

4

Descrição de uma escavação grampeada em solo residual de gnaiss

4.1.

Introdução

Esta pesquisa tem por objetivo melhorar o entendimento do comportamento tensão-deformação de taludes de escavações em solo grampeado. Para atender a este objetivo, realizou-se o acompanhamento de uma obra de corte e estabilização de talude de grande altura (cerca de 40m) em solo grampeado, a partir de um programa de monitoramento e instrumentação geotécnica da obra, além de ensaios de laboratório e análises numéricas.

A obra em questão localiza-se na Avenida Almirante Benjamim Sodré, lotes 79a e 79b, Praia de Boa Viagem, na cidade de Niterói (RJ). Trata-se de uma escavação em solo residual estabilizada com grampos (com cerca de 50m de extensão), ao longo da face sul do Morro do Palácio, para implantação de prédio residencial com 10 pavimentos tipo. Tendo em vista à proximidade com o Museu de Arte Contemporânea (MAC) a obra foi denominada “Museu 1”. Uma outra escavação grampeada próxima ao talude estudado foi denominada “Museu 2” (Saré, 2007). Localizada na outra face lateral, está uma contenção mista (solo grampeado + cortina atirantada) nomeada de “Museu 0”. As Figuras 76 e 77 ilustram a localização destas obras.

Este capítulo apresenta os detalhes sobre os aspectos geológico-geotécnicos da área de estudo, assim como, os detalhes de projeto e execução da contenção em solo grampeado, serão descritos a seguir.



Figura 76. Localização das obras "Museu 0", "Museu 1" e "Museu 2" (modificado de Gomes Silva, 2006).



Figura 77. Localização da obra "Museu 1" (Google, 2006).

4.2. Geologia local

A geologia local foi descrita a partir do mapeamento geológico-geotécnico estrutural de detalhe realizado por Stein (2003) e Gomes Silva (2006). Este

último autor apresentou os aspectos geológicos-geomorfológicos regionais da área em estudo, caracterizando as principais unidades geológicas e geomorfológicas. Adicionalmente, foram apresentados os dados de sondagens executadas e boletins de perfuração dos grampos do maciço reforçado. A partir destas informações, foram elaborados mapas e modelos geológicos-geotécnicos tridimensionais da área de estudo.

Segundo Gomes Silva (2006), a área do Morro do Palácio situa-se dentro de uma zona de falha, que resultou em vários tipos de dobras e foliações associadas. Tem geologia marcada por grande diversidade de rochas, causada por um sistema de falhamentos de direção NE-SW, e forte mergulho para SE. Intercalam-se kinzigitos, quartzitos, anfibolitos, granada-biotita gnaisses, gnaiss calcissilicáticos, além de veios de pegmatito, sobrepostos às rochas pré-cambrianas que formam o embasamento da Baía da Guanabara. As rochas, na área do estudo, encontram-se alteradas, formando um espesso pacote de solo residual.

Durante o mapeamento realizado na área de interesse, observou-se a presença de rochas gnáissicas de granulação fina a grossa e coloração variando de cinza ao vermelho. Também foram encontradas intercalações de quartzitos e lentes de gnaisses calcissilicáticos, além de veios de pegmatito (com direções variando de E-W a NE-SW e com mergulhos variando de N a NW, respectivamente). A área estudada encontra-se na Zona de Cisalhamento Dúctil de Niterói, a qual afeta os diferentes gnaisses, milonitizando-os em espessas e extensas faixas que produzem uma marcante foliação tectônica, e em alguns trechos enrijecem a rocha afetada pela deformação (devido a processos de silicificação).

A foliação das rochas na área de exposição é verticalizada ao longo do eixo do cinturão móvel ($\pm 88^\circ$), com mergulhos suaves para NW. Esta foliação facilitou, durante o tempo geológico, a alteração das rochas metamórficas encontradas, até uma profundidade de 15 metros devido à percolação da água pela foliação.

O mapa geológico realizado por Gomes Silva (2006) pode ser observado na Figura 78. A alteração das rochas com essa configuração geológico-estrutural produziu solos de coesão moderada e com várias descontinuidades, que facilitam o surgimento de processos erosivos nas partes mais íngremes do talude.

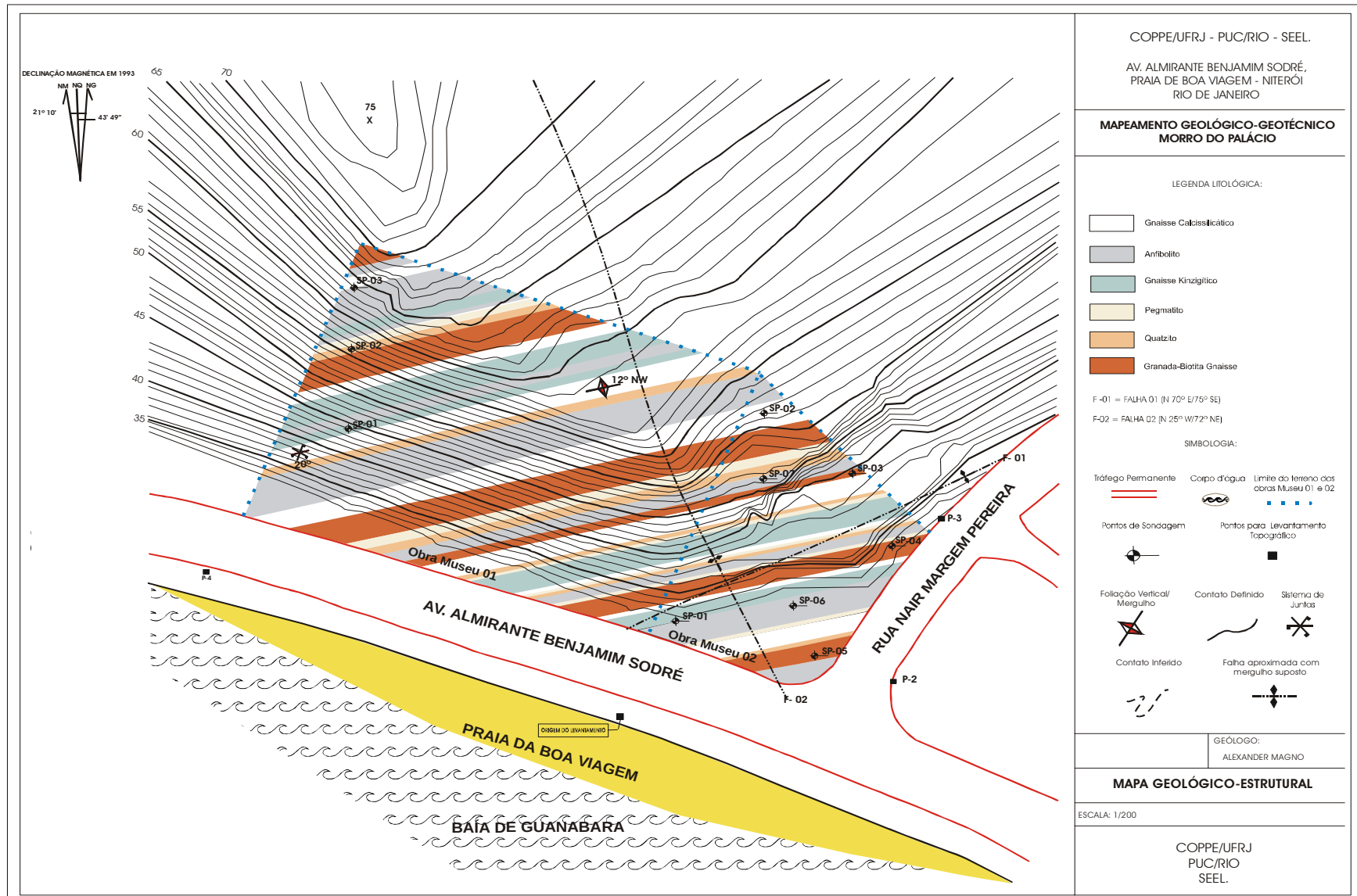


Figura 78. Mapa geológico-estrutural da área das obras “Museu 1” e “Museu 2” (Gomes Silva, 2006).

Em termos geomorfológicos, Gomes Silva (2006) reportou que a área pesquisada caracteriza-se pelas marcas de falhas, deslocamentos de blocos e falhamentos transversos, impondo nítido controle estrutural sobre a morfologia atual. Este controle estrutural pode ser evidenciado pela observação das extensas linhas de falha, escarpas de grandes dimensões e relevos alinhados, coincidindo com os dobramentos originais e/ou falhamentos mais recentes, que por sua vez atuaram sobre antigas falhas. As duas famílias de falhas mapeadas na área podem ser caracterizadas como normais, apresentando mergulhos elevados. A atitude da Falha 1 é $N70^{\circ}E/75^{\circ}SE$ e da Falha 2 é $N25^{\circ}W/72^{\circ}NE$ (Figura 79). Os contatos entre as litologias ocorrem segundo os planos da foliação.



Figura 79. Vista geral da área das obras “Museu 1” e “Museu 2” em foto aérea na escala 1:8.000 (Gomes Silva, 2006).

Além do bandejamento metamórfico, um sistema de descontinuidades formado por quatro famílias de fraturas foi mapeado por Gomes Silva (2006) nas áreas “Museu 1” e “Museu 2”. As famílias F1 e F2 (subverticais) e as famílias F3 e F4 (subhorizontais) aparecem ocasionalmente em alguns setores. Estas quatro famílias estão presentes nas diversas litologias, sendo mais marcantes nos quartzitos. A Tabela 23 apresenta as características das descontinuidades presentes no maciço rochoso, de acordo com os parâmetros de descrição

quantitativa indicados pela ISRM (1981): atitude, espaçamento, persistência, abertura, presença de material de preenchimento e rugosidade através do coeficiente de rugosidade da junta JRC, além das características espaciais das descontinuidades.

Tabela 23. Características das descontinuidades do talude (Gomes Silva, 2006)

Descontinuidade*	Direção/ Mergulho (graus)	Espaçamento (mm)	Persistência (m)	Abertura (mm)	Ângulo de Atrito de Rampa (graus)	JRC
Foliação S1	N60E/12NW	-	-	-	35	6-8
Fratura F1	N5W/85ENE	30	7	1,0	44	8-10
Fratura F2	N10E/89ESE	50	8	1,2		
Fratura F3	N75W/12SW	150	5	1,3	49	0-12
Fratura F4	N80E/10NW	80	8	5,0		

Observação: * As descontinuidades apresentavam-se sem preenchimento e secas

Devido à grande diversidade litológica do local, os solos residuais, formados pelo intemperismo das rochas gnáissicas, são muito heterogêneos, mas podem ser classificados em dois tipos: na parte superior do talude um solo residual maduro, com cerca de 10m de espessura, caracterizado por uma argila-arenosa avermelhada e, na parte inferior do talude até o nível final de implantação (cerca de 30m), um solo residual jovem, caracterizado por um material areno-argiloso de coloração um pouco mais clara (Gomes Silva, 2006). A Figura 80 apresenta a configuração do talude no início da obra de estabilização.



Figura 80. Detalhe do talude em 11/12/2003.

Os perfis geológico-geotécnicos foram construídos por Gomes Silva (2006) através dos boletins de sondagens à percussão na área de estudo identificadas na Figura 81. Na obra “Museu 1” foram realizadas três sondagens SP-01 a SP-03, as quais não indicaram presença de NA. O valor do N(SPT) médio é de aproximadamente 30 golpes, embora alguns trechos apresentarem N(SPT) inferior a 20 golpes. A Tabela 24 apresenta os resultados das sondagens no “Museu 1”. As Figuras 81 e 82 ilustram o perfil geológico-geotécnico da obra.

