



**EXECUÇÃO DE SERVIÇOS DE CONSULTORIA ESPECIALIZADA  
PARA ELABORAÇÃO DOS PROJETOS EXECUTIVOS  
PARA IMPLANTAÇÃO DO PROJETO DE INTEGRAÇÃO  
DO RIO SÃO FRANCISCO COM BACIAS HIDROGRÁFICAS  
DO NORDESTE SETENTRIONAL**

**LOTE B**



**RELATÓRIO DO PROJETO DE RETOMADA  
DAS OBRAS DO TÚNEL CUNCAS I**

1220-RAT-1401-20-04-001  
Revisão 3

**NOVEMBRO/2012**



MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL

**PROJETOS EXECUTIVOS PARA IMPLANTAÇÃO DO PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO  
RIO SÃO FRANCISCO COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL  
LOTE B**

**RELATÓRIO DO PROJETO DE RETOMADA  
DAS OBRAS DO TÚNEL CUNCAS I**

1220-RAT-1401-20-04-001 - Revisão 3

Novembro/2012

Rev.	Data	Descrição	Elaborado	Conferido	Aprovado
0	02/2012	Emissão Inicial	CLAUDIO CASARIN	A. MATSUSHITA	R. FRANÇA
1	05/2012	Atendimento parecer, eliminação item 9	CLAUDIO CASARIN	A. MATSUSHITA	R. FRANÇA
2	10/2012	Complementação dos estudos	CLAUDIO CASARIN	A. MATSUSHITA	R. FRANÇA
3	11/2012	Complementação dos estudos	CLAUDIO CASARIN	A. MATSUSHITA	R. FRANÇA



## ÍNDICE

1. APRESENTAÇÃO.....	04
2. ANTECEDENTES .....	07
3. ESCAVAÇÃO DO CANAL .....	09
3.1 SITUAÇÃO EXISTENTE.....	10
3.2 CONSOLIDAÇÃO DOS ESTUDOS GEOTÉCNICOS .....	13
3.3 ESCAVAÇÃO DO CANAL A EXECUTAR .....	13
4. COMPLEMENTAÇÃO DOS ESTUDOS.....	24
4.1 INTRODUÇÃO .....	25
4.2 PREENCHIMENTO DO TÚNEL.....	30
5. AVALIAÇÃO DE CUSTOS.....	32
6. ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS E SOLUÇÃO ADOTADA .....	38
7. PROJETO EXECUTIVO .....	41
7.1 NOVO CANAL .....	42
7.2 TÚNEL .....	45
7.3 DRENAGEM SUPERFICIAL.....	53
7.4 INSTRUMENTAÇÃO .....	53
7.5 DESAPROPRIAÇÃO E MEIO AMBIENTE.....	53
8. QUANTITATIVOS .....	54
9. DESENHOS EMITIDOS .....	57



## 1. APRESENTAÇÃO



## 1. APRESENTAÇÃO

O presente relatório contém os estudos e projeto para a retomada das obras do túnel Cuncas I, componente do Lote B do PISF.

Este relatório apresenta as análises desenvolvidas nos estudos preliminares realizados, que gerou a proposição de se projetar uma solução de prolongar o canal adutor até se alcançar ponto pouco mais a jusante do local desabado no acidente ocorrido, de modo a eliminar o trecho acidentado. Houve o consenso de que para a execução da obra seria necessário preencher o local acidentado e o túnel existente, para que não houvesse perigo de deslizamentos durante a execução das obras.

O desenvolvimento dos estudos mostrou que essa solução não é viável, considerando os elementos geotécnicos disponíveis, face à necessidade de executar as escavações com taludes bastante abatidos e grande quantidade de bermas, fazendo com que a escavação se afaste cada vez mais do terreno, saindo faixa desapropriada e do próprio levantamento topográfico disponível.

A utilização de taludes mais íngremes gera coeficientes de segurança ao deslizamento abaixo dos valores mínimos exigidos, ou seja, tais taludes são instáveis.

Analysaram-se então outras duas soluções:

- Execução de um novo canal adutor, a partir da última estaca do Lote 6, gerando novo emboque do túnel, que deverá ser escavado em solo, igualmente ao túnel existente;
- Execução de um novo túnel, escavado externamente ao túnel existente e envolvendo-o, desde o emboque atual até que se passe o trecho acidentado, voltando a executar o túnel projetado até encontrar a rocha.

Aventou-se ainda a possibilidade de execução de escavação com taludes mais íngremes, que apresentam assim baixo coeficiente de segurança ao deslizamento, construindo-se uma galeria, posteriormente fazendo-se o reaterro da escavação para eliminar o risco de deslizamento dos taludes. Essa solução foi abandonada, pois não se mostrou viável do ponto de vista financeiro.

