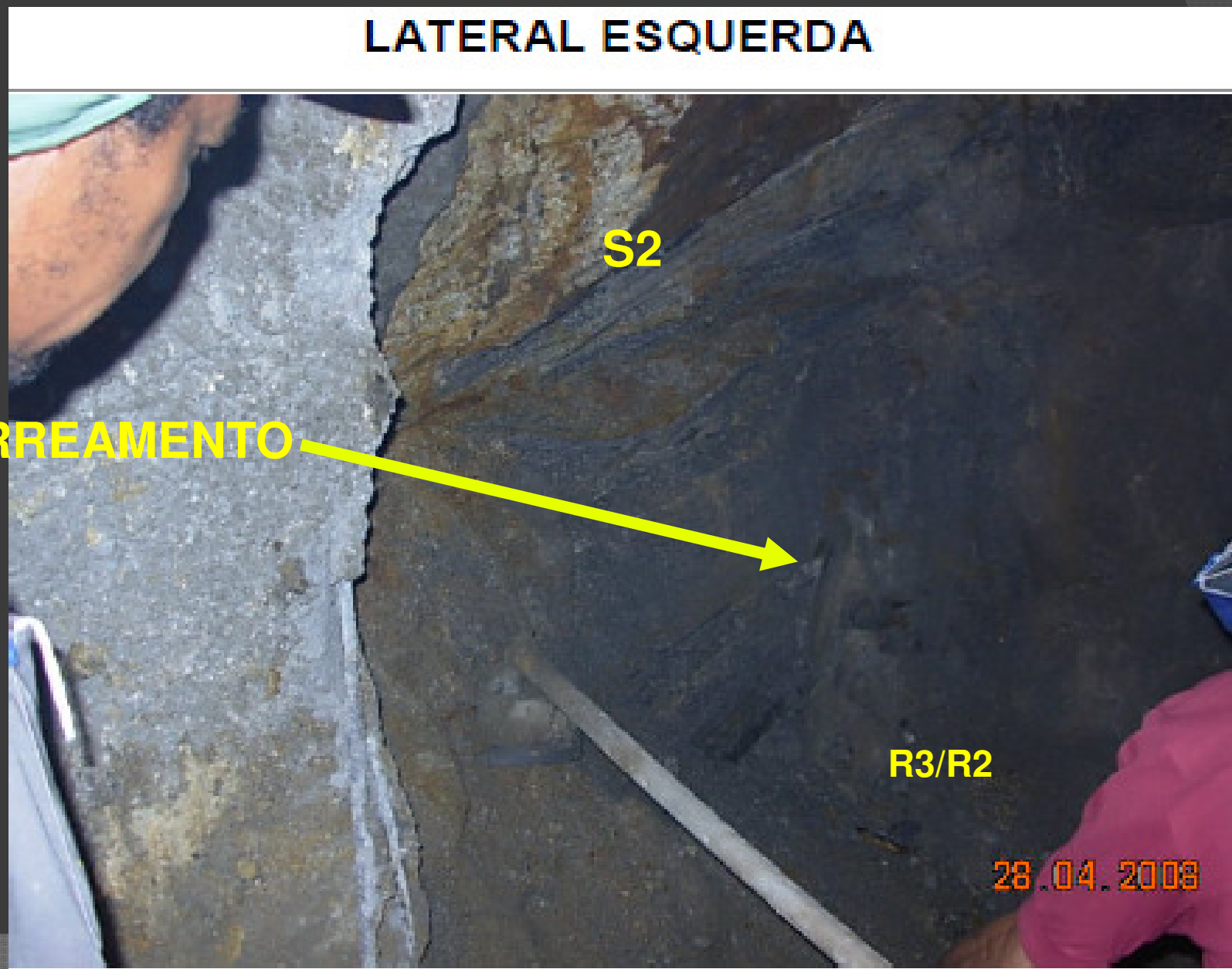
VEIOS

R3

28.04.2008



Situações típicas trecho 3 - Emboque Caxingui de 280m a 504m Cobertura 32 m – Seção parcializada em calota/bancada