Tabela 24. Sondagens na obra “Museu 1” (modificado de Gomes Silva, 2006)

SOND.	COTA (m)	DESCRIÇÃO DO TIPO DE SOLO	N(SPT)	PROF. (m)
SP - 01	43,80	Silte argiloso com areia fina a grossa, poucos pedregulhos, marrom	30	0,00 a 1,45
		Silte argiloso com areia fina e média, amarela	26, 32, 38 e (45/25)	1,45 a 12,10
SP - 02	56,00	Silte muito arenoso, marrom	30/13	0,00 a 1,00
		Silte muito arenoso de cor variegada	32/15	1,00 a 1,25
		Areia grossa amarela	30/8 e 10/2	1,25 a 4,17
		Trecho perfurado com barrilete (corte)	---	4,17 a 6,35
		Areia siltosa, marrom contendo pedregulhos	---	6,35 a 7,78
		Silte argiloso com areia fina e média de cor variegada	20/8	7,78 a 9,23
		Areia siltosa, amarela (trecho perfurado com barrilete)	---	9,23 a 11,07
		Areia siltosa, amarela.	---	11,07 a 16,08
		Silte argiloso com areia fina a grossa, amarela	---	16,08 a 17,07
SP - 03	64,30	Camada superficial com restos vegetais, cinza	9	0,00 a 1,00
		Argila siltosa com areia média e grossa, amarela	---	1,00 a 1,45
		Argila siltosa com areia fina e média, marrom	13	1,45 a 2,45
		Argila siltosa com areia fina a grossa, poucos pedregulhos, marrom	19	2,45 a 3,45
		Silte argiloso com areia fina e média, marrom	22 e 26	3,45 a 5,45
		Silte argiloso com areia fina e média, cor variegada	29, 33, 25 e 29	5,45 a 8,45
		Silte argiloso com areia fina e média, vermelha	48/27, 44/23, 48/13 e 28/15	8,45 a 19,00
		Argila siltosa com areia fina e média, marrom	27 e 30	19,00 a 22,00

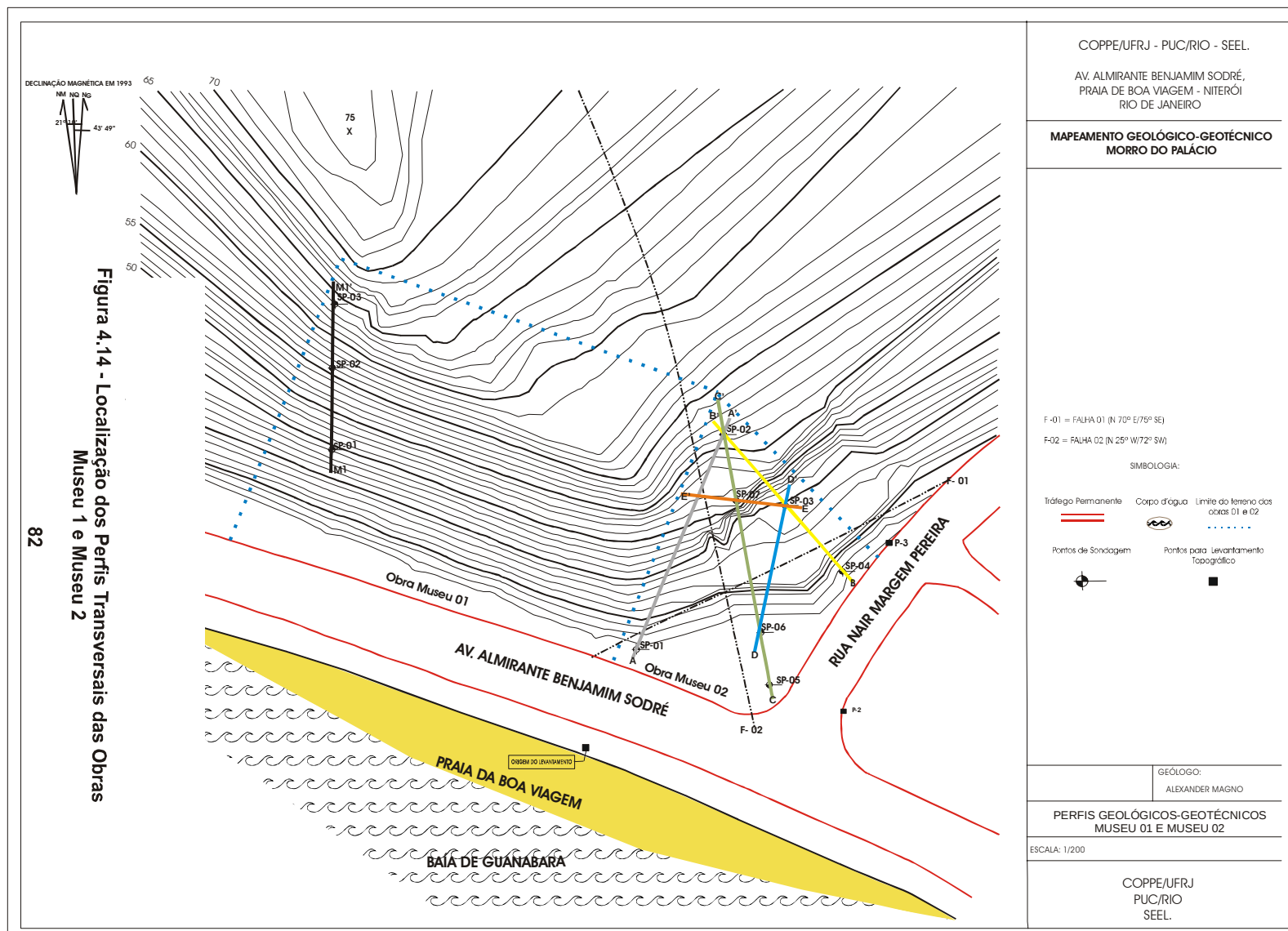


Figura 81. Localização dos perfis transversais das obras “Museu 1” e “Museu 2” (Gomes Silva, 2006).

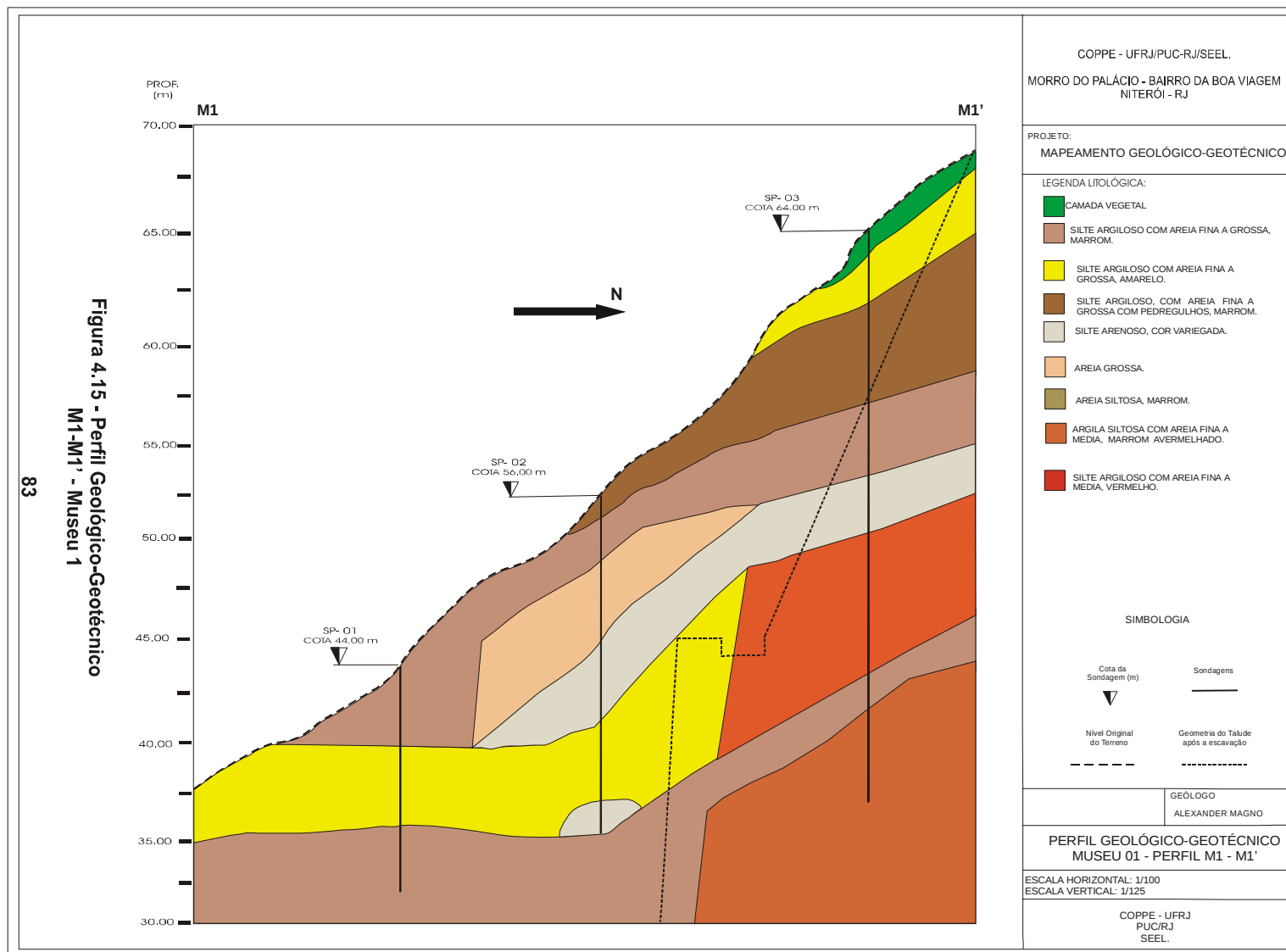


Figura 82. Perfil geológico-geotécnico M1-M1' da obra "Museu 1" (Gomes Silva, 2006).

4.3. Concepção do projeto

A concepção do projeto de estabilização do talude foi definida a partir de análises baseadas na teoria do Equilíbrio Limite, onde fatores de segurança globais foram calculados com o auxílio do programa “STABL for Windows” (Purdue University, 2000), pelo método de Bishop Simplificado, admitindo-se superfícies de ruptura circulares. A partir do levantamento topográfico, da planta de escavação, seções laterais, boletins de sondagens e visita ao local da obra, definiu-se a seção-tipo de projeto, como sendo a seção 03. As Figuras 83 e 84 apresentam a planta geral de topografia e a seção analisada, respectivamente.