Neste relatório as soluções consideradas técnica e economicamente viáveis foram detalhadas. Após a emissão do mesmo, em vista da recente ruptura desde o emboque do túnel até cerca de 50 m adiante, ficou invalidada a solução de manutenção do eixo do canal com execução de novo túnel envolvendo o original.

Em função disso, em reunião mantida no MI, se propôs estudar duas alternativas: manutenção do eixo do túnel com prolongamento do canal até o emboque do túnel, já na rocha – solução originalmente escolhida, ou mudança do eixo do canal e execução de novo emboque do túnel. Foi ressaltado na oportunidade que os dados geotécnicos disponíveis não permitiam uma caracterização das soluções, ficando então decidido que seriam fornecidos a este Consórcio resultados de sondagens cuja localização seriam definidas pela Gerenciadora e esta projetista.

Esta situação gerou a necessidade da presente revisão e para não se perder a continuidade do raciocínio e da avaliação se manteve a itemização e conteúdo da versão original mesmo que alguns pontos não possam ser mais considerados.



Posteriormente à entrega desse relatório foram mantidas algumas reuniões com o MI, quando se requereu o aprofundamento do estudo das soluções, principalmente com relação ao canal escavado até encontrar o emboque do túnel em rocha, eliminando com isso o túnel em solo, o que implicou na presente revisão.



## 2. ANTECEDENTES



## 2. ANTECEDENTES

O Túnel Cuncas I já sofreu três acidentes desde o início de sua escavação. O primeiro acidente, ocorrido em novembro de 2010, envolveu a ruptura de seu revestimento primário, na região da parede direita e próximo ao emboque.

Em maio de 2011, esse túnel sofreu um segundo acidente de proporções maiores, que incluiu a formação de uma capela no teto com extensão de cerca de 40 m, a partir da estaca 5+5,7m até seu final na estaca 7+10,8m. O revestimento remanescente apresentava trincas e rachaduras com grande extensão, além de um levantamento do piso ao longo de seu eixo, desde seu emboque até o início da ruptura.

Os fatos relatados geraram uma reunião de consultores da Gerenciadora, do CCL14 e do Consórcio Projetista, juntamente com as equipes técnicas dessas empresas e do Ministério da Integração Nacional, no dia 10 de junho de 2011.

Proposições discutidas nessa reunião levaram ao consenso de que a melhor alternativa seria a de se preencher o túnel com areia lançada hidráulicamente e depois se proceder à escavação do canal, no mesmo alinhamento que o túnel rompido, até o novo emboque após a estaca 7+10,80m. O preenchimento é necessário para se evitar acidentes durante a escavação do canal.

No final desse novo canal seria feito o novo emboque do Túnel Cuncas I, com características similares ao emboque anterior.

No mês de março houve o terceiro acidente, com o desmoronamento total do trecho que havia cedido parcialmente próximo ao emboque do túnel, gerando assim esta revisão do relatório.





### 3. ESCAVAÇÃO DO CANAL

### 3. ESCAVAÇÃO DO CANAL

#### 3.1 SITUAÇÃO EXISTENTE

A escavação do canal apresenta uma dificuldade, que é a estabilidade de seus taludes. Um primeiro escorregamento ocorreu durante a escavação do canal na lateral direita junto ao emboque do Túnel Cuncas I (Figura 1). Este talude estava executado quase que inteiramente em saprolito e foi realizada uma retroanálise para aferição dos parâmetros adotados para o saprolito.

O talude estudado tinha 10 m de altura e inclinação 1:1,4 (H:V). A análise de estabilidade foi realizada utilizando os parâmetros inicialmente adotados (coesão 50 kPa e ângulo de atrito 32°), com reduções sucessivas dos parâmetros de resistência até ser obtido um fator de segurança próximo a 1. A Figura 2 apresenta o resultado da retroanálise realizada.