LATERAL ESQUERDA

S2

CARREAMENTO

R3/R2

28.04.2008

Situações típicas trecho 1 - Emboque Morumbi até + 70m

Cobertura 24 m – Seção parcializada em calota/bancada

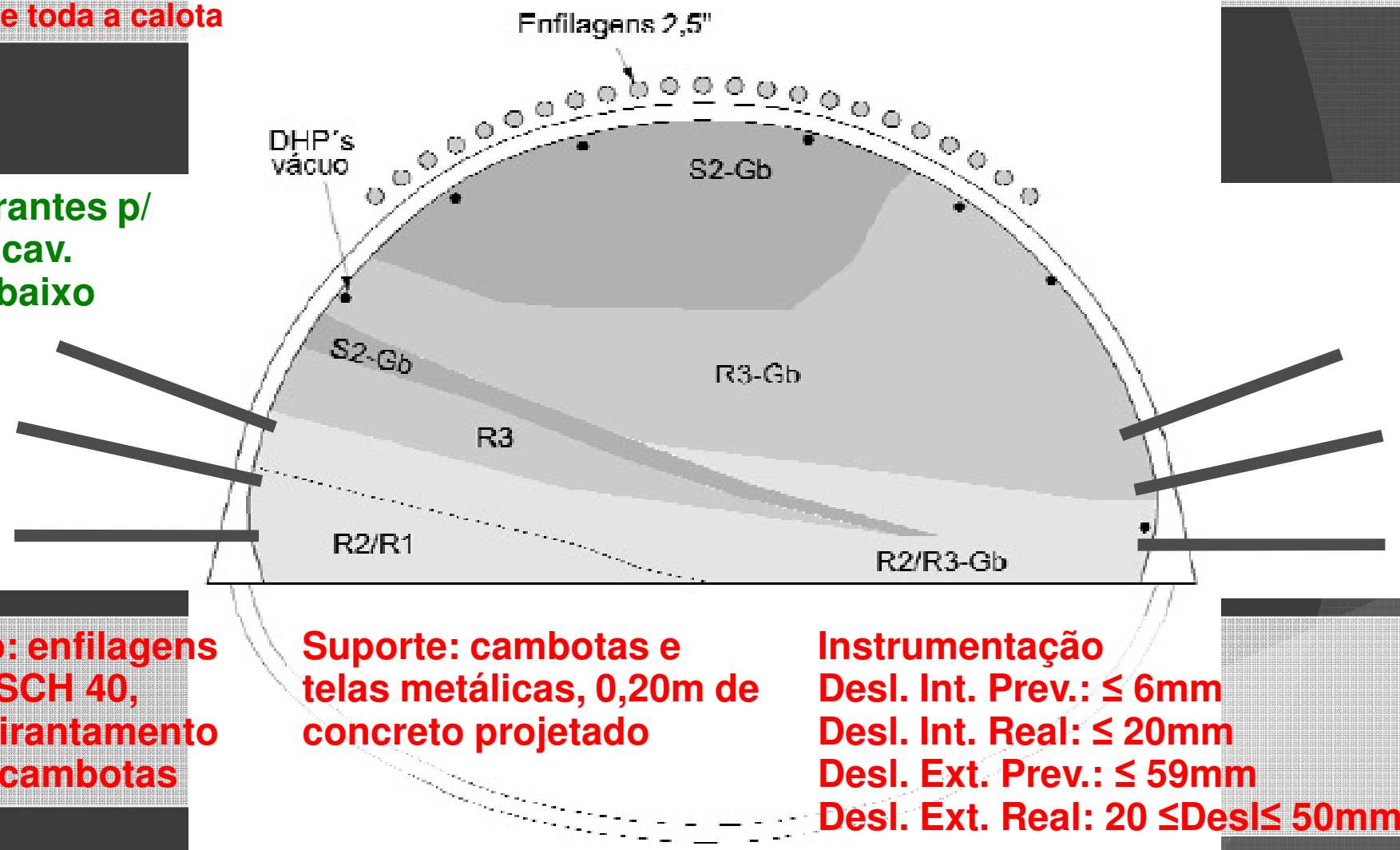
AEAMESP
15ª Semana de Tecnologia
Metroferroviária
2009

Seção
Projeto: S01
Executado: R01 com
escavação de toda a calota

Avanço: 1,60m a fogo
(projeto previa 1,00m)

Condicionantes: formação de blocos
em porções menos alteradas e fluxo
d'água por descontinuidade