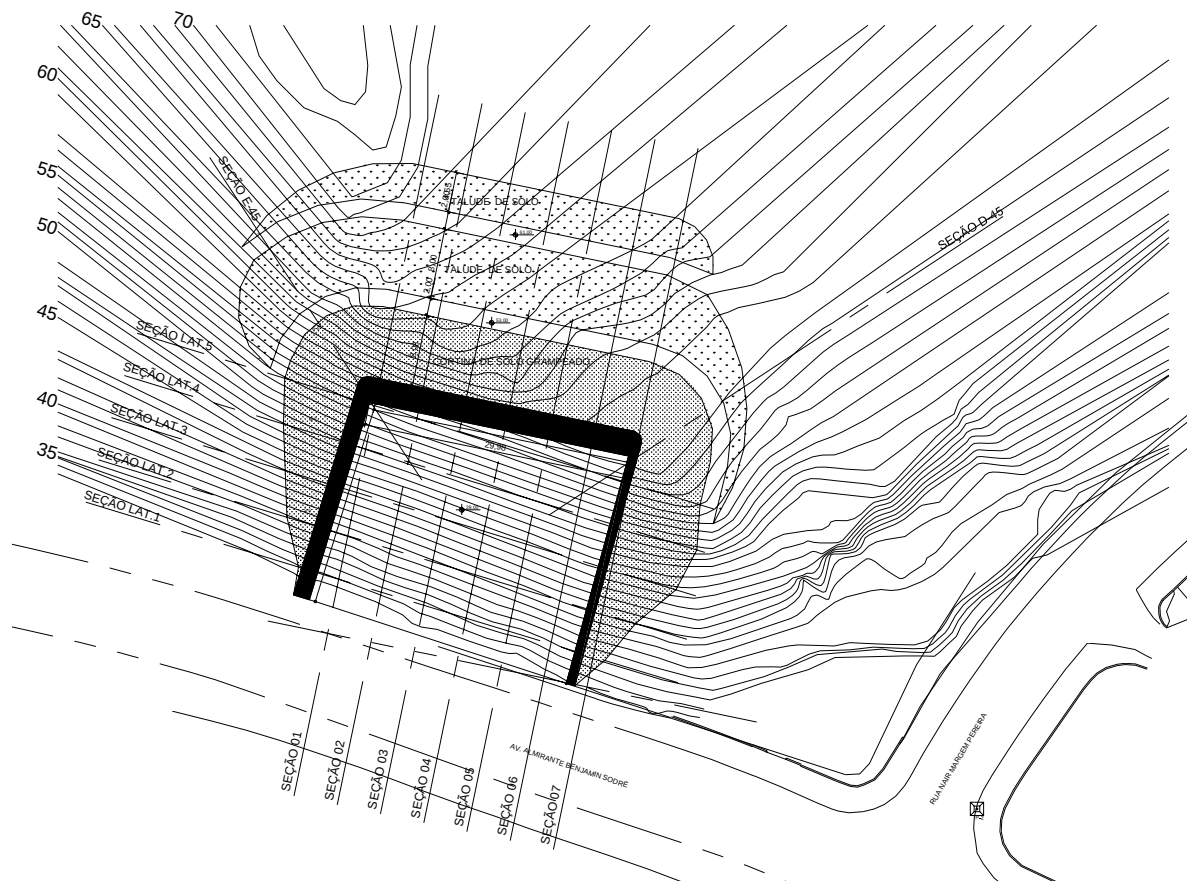


Figura 83. Levantamento topográfico da obra “Museu 1”.

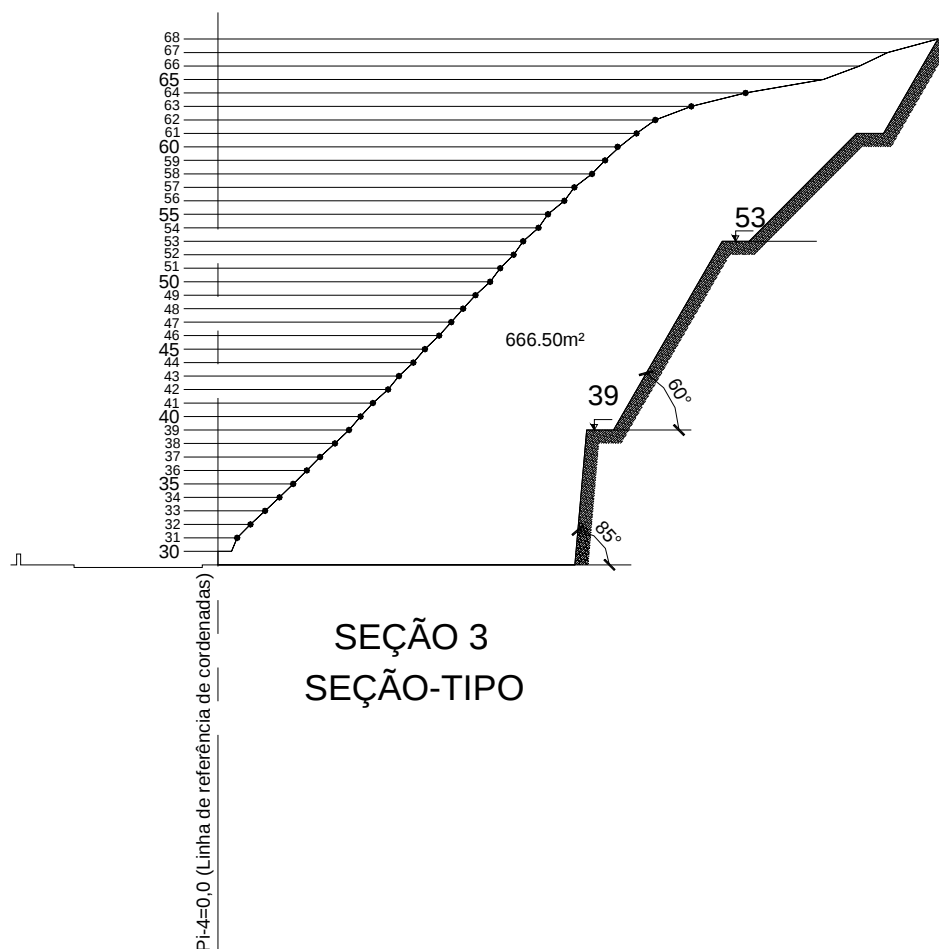


Figura 84. Seção-tipo de projeto (seção 03).

A partir da definição da seção-tipo foram avaliadas as estabilidades globais e locais para diversas configurações de grampos e tirantes. Um quadro resumo com os fatores de segurança globais para cada solução estudada é apresentado na Tabela 25. Os parâmetros geomecânicos adotados nas análises encontram-se indicados na Tabela 26.

Tabela 25. Resumo das análises realizadas na fase de projeto

Solução	FS global	Descrição
01	1,34	6 grampos (inferiores) com $L=18\text{m}$, $s_h = 4,3\text{m}$ e $s_v=1,56\text{m}$; 4 tirantes (inferiores) com $L_{\text{bulbo}}=10\text{m}$ de bulbo e $L_{\text{inj}}=6\text{m}$, 8m, 10m e 12m ($s_h=4,3\text{m}$ e $s_v=1,56\text{m}$); 3 grampos (intermediários) com $L=18\text{m}$ e $s_h=s_v=2,0\text{m}$; 4 grampos (superiores) com $L=22\text{m}$ e $s_h=s_v=2,0\text{m}$; - todos os grampos livres;
02	1,35	idem a Solução 01 com substituição de 2 grampos superiores para 2 tirantes com $L_{\text{bulbo}}=10\text{m}$ de bulbo e $L_{\text{inj}}=12\text{m}$ ($s_h=2,0\text{m}$);
03	1,22	idem a Solução 02 com retirada de todos os tirantes inferiores;
04	1,23	idem a Solução 03 reduzindo-se o espaçamento horizontal (s_h) entre os grampos inferiores para $2,0\text{m}$;
05	1,25	idem a Solução 04 reduzindo-se o comprimento dos dois grampos superiores para 21m;
06	1,35	idem a Solução 05 aumentando-se o comprimento dos três grampos intermediários para 21m e substituindo 2 tirantes superiores por grampos com 21m;
07	1,31	idem a Solução 06 reduzindo-se o comprimento dos três grampos inferiores para 15m;
08	1,32	idem a Solução 07 aumentando-se o comprimento dos dois grampos superiores para 24m;
09	1,19	idem a Solução 08 modificando-se a geometria do talude;
10	1,45	idem a Solução 08 (mesma geometria e grampos) com modificações nos parâmetros dos solos;
11	1,45 (GL) 1,51 (GF)	idem a Solução 10 com alterações nas espessuras das camadas do Colúvio e do Solo Residual Jovem;
12	1,46	idem a Solução 11 aumentando-se o comprimento da 3ª linha dos grampos superiores para 24m;

OBS.: GL=grampos livres; GF=grampos fixos; L=comprimento do grampo; L_{bulbo} =comprimento do bulbo; L_{inj} = comprimento do trecho injetado; s_v =espaçamento vertical; s_h =espaçamento horizontal.

Tabela 26. Propriedades geomecânicas dos solos nas análises numéricas

Solo 1 (Residual Maduro)				Solo 2 (Residual Jovem)			
γ_{nat} (KN/m ³)	γ_{sat} (KN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (graus)	γ_{nat} (KN/m ³)	γ_{sat} (KN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (graus)
18	18	5	30	18	18	10	35
Grampos				Tirantes			
ϕ_{furo} (m)	$\phi_{aço}$ (m)	s_v (m)	ϕ_{furo} (mm)	$\phi_{aço}$ (m)	s_v (m)	s_h (m)	
0,075	0,025	1,55 e 2,0	0,075	0,025	1,55 e 2,0	2,0 e 4,3	
$\sigma_{aço}$ (MPa)	q_s (kPa)	s_h (m)	$\sigma_{aço}$ (MPa)	T_i (kN)	L_{livre} (m)		
500	175	2,0	500	500	6 a 12		

$\phi_{aço}$ =diâmetro da barra de aço, ϕ_{furo} =diâmetro do furo, $\sigma_{aço}$ =tensão de escoamento do aço, q_s =resistência ao arrancamento do grampo, T_i =carga de incorporação do tirante, γ_{nat} =peso específico natural, γ_{sat} =peso específico saturado, c'=coesão efetiva, ϕ' =ângulo de atrito efetivo.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 25 e na comparação de custos dos serviços principais, obtida a partir do comprimento total dos reforços (indicado na Figura 85), concluiu-se que a “Solução 11” foi a melhor configuração para a estabilidade do talude, tendo em vista o valor de FS e comprimento total de reforços apresentados. A geometria da Solução 11 é apresentada na Figura 86.

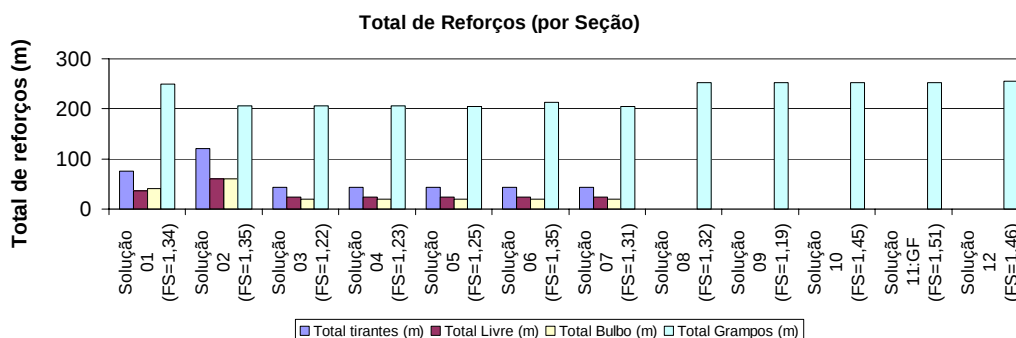


Figura 85. Avaliação preliminar do total de reforços por seção.

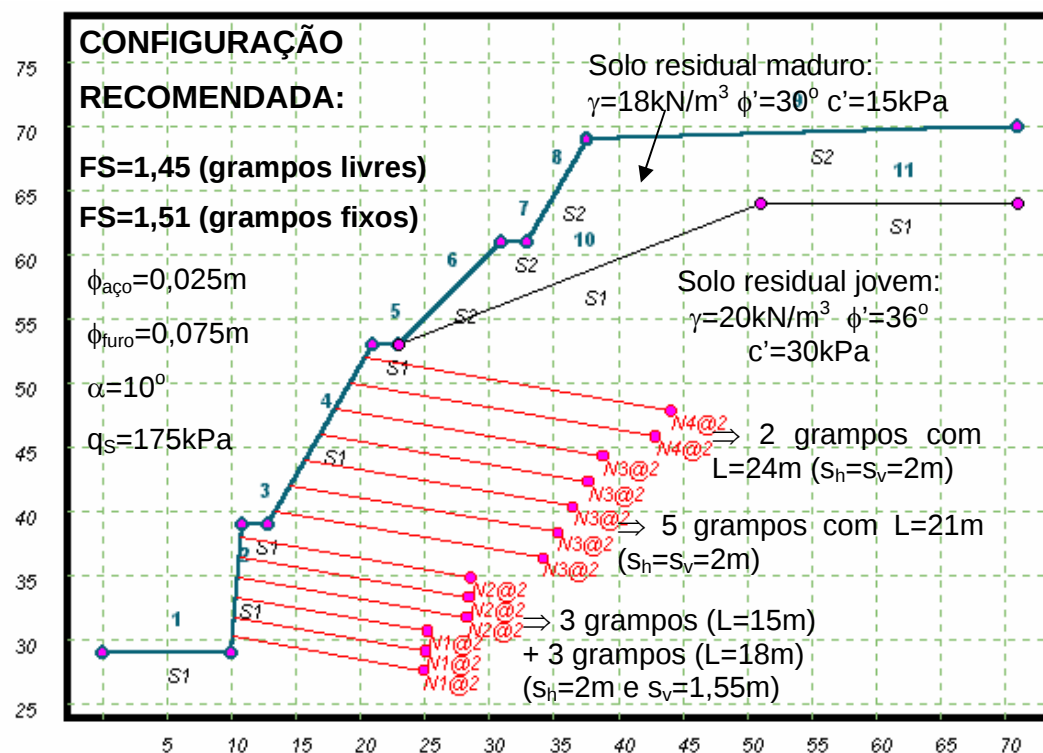


Figura 86. Seção-tipo da solução de estabilização recomendada.

Considerando-se que a configuração preliminar de grampos para o projeto foi a indicada pela Solução 11 (Figura 86), foi realizada uma avaliação da influência da variação do resistência ao cisalhamento solo-grampo (q_s) no fator de segurança do talude (FS).

Os valores atribuídos a q_s , foram estimados a partir de ensaios de arrancamento realizados em obras nacionais (Tabela 16). Os casos estudados estão apresentados na Tabela 27. Nota-se que os valores atribuídos a q_s são bastante conservadores e devem ser checados a partir de ensaios de arrancamento no campo (Springer, 2006).

Tabela 27. Quadro-resumo das análises realizadas

Caso estudado	q_s (kPa)	FS obtido
Solução 11	175	1,45
Solução 11b	150	1,41
Solução 11c	120	1,31
Solução 11d	100	1,24
Solução 11e	150 (1ª e 2ª linha) 120 (3ª e 4ª linha)	1,34

Os fatores de segurança (FS) obtidos em todas as análises estão apresentados na Figura 87. Nesta figura, observa-se que uma redução no valor da resistência ao cisalhamento solo-grampo de 75kPa, por exemplo, acarreta uma diminuição do FS de 14%.

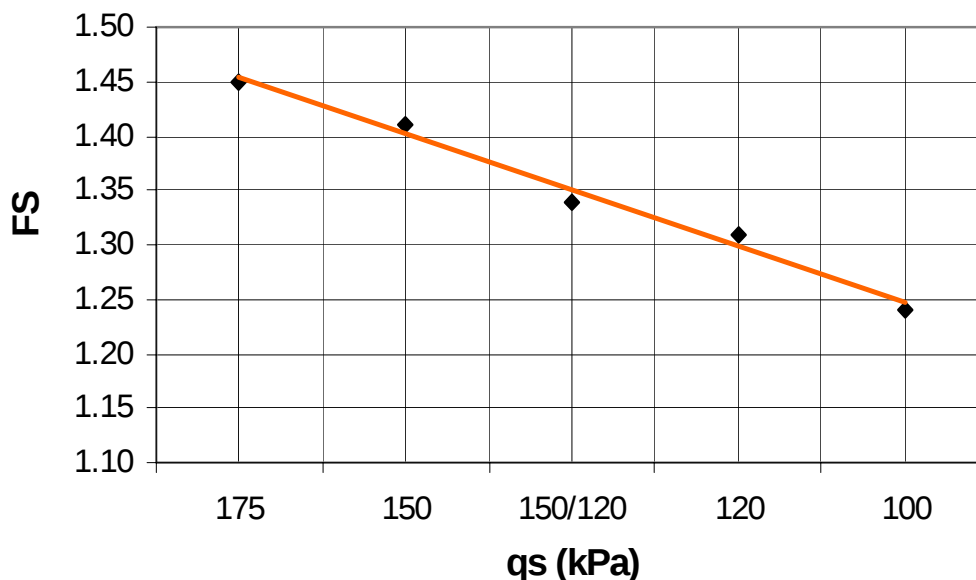


Figura 87. Variação do fator de segurança em função do atrito unitário solo-grampo (q_s).

4.4. Descrição da obra

A obra estudada é uma escavação estabilizada com grampos, para implantação de prédio residencial com 10 pavimentos tipo. A concepção do projeto e a execução da obra foram realizadas pela empresa SEEL – Serviços Especiais de Engenharia Ltda. A Figura 88 apresenta uma vista esquemática da obra.

O início da execução do projeto de estabilização foi em 23 de Outubro de 2003 com término em 12 de Agosto de 2004. Foram executados cortes nos taludes subverticais intermediários, com alturas variando entre 8 e 14m e inclinações entre 45° e 85°.

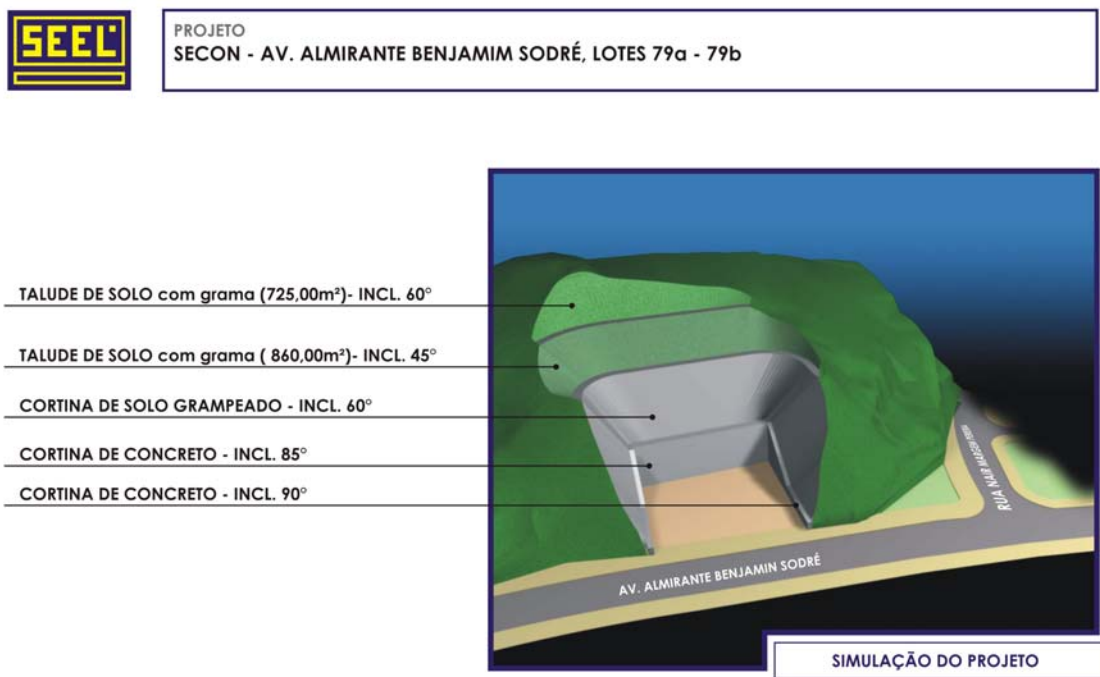


Figura 88. Concepção do projeto.

O grampeamento do solo foi executado nos dois taludes inferiores, com inclinações de 60° e 85° e alturas variando entre 14 e 10m. Os taludes superiores, com inclinações de 45° e 60° e altura de 8m, foram apenas revestidos com camada superficial de vegetação, para proteção contra a erosão. As Figuras 89 e 90 apresentam um esquema da concepção do projeto dos taludes inferiores, divididos em faces.

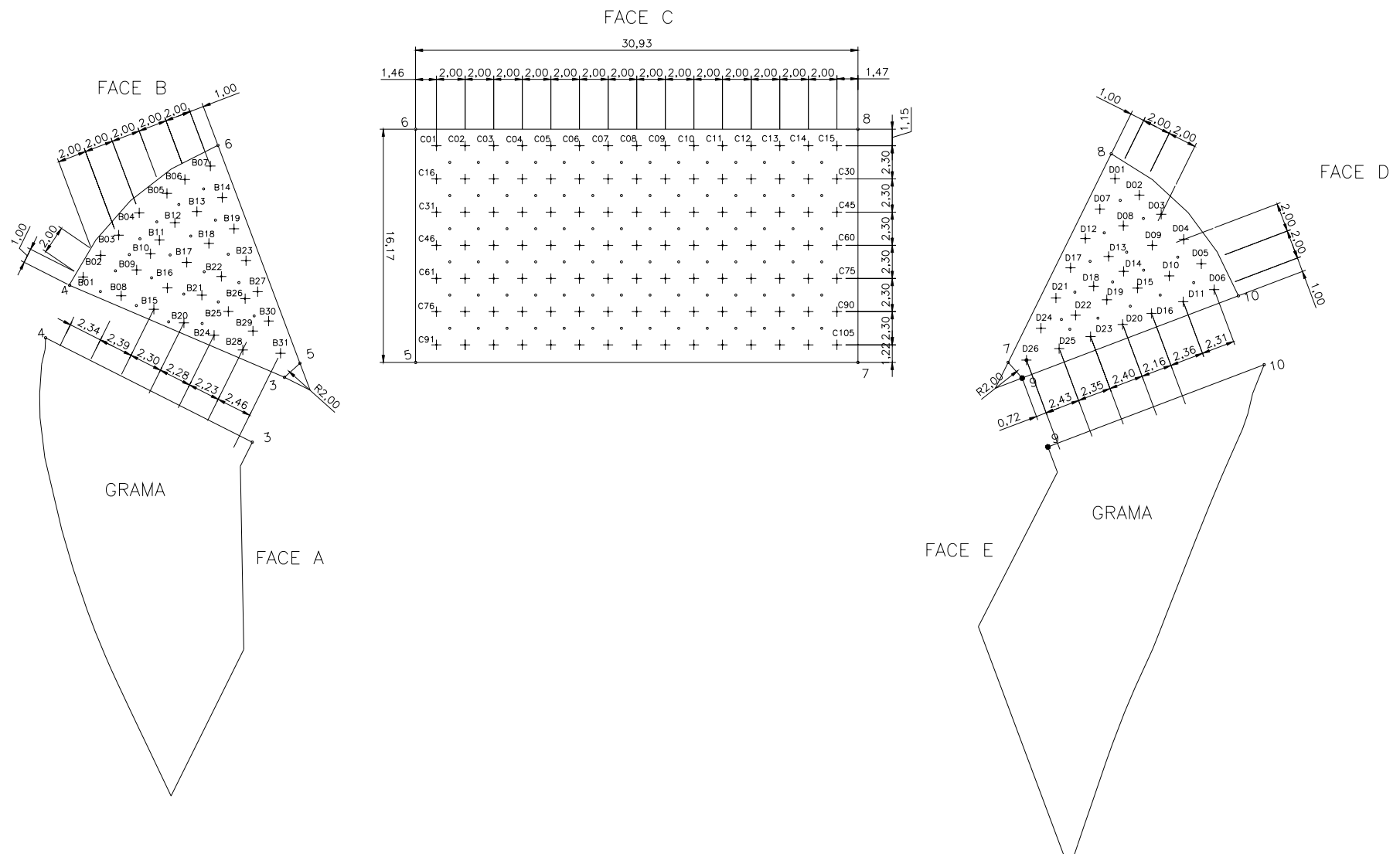


Figura 89. Vista do talude grampeado (Faces A, B, C, D e E).