Tirantes p/
escav.
rebaixo



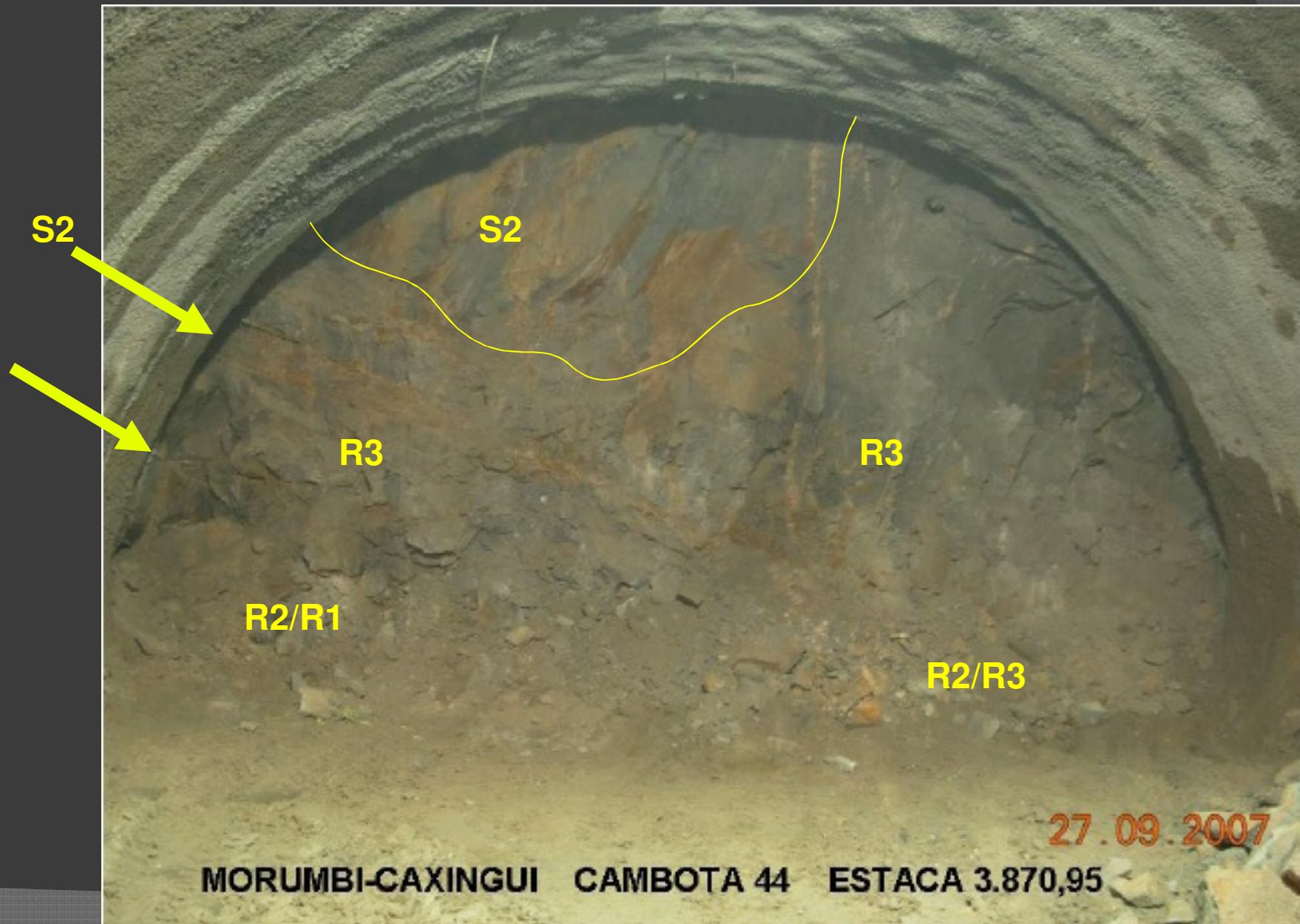
Executado: enfilagens
com tubo SCH 40,
DHP's e atirantamento
de pés de cambotas

Suporte: cambotas e
telas metálicas, 0,20m de
concreto projetado

Instrumentação
Desl. Int. Prev.: ≤ 6mm
Desl. Int. Real: ≤ 20mm
Desl. Ext. Prev.: ≤ 59mm
Desl. Ext. Real: 20 ≤ Desl ≤ 50mm

Elaborado por: Geól. Fábio Canzian

Situações típicas trecho 1 - Emboque Morumbi até + 70m Cobertura 24 m – Seção parcializada em calota/bancada