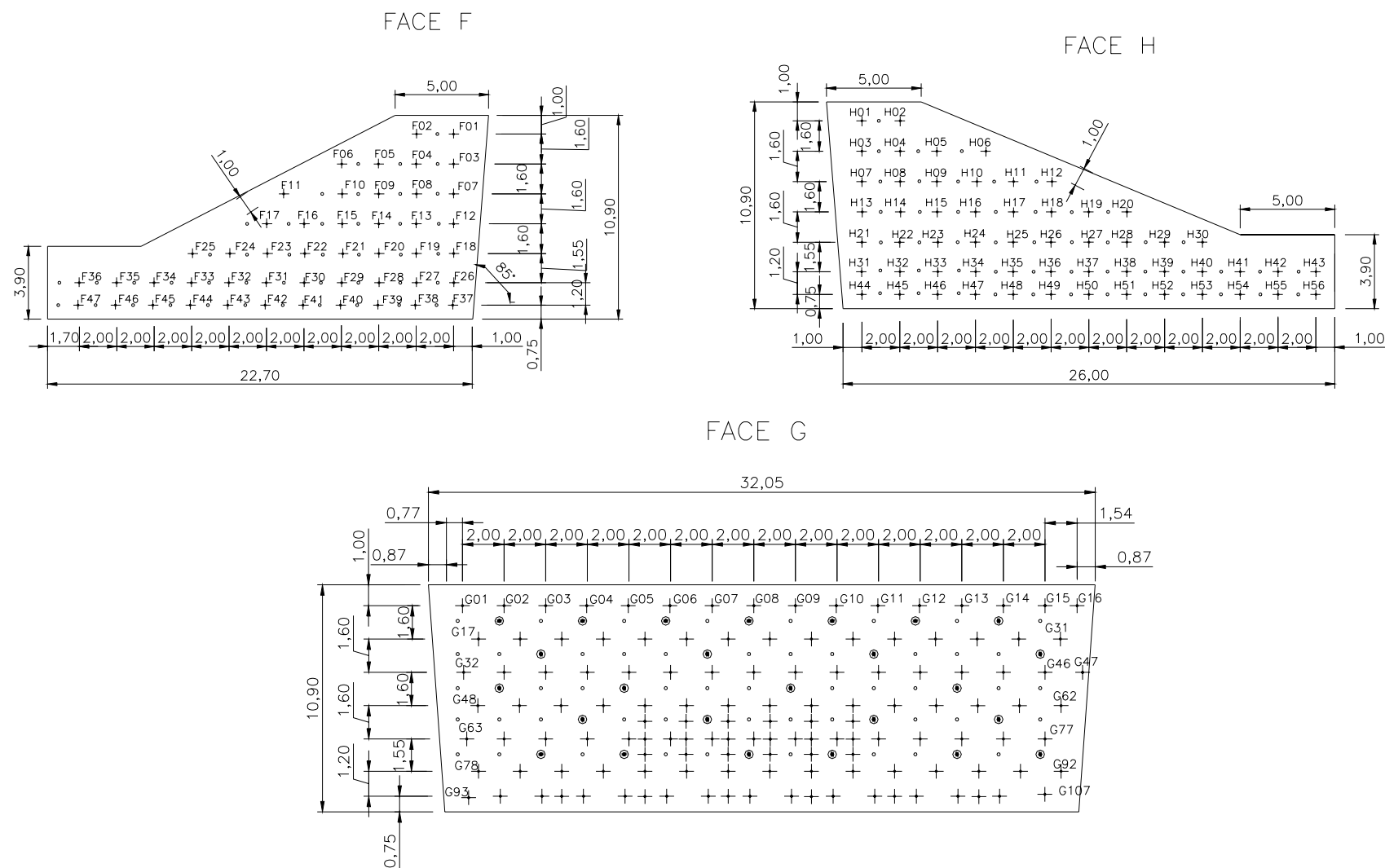


Figura 90. Vista do talude grampeado (Fases F, G e H).

Nos taludes inferiores, o processo de grampeamento iniciou-se com sucessivas etapas de escavação, colocação + injeção dos grampos e execução da parede em concreto projetado. A Figura 91 apresenta as sucessivas etapas construtivas para uma determinada cota de projeto.



Figura 91. Vista geral das etapas construtivas.

A escavação do maciço de solo residual foi executada com retro-escavadeiras, totalizando mais de 20.000 m³ de material escavado, ao longo de toda a obra. A altura total da escavação nas faces C e G, foi de 40m. O solo retirado do local foi depositado em caminhões basculantes que levaram para bota-fora em área na cidade de Niterói.

No terço central dos taludes das faces C e G foram definidas 2 colunas instrumentadas, a serem descritas no item 5.3. Nesta região, as etapas de escavação apresentaram altura média de 1m (Figura 92).

O avanço da escavação nas faces C e G são apresentados nas Figuras 93 e 94, respectivamente. A localização das seções instrumentadas A e B está indicada nestas figuras.

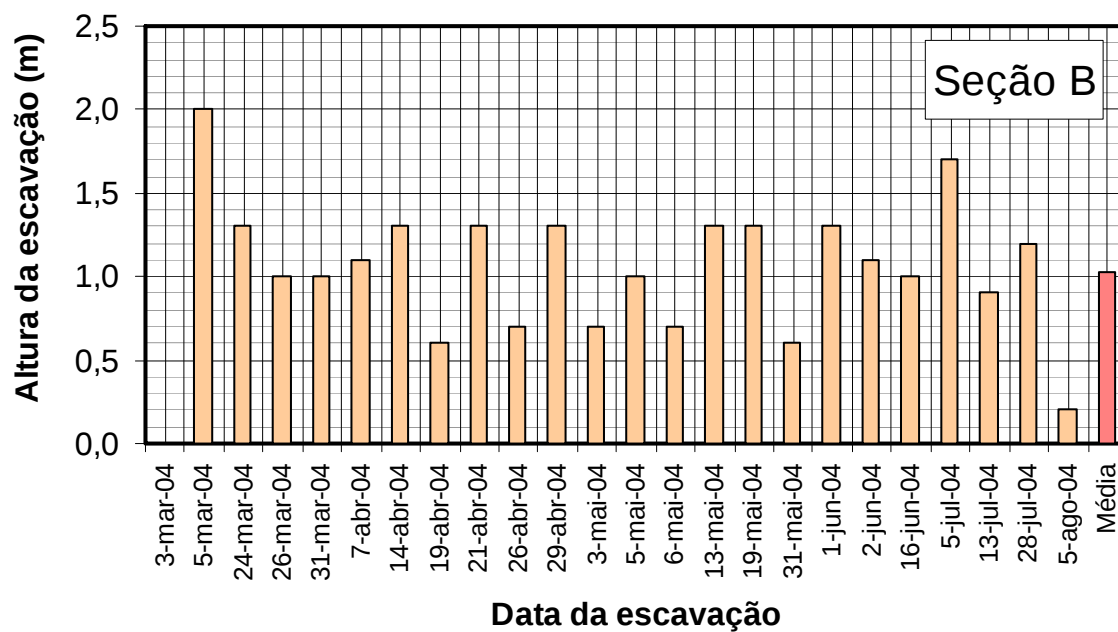
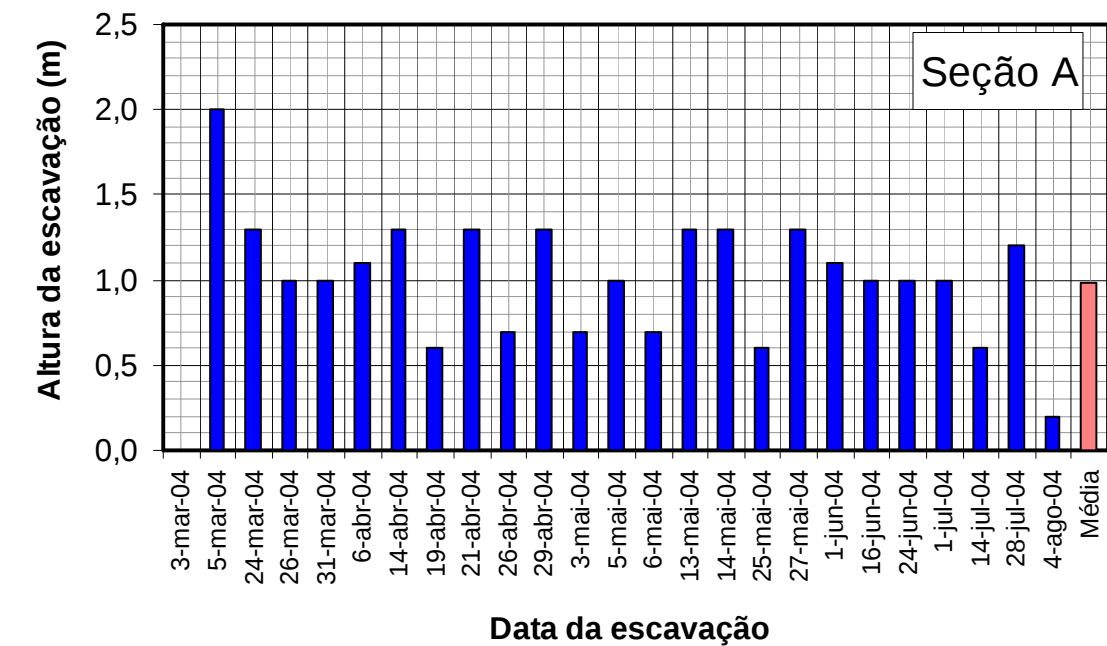
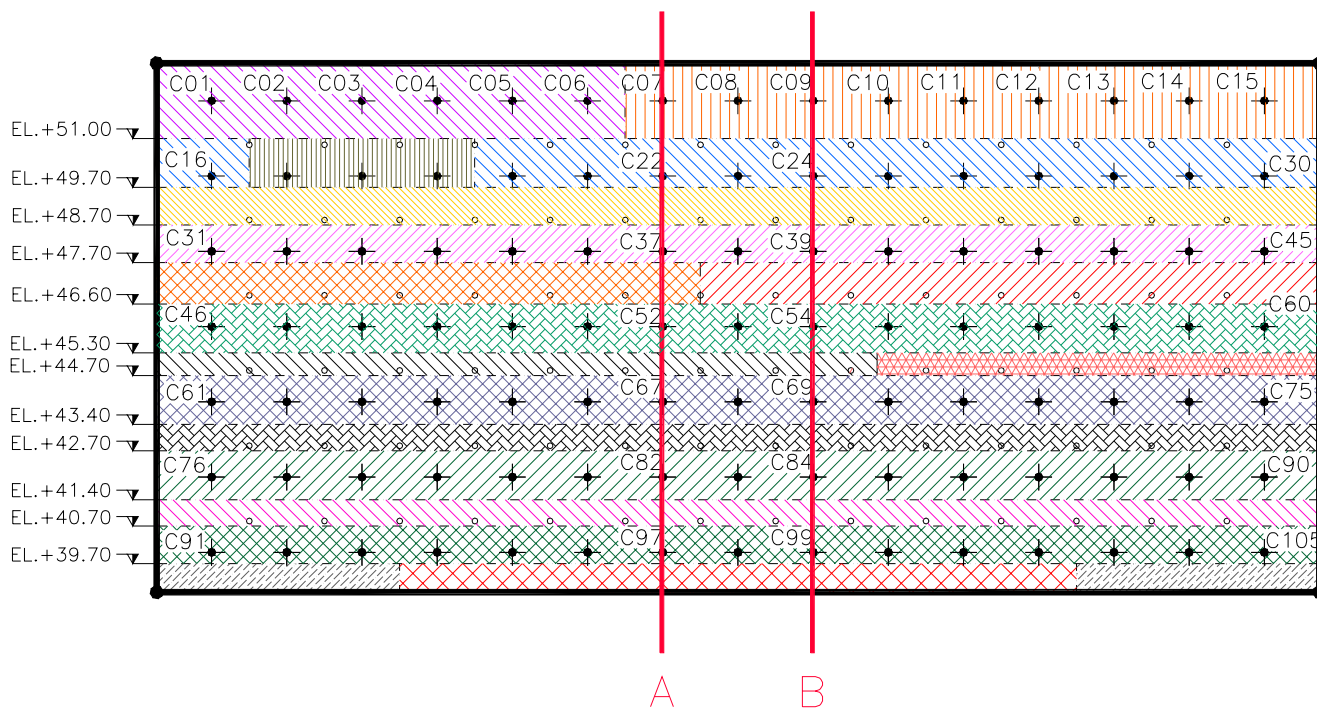
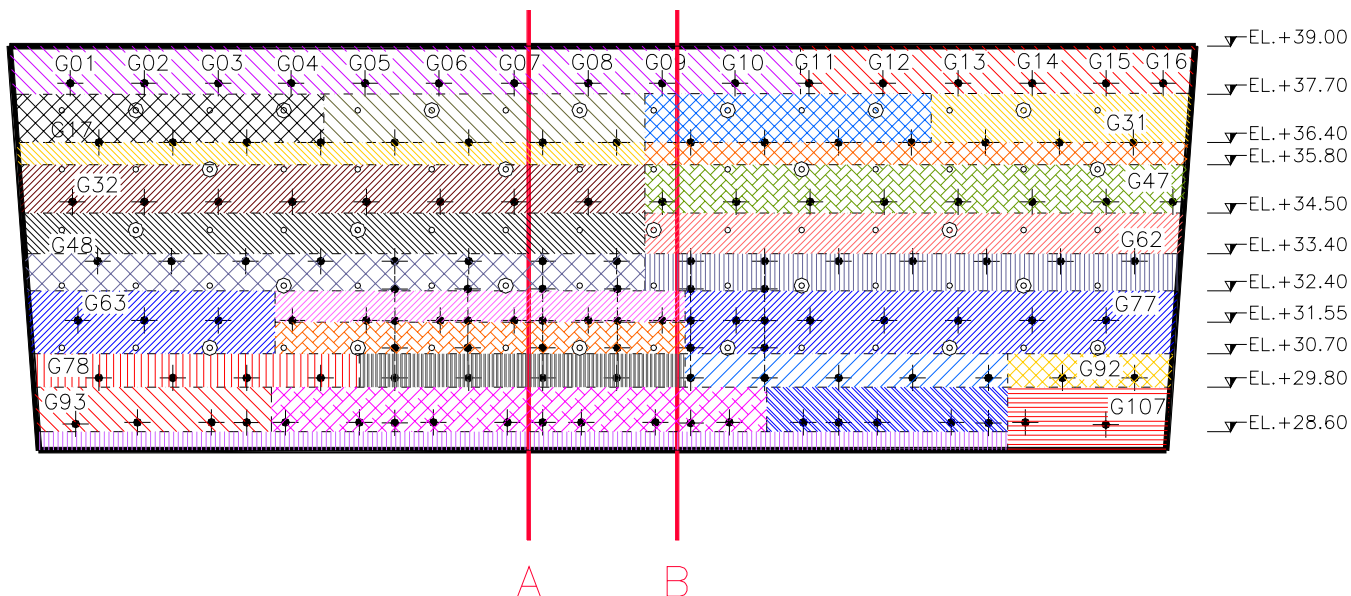