Situações típicas trecho 2 - Emboque Morumbi de 70m a 237m

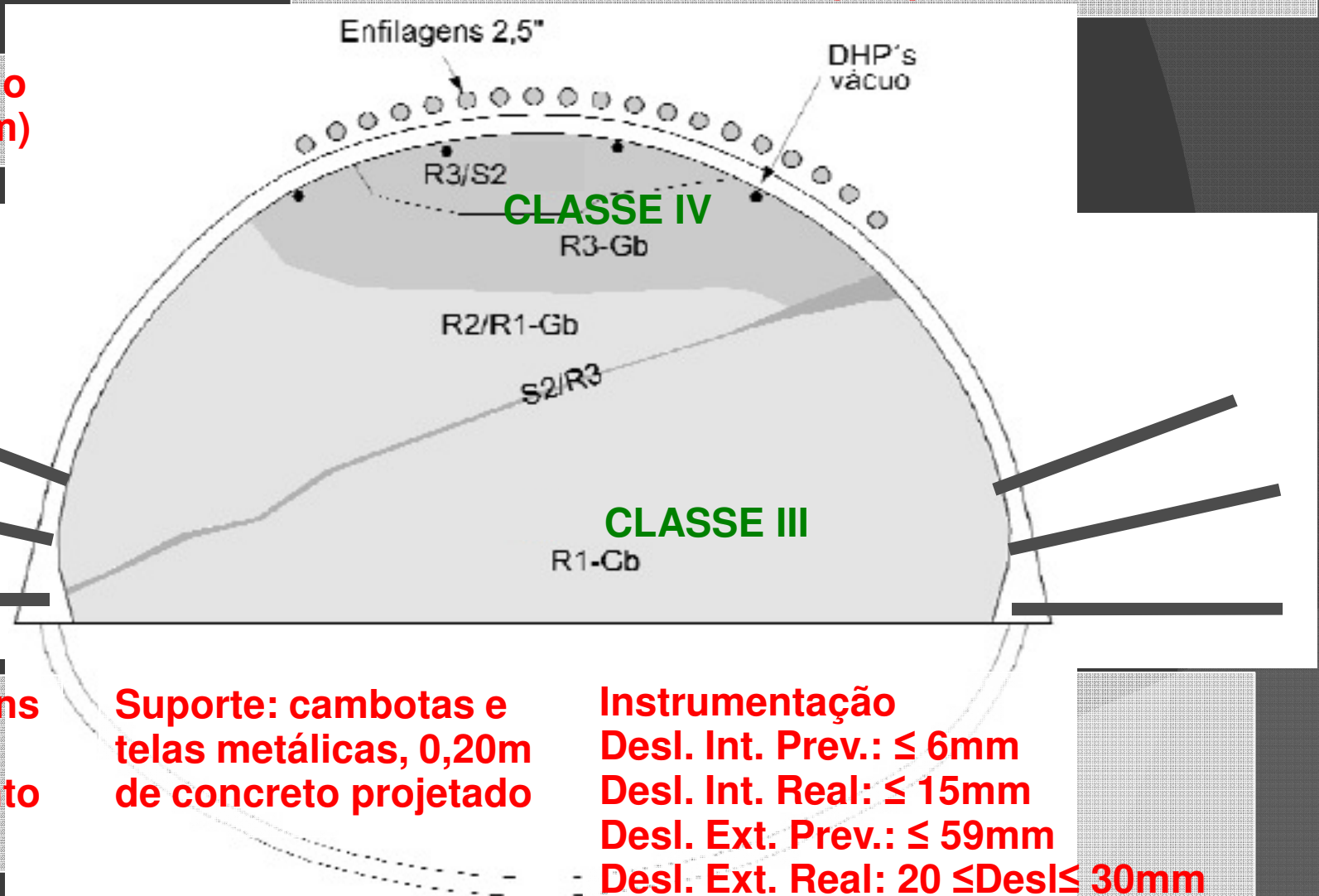
Cobertura 26,5 m – Seção parcializada em calota/bancada

Seção: R01

Condicionantes: formação de blocos em porções menos alteradas e fluxo d'água por descontinuidade

Avanço: 1,60m a fogo
(projeto previa 1,00m)

Tirantes p/
escav.
rebaixo



Executado: enfilagens com tubo SCH 40, DHP's e atirantamento de pés de cambotas

Suporte: cambotas e telas metálicas, 0,20m de concreto projetado

Instrumentação

Desl. Int. Prev.: $\leq 6\text{mm}$

Desl. Int. Real: $\leq 15\text{mm}$

Desl. Ext. Prev.: $\leq 59\text{mm}$

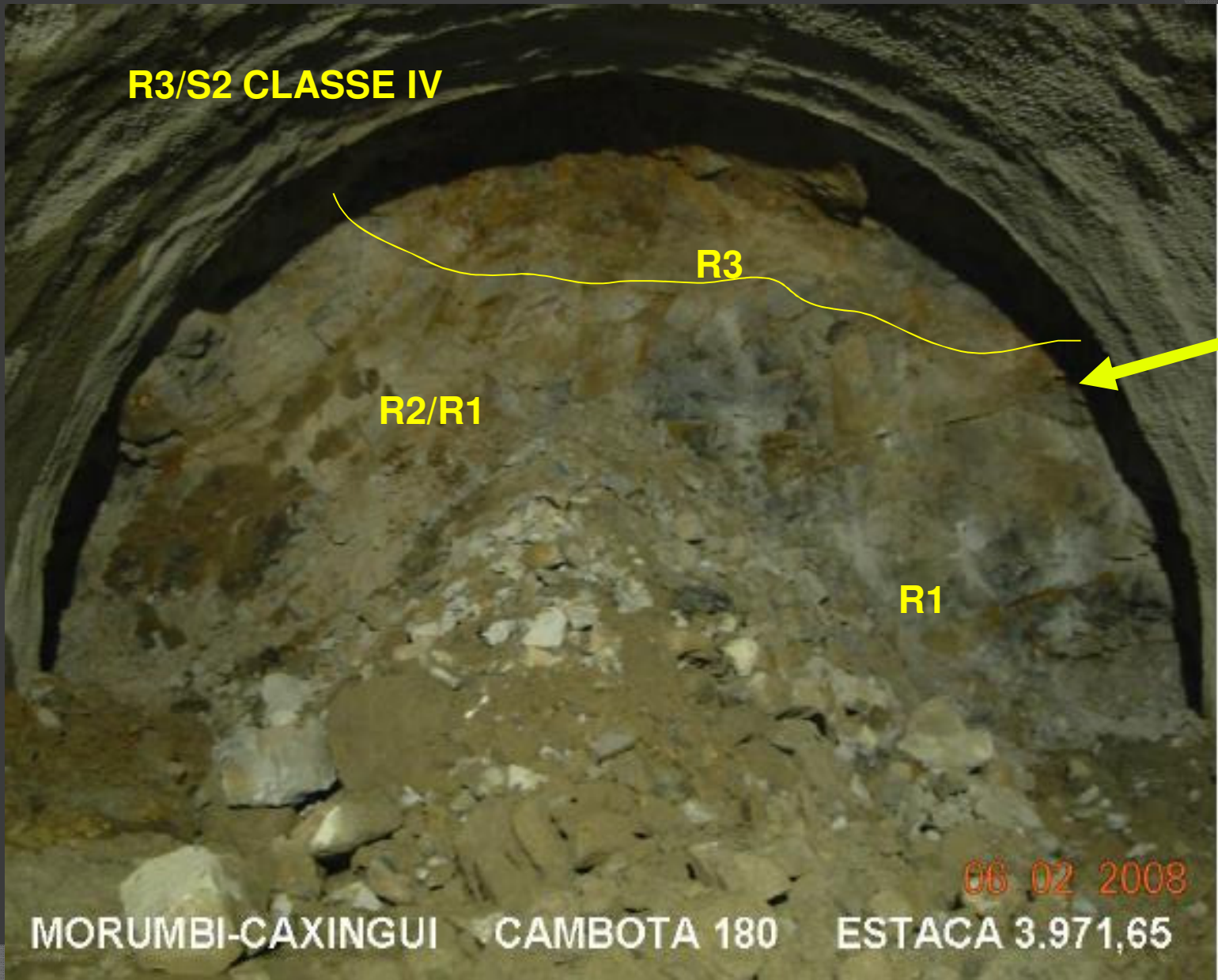
Desl. Ext. Real: $20 \leq \text{Desl} \leq 30\text{mm}$