Figura 92. Histograma da altura da escavação em função da data da escavação das seções instrumentadas A e B.



Hescav.=2,00 . Cota final +51.00 (04/03/04)	Hescav.=0,60 . Cota final +44.70 (20/04/04)
Hescav.=2,00 . Cota final +51.00 (05/03/04)	Hescav.=1,30 . Cota final +43.40 (21/04/04)
Hescav.=1,30 . Cota final +49.70 (22/03/04)	Hescav.=0,70 . Cota final +42.70 (26/04/04)
Hescav.=1,30 . Cota final +49.70 (24/03/04)	Hescav.=1,30 . Cota final +41.70 (29/04/04)
Hescav.=1,00 . Cota final +48.70 (26/03/04)	Hescav.=0,70 . Cota final +40.70 (03/05/04)
Hescav.=1,00 . Cota final +47.70 (31/03/04)	Hescav.=1,00 . Cota final +39.70 (05/05/04)
Hescav.=1,10 . Cota final +46.60 (06/04/04)	Hescav.=0,70 . Cota final +39.00 (06/05/04)
Hescav.=1,10 . Cota final +46.60 (07/04/04)	Hescav.=0,70 . Cota final +39.00 (11/05/04)
Hescav.=0,60 . Cota final +44.70 (19/04/04)	

Figura 93. Processo de escavação - Face C.



Hescav.=1,30 . Cota final +37.70 (13/05/04)	Hescav.=1,00 . Cota final +31.40 (24/06/04)
Hescav.=1,30 . Cota final +37.70 (14/05/04)	Hescav.=1,00 . Cota final +30.40 (01/07/04)
Hescav.=1,30 . Cota final +36.40 (17/05/04)	Hescav.=1,70 . Cota final +30.70 (05/07/04)
Hescav.=1,30 . Cota final +36.40 (18/05/04)	Hescav.=0,90 . Cota final +29.80 (12/07/04)
Hescav.=1,30 . Cota final +36.40 (19/05/04)	Hescav.=0,90 . Cota final +29.80 (13/07/04)
Hescav.=1,30 . Cota final +36.40 (25/05/04)	Hescav.=0,60 . Cota final +29.80 (14/07/04)
Hescav.=0,60 . Cota final +35.80 (25/05/04) ate G08	Hescav.=0,90 . Cota final +24.80 (15/07/04)
Hescav.=1,30 . Cota final +33.50 (27/05/04)	Hescav.=1,10 . Cota final +28.42 (27/07/04)
Hescav.=0,60 . Cota final +35.80 (31/05/04)	Hescav.=1,20 . Cota final +28.60 (28/07/04)
Hescav.=1,30 . Cota final +34.50 (01/06/04)	Hescav.=1,20 . Cota final +28.60 (29/07/04)
Hescav.=1,10 . Cota final +33.40 (01/06/04)	Hescav.=1,20 . Cota final +28.60 (03/08/04)
Hescav.=1,10 . Cota final +33.40 (02/06/04)	ESC. DE ~0,18m para canaleta de pé 04 e 05/08
Hescav.=1,00 . Cota final +32.40 (08/06/04)	
Hescav.=1,00 . Cota final +32.40 (16/06/04)	

Figura 94. Processo de escavação - Face G.

Os grampos dos reforços foram executados por meio das operações de perfuração (com ar comprimido) e fixação da barras de aço com injeção de calda de cimento. As perfurações foram realizadas com perfuratrizes (sondas rotativas) manuais e mecânicas (com apoio fixo), com diâmetro de 0,10m, comprimento variando entre 4 e 24m, e inclinação de 10° com a horizontal. Foram utilizadas barras de aço CA75 tipo INCOTEP (INCO 13-D) nervuradas e com diâmetro nominal de 0,022m. Quando necessário, as barras eram emendadas com luvas rosqueadas, pois as mesmas apresentavam comprimento nominal de 6m. Em

cada reforço, foram utilizados centralizadores de plástico a cada 2m. Nas faces superiores, o espaçamento horizontal e vertical entre grampos foi de 2,00m. No talude inferior, a densidade de grampos foi menor, sendo o espaçamento horizontal e vertical entre os reforços de 2,00 e 1,55m, respectivamente. Nesta obra foram executados cerca de 400 grampos. As Figuras 95 e 96 apresentam a sequência da perfuração para colocação dos reforços nas faces C e G.

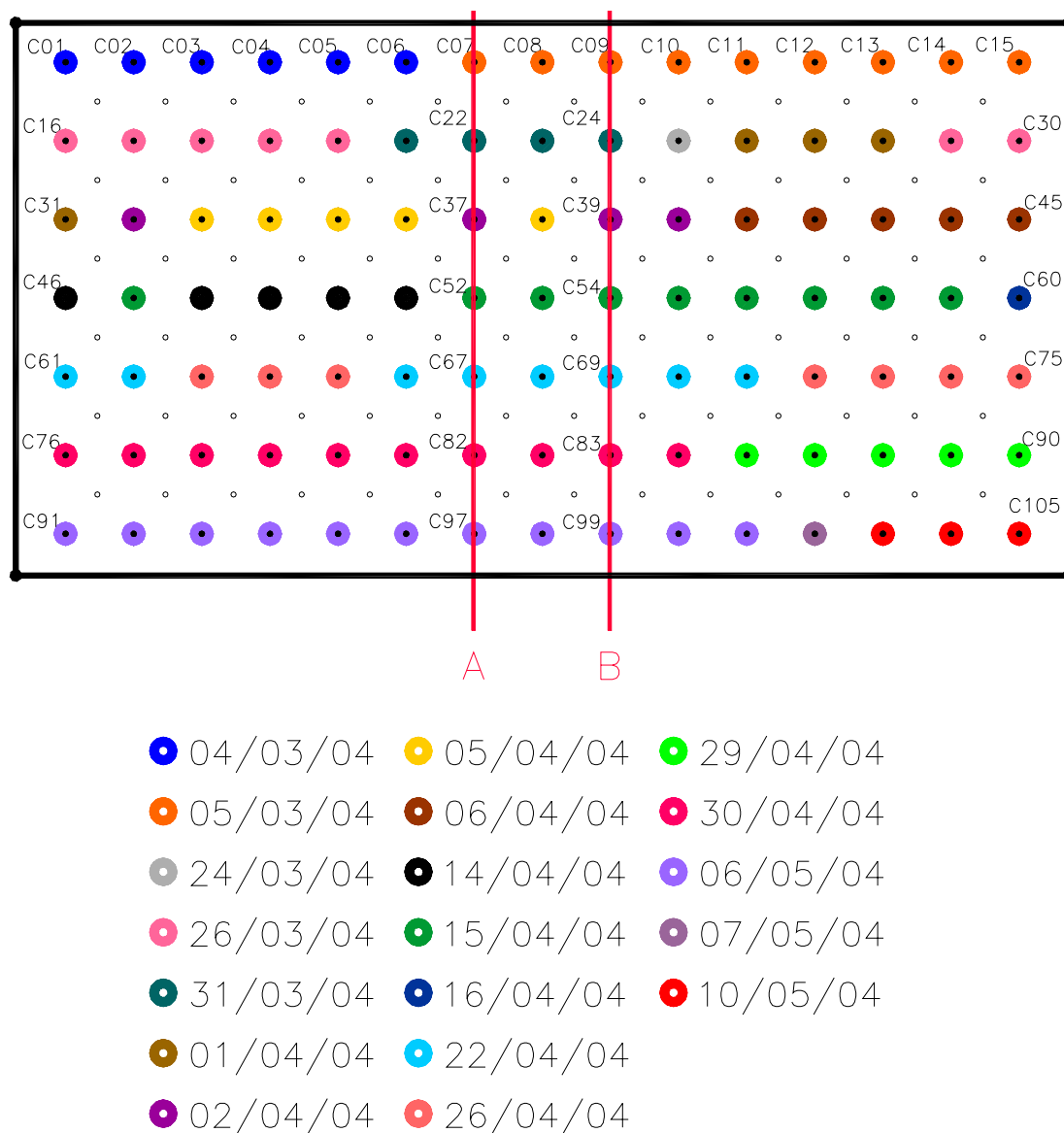


Figura 95. Sequência da perfuração para colocação dos grampos - Face C.