Elaborado por: Geól. Fábio Canzian



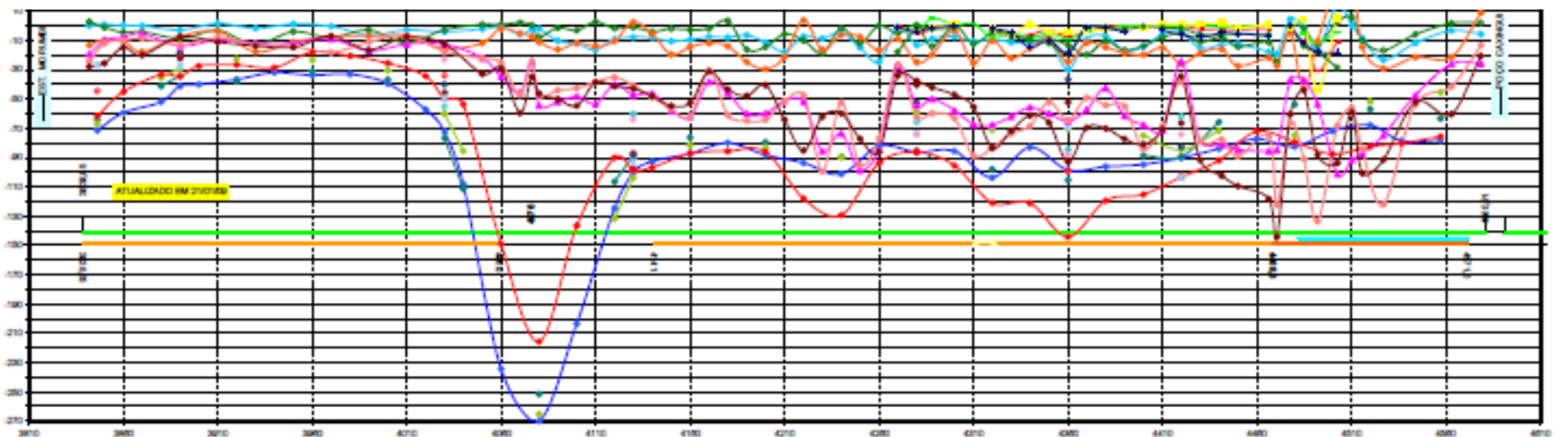
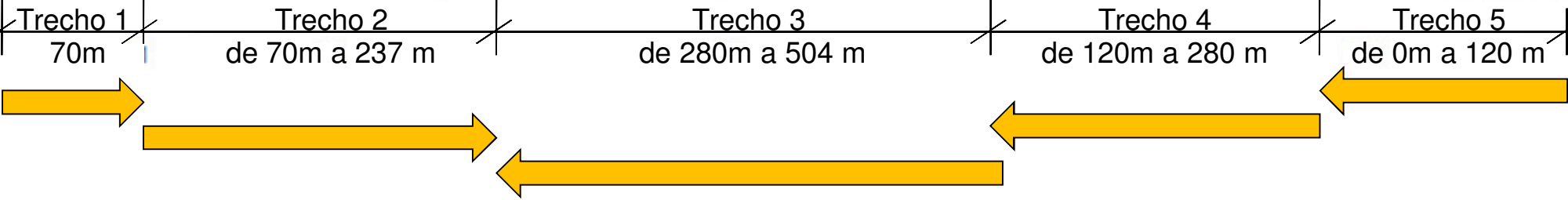
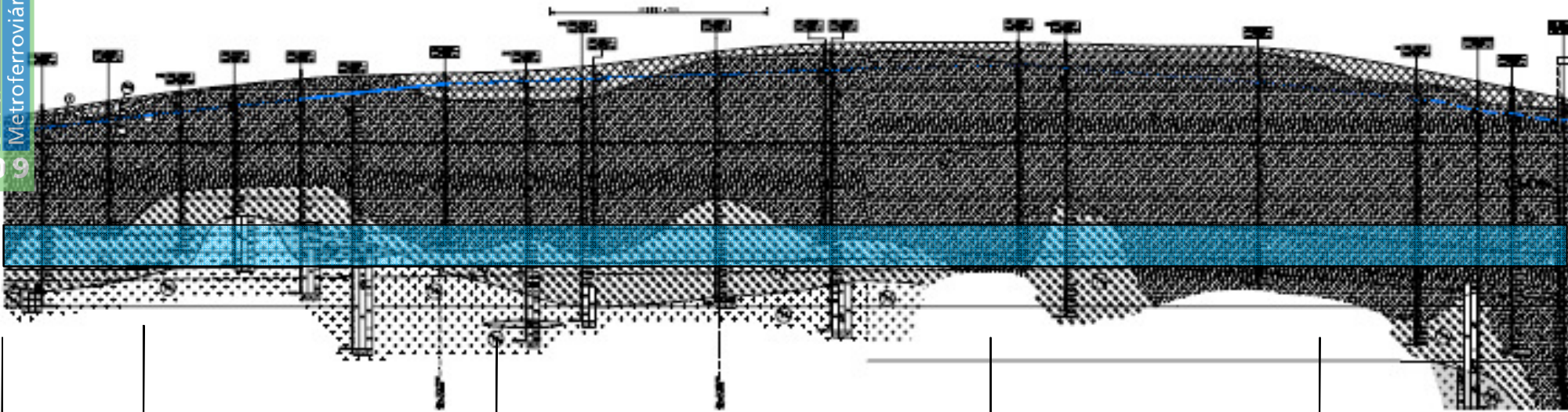
15ª Semana de Tecnologia Metroferroviária 2009

Situações típicas trecho 2 - Emboque Morumbi de 70m a 237m Cobertura 26,5 m – Seção parcializada em calota/bancada



MORUMBI-CAXINGUI CAMBOTA 180 ESTACA 3.971,65

Deslocamentos totais ao longo do túnel



Ressalta-se a dedicação do corpo de engenheiros técnicos e equipes das diversas áreas das empresa envolvidas, para assegurar a realização desta obra com condicionantes e restrições sem precedentes na história metroviária do NATM.

Agradecimentos: Eng. Jelson Siqueira, Eng. Martinati, Téc. Fonseca

F I M

Freedy:

asteiner@metrosp.com.br

Erica:

ecpereira@metrosp.com.br

agosto/2.009

Duração das atividades

Frente	Calota		Rebaixo		Comprimento (m)	
	Início	Fim	Início	Fim	Calota	Rebaixo
Caxingui	27/04/2006	22/08/2008	05/10/2006	16/02/2009	504	484
Morumbi	30/08/2007	17/06/2008	25/06/2008	18/12/2008	237	257
Total (m)					741	

Duração Escavação	34 meses
-------------------	----------

Produtividade	22m/mês
---------------	---------

Aspectos Geológicos Geotécnicos

Guia para escavação e suporte para túneis com 10 m de largura de acordo com o sistema *RMR* (modificado - Bieniawski, 1989).

Tipo de Maciço Rochoso	Método de escavação	Tirantes (d=20 mm, com calda de cimento)	Concreto projetado	Cambotas metálicas
I <i>RMR</i> : 81-100	Face completa Avanço: 3 m	Geralmente não precisa suporte, exceto tirantes curtos localizados.		
II <i>RMR</i> : 61-80	Face completa Avanço: 1-1,5 m. Suporte pronto a 20 m da face	Tirantes esporádicos no teto, L=3 m e S=2,5 m. Malha de aço opcional.	Teto e=50 mm, onde precisar.	Nulo
III <i>RMR</i> : 41-60	Frente em bancadas (berma) Avanço: 1,5-3 m na calota. Suporte pronto a 10 m da face, instalado a cada avanço de fogo.	Tirantes no teto e paredes com S=1,5-2 m e L=4 m. Malha de aço no teto	Teto e=50-100 mm. Paredes e=30 mm.	Nulo
IV <i>RMR</i> : 21-41	Frente em camadas Avanço: 1-1,5 m na calota. Suporte pronto a 10 m da face, instalado de forma paralela com a escavação.	Tirantes S=1-1,5 m, L=4-5 m e malha de aço no teto e paredes.	Teto e=100-150 mm Paredes e=100 mm	Cambotas metálicas (CM) leves a médias, S=1,5 m, onde precisar.
V <i>RMR</i> : < 20	Múltiplas frentes Avanço: 0,5-1,5 m na calota. Suporte instalado concomitantemente à escavação. Concreto no menor tempo após o fogo.	Tirantes S=1-1,5 m, L=5-6 m e malha de aço no teto e paredes. Tirantes no arco invertido.	Teto e=150-200 mm Paredes e=150 mm Face e=50 mm	CM médias a pesadas, S=0,75 m, e aduelas. Arco invertido.