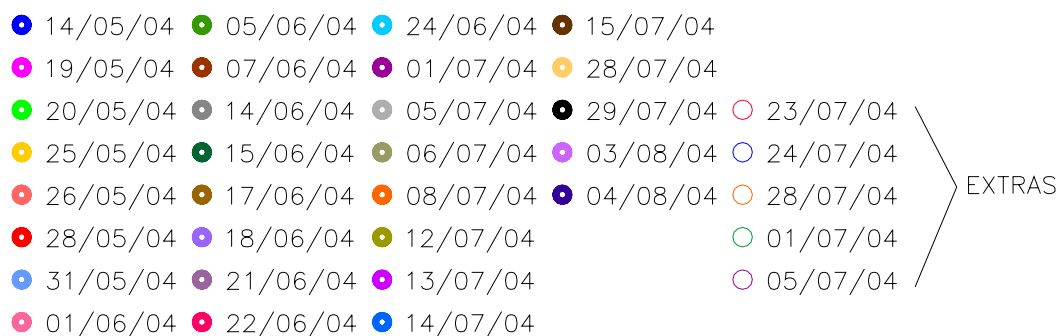
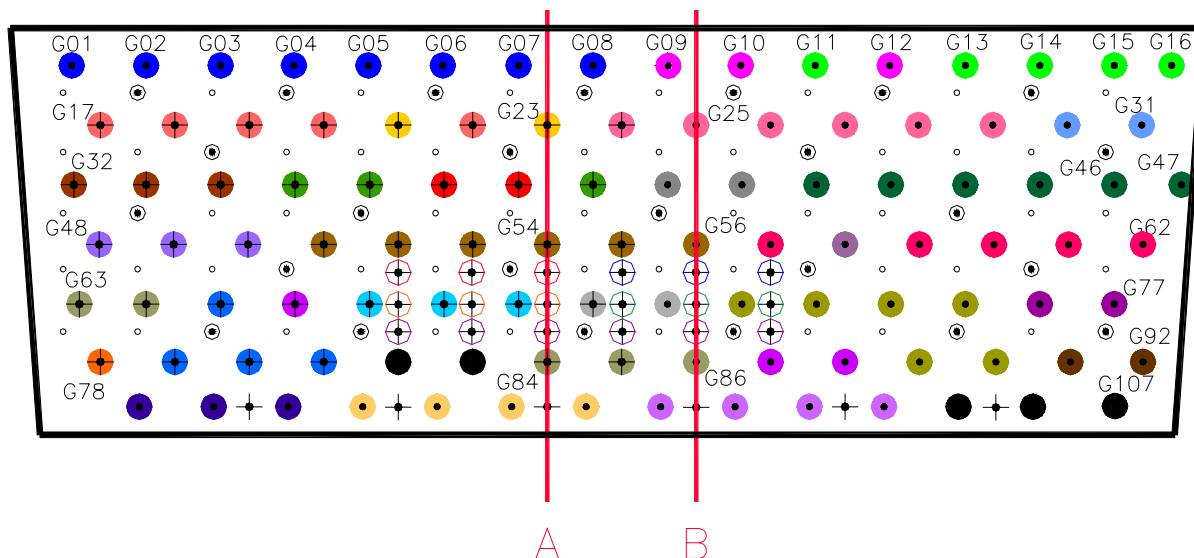


Figura 96. Sequência da perfuração para colocação dos grampos - Face G.

Foi realizado um tratamento estatístico de todos os dados provenientes da perfuração dos grampos das faces B-C-D (1º talude em solo grampeado) e faces F-G-H (2º talude em solo grampeado). Os resultados podem ser vistos na Figura 97, a qual indica um tempo médio de perfuração de grampos de 45 e 28 minutos, para o 1º e 2º talude em solo grampeado, respectivamente. Nestes casos, as velocidades médias de perfuração dos grampos (de cada linha) foi de 0,37m/min (1º talude) e 0,42m/min. (2º talude).

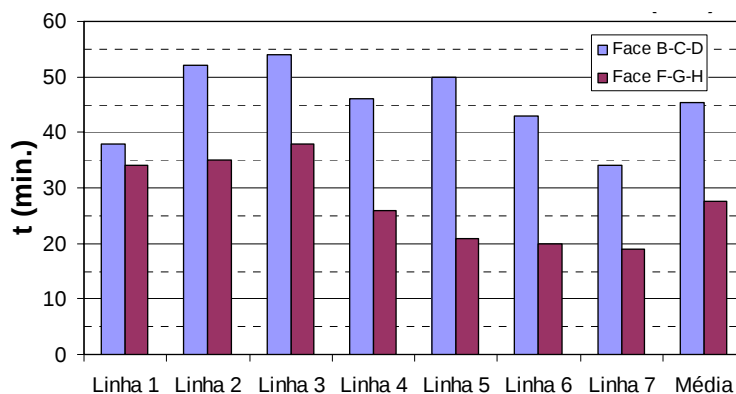


Figura 97. Tempo médio de perfuração dos grampos.

Uma calda de cimento Portland, com fator água-cimento (em peso) de 0,50, foi utilizada como fluido cimentante para preencher o furo. A injeção deste fluido foi realizada de baixo para cima, por meio de tubulação acessória cuja extremidade foi posicionada na parte inferior da perfuração. Nas faces F, G e H, imediatamente após o preenchimento do furo com a calda de cimento, foi realizada uma única fase de reinjeção, por meio de tubo de injeção perdido instalado junto à barra de aço (tubo de polietileno de 0,010m de diâmetro com “válvulas de injeção” a cada 0,5m). A pressão de injeção, nestes casos, foi de aproximadamente, 50 a 100kPa. Não houve reinjeção nos demais grampos da obra. O processo de injeção nas faces C e G é apresentado nas Figuras 98 e 99.

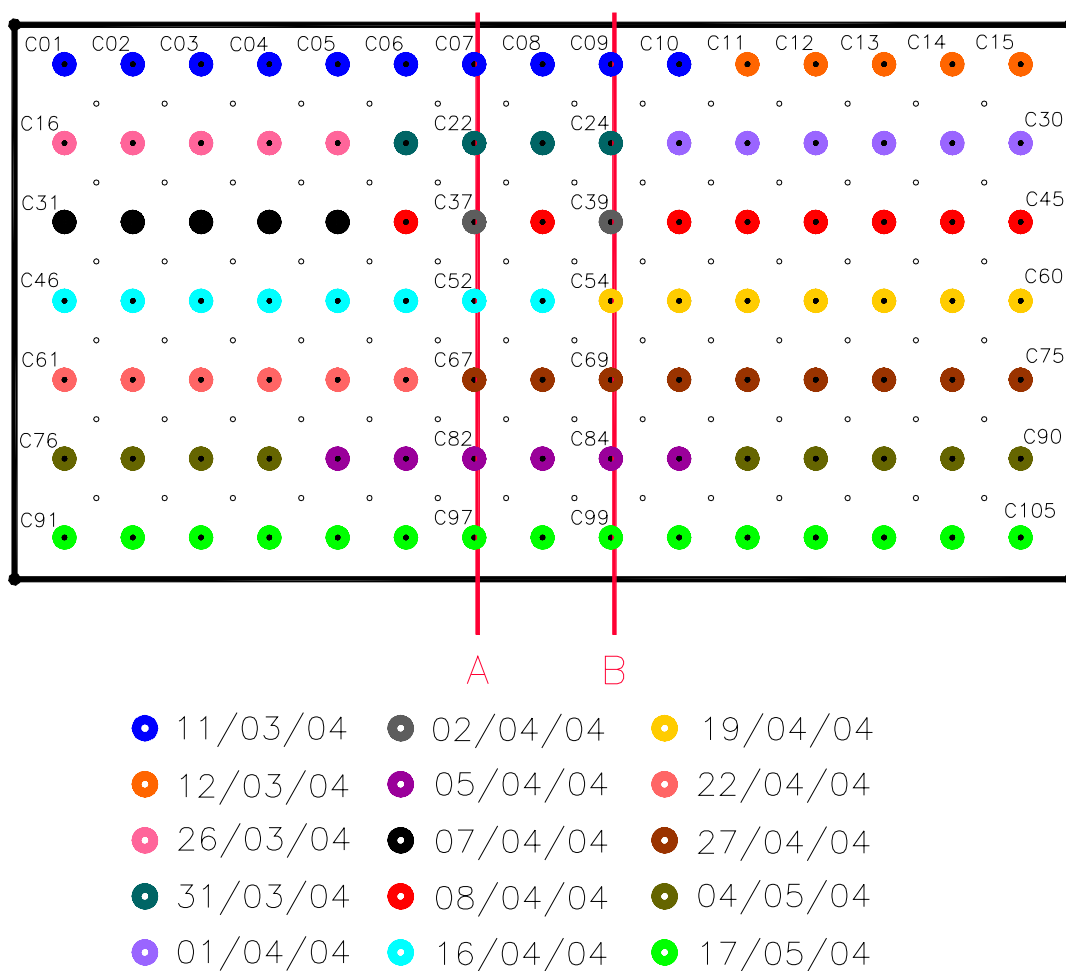


Figura 98. Seqüência do processo de injeção dos grampos - Face C.

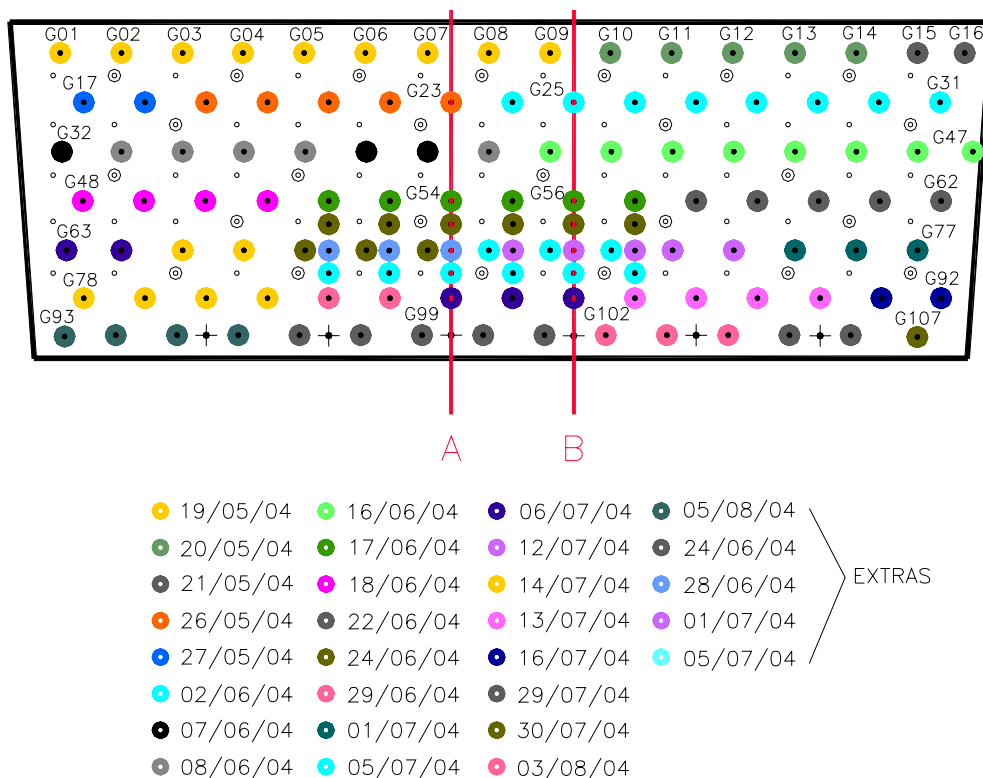


Figura 99. Seqüência do processo de injeção dos grampos - Face G.

Os tempos médios de injeção dos grampos, para os taludes das faces superior e inferior, estão ilustrados na Figura 100. Os resultados indicam um tempo médio de injeção de 9 minutos e 7 minutos, para as faces B-C-D e F-G-H, respectivamente.

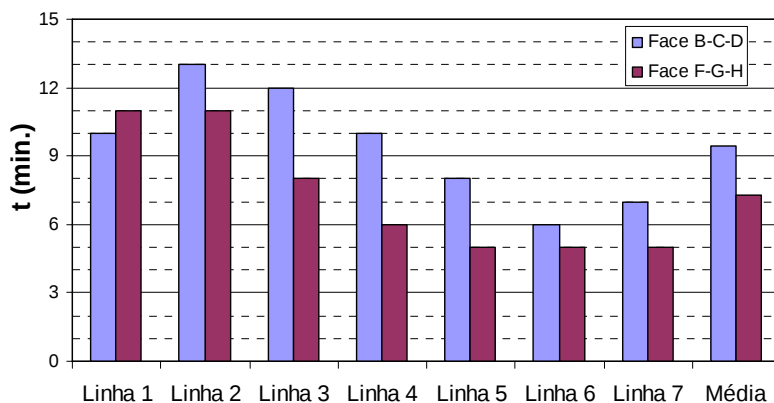


Figura 100. Tempo médio de injeção dos grampos.

Os taludes grampeados foram revestidos com tela metálica BELGO Q138 e concreto projetado via seca com cerca de 0,15m de espessura. Nas faces B, C e D, as extremidades de cada armação não foram incorporadas à tela metálica (grampos livres). Em contrapartida, as barras de aço das faces inferiores (F, G e

H) receberam placa metálica, rosca e porca, pois em todos os grampos (não-instrumentados) desta região, foi aplicada uma “pré-carga inicial de incorporação” de aproximadamente 100kN ($\cong 10\text{tf}$) na cabeça do grampo. Esta carga equivale a uma pressão de cerca de 300MPa na extremidade do reforço ($\cong 46\%$ da tensão de escoamento do aço). A seqüência da aplicação desta pressão nos reforços da Face G está ilustrada na Figura 101.

Simultaneamente ao avanço da escavação e grampeamento do solo, foram executados drenos subhorizontais profundos (DHP) de plástico PVC recobertos com tela de nylon na extremidade perfurada. Foram instalados em furos de 0,10m de diâmetro, com 15m de comprimento. Foi prevista também drenagem superficial de todo o talude grampeado com a colocação de drenos tipo Barbacãs, espaçados a cada 2m.

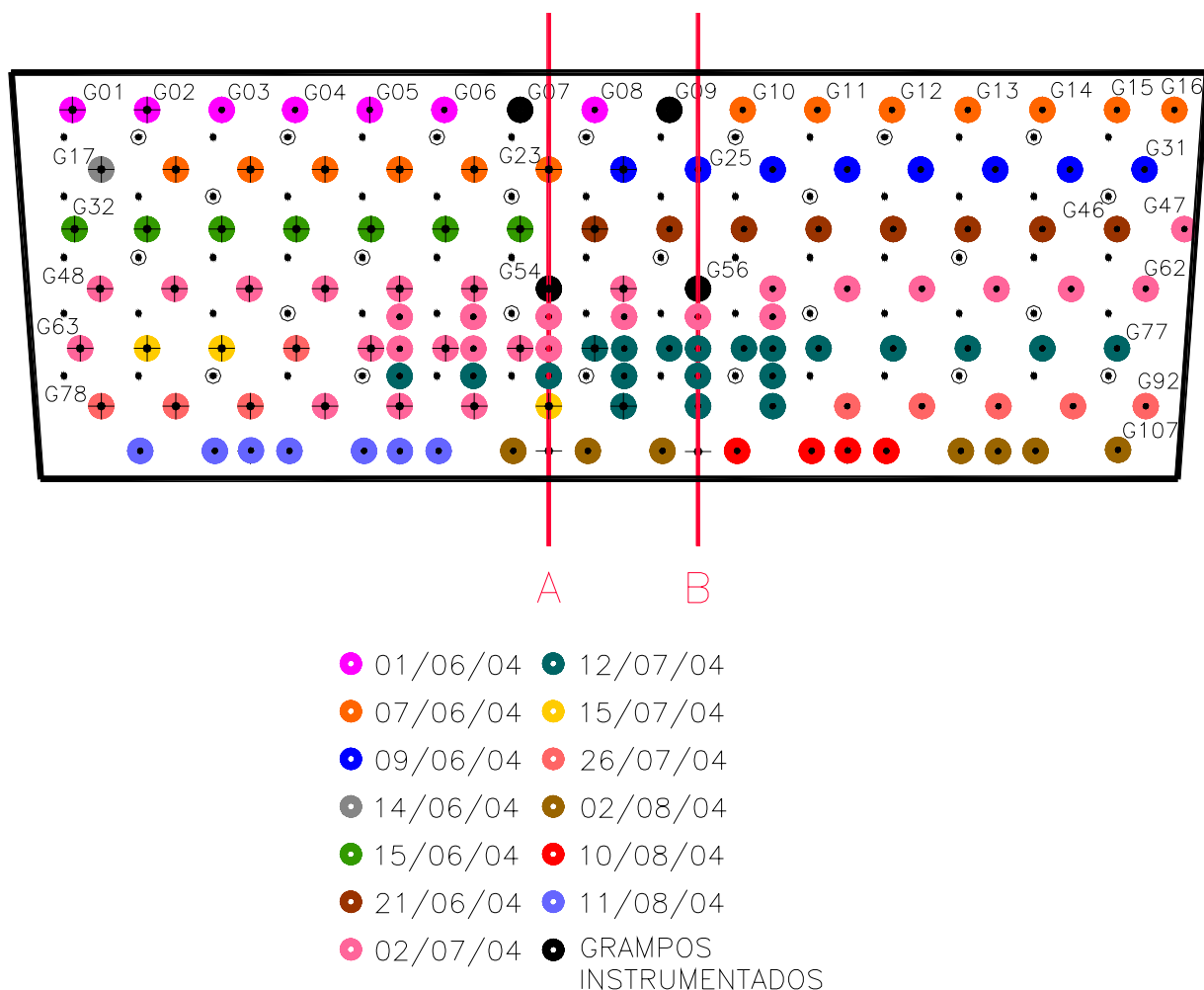


Figura 101. Seqüência da aplicação da “pressão de incorporação” nos grampos da Face G.

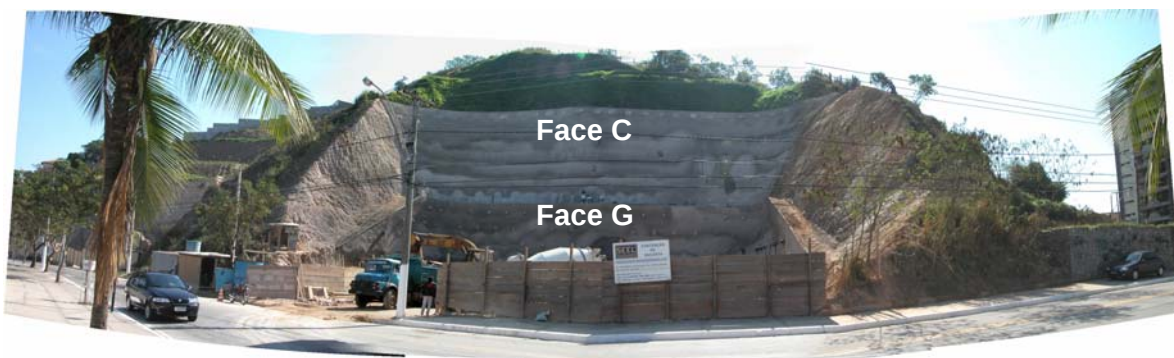
Um resumo com os dados referentes ao processo executivo é apresentado na Tabela 28. Uma vista geral de diferentes etapas da obra está ilustrada na Figura 102.

Tabela 28. Resumo dos detalhes executivos

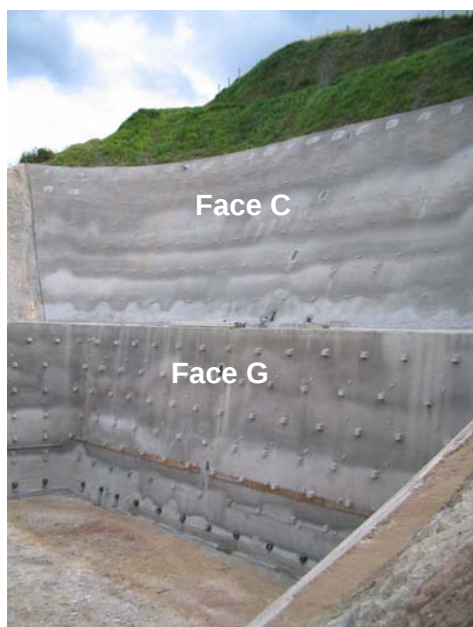
Grampo								
ϕ_{furo} (m)	$\phi_{\text{aço}}$ (m)	$T_{\text{escoamento}}$ (kN)	T_{ruptura} (kN)	Área efetiva* (m ²)	L (m)	$E_{\text{aço}}$ (GPa)	s_v (m)	s_h (m)
0,10	0,022	247,8	268	327×10^{-6}	4 a 24	210	2,0 1,6	2,0
Escavação			Concreto Projetado				Injeção	
$H_{\text{escav.}}$ (m)			h_{parede} (m)		Tela		P_{inj} (kPa)	A/C
0,5 a 2,0 (1,0)			0,15		Q138		50 a 100	0,5
$\phi_{\text{aço}}$ =diâmetro da barra de aço, ϕ_{furo} =diâmetro do furo, $T_{\text{escoamento}}$ = carga de escoamento do aço, T_{ruptura} = carga de ruptura do aço, L=comprimento do grampo, $E_{\text{aço}}$ =módulo de elasticidade do aço, s_v =espaçamento vertical entre grampos, s_h =espaçamento horizontal entre grampos, $H_{\text{escav.}}$ =altura de cada etapa de escavação, h_{parede} =espessura da parede, P_{inj} =pressão de injeção da calda de cimento, A/C=fator água-cimento. *corresponde a área efetiva da barra de aço.								



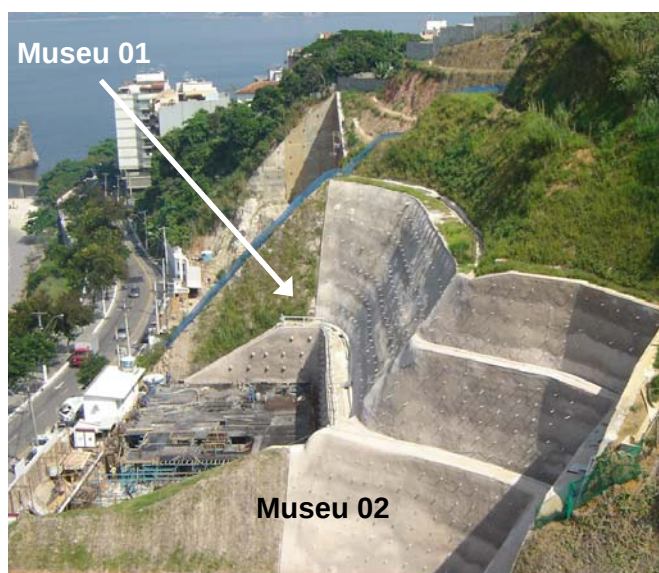
(a) Vista do talude em 25/11/2003



(b) Vista da obra em 07/07/2004



(c) Obra terminada - 05/05/2005



(d) Início da construção do edifício - 03/06/2005

Figura 102. Fases da obra.