Figura 1 - Talude lateral instável próximo ao emboque do Túnel Cuncas I

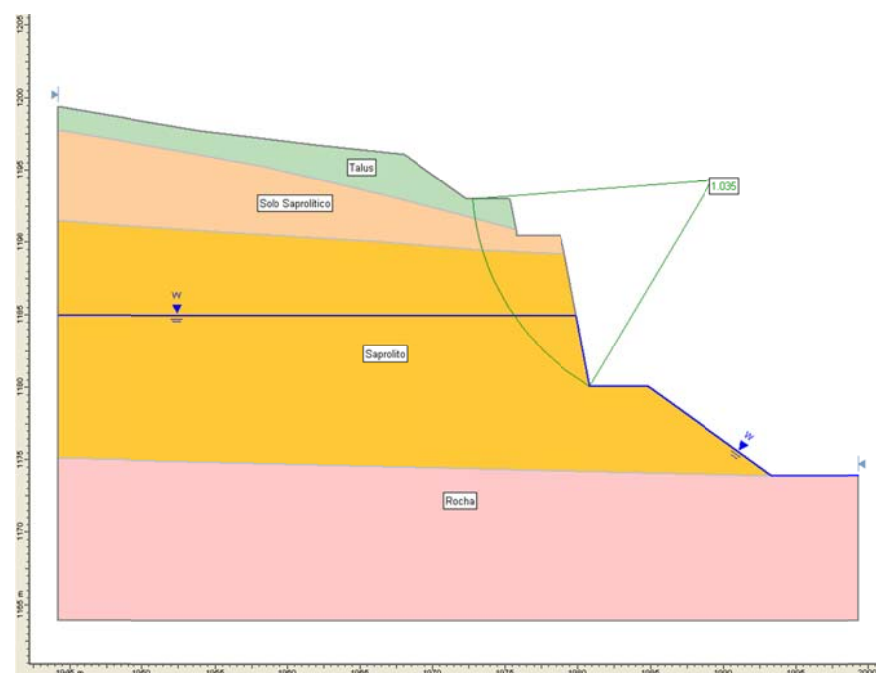


Figura 2 - Retroanálise do talude do canal instável no emboque do Cuncas I

Para um fator de segurança de 1,03 com a superfície de ruptura semelhante à observada em campo, os parâmetros de resistência do saprolito retro analisados foram: coesão = 40 KPa e ângulo de atrito =  $27^\circ$ .

Os taludes nas proximidades do emboque do túnel Cuncas I foram abrandados devido a esse escorregamento, porém não há registro da inclinação atual deles. Convém lembrar que em 27/10/10 ocorreu a inundação do túnel mostrada na Figura 3, e poucos dias após procedeu-se ao rápido esgotamento do túnel.

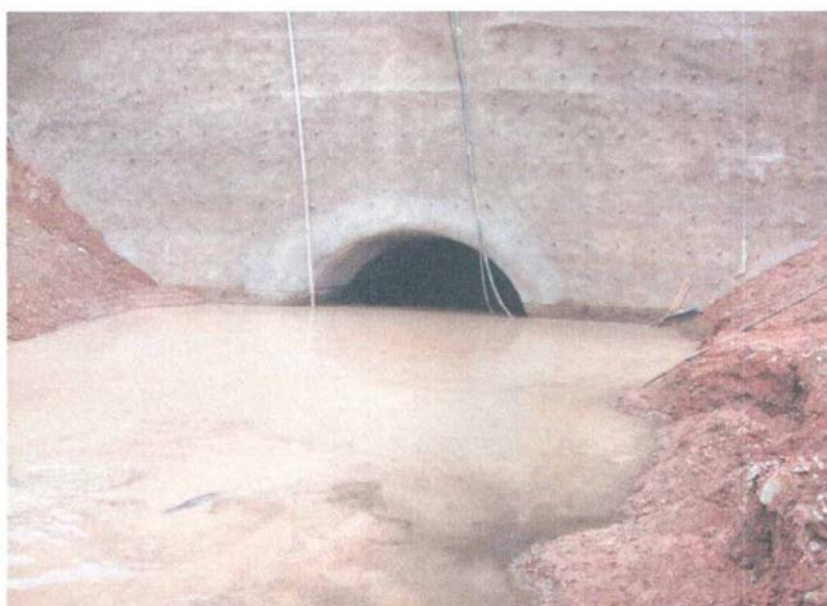


Figura 3 - Vista da inundação do túnel ocorrida em 27/10/10

Após o esgotamento do túnel ocorreu uma ruptura parcial do revestimento do túnel em seu lado direito e as obras foram paralisadas até que foram adotadas ações para a remediação desse acidente, por meio do reforço do revestimento.

Foi então aplicada uma camada de concreto projetado de proteção sobre os taludes nas proximidades do emboque, como se vê na Figura 4.



Figura 4 - Taludes do canal revestido com concreto projetado

Posteriormente foi observado o deslizamento lento desse revestimento, no lado direito, até a posição mostrada na Figura 5.



Figura 5 - Pé do talude direito junto ao emboque, após deslizamento lento do revestimento.





### 3.2 CONSOLIDAÇÃO DOS ESTUDOS GEOTÉCNICOS

Os parâmetros de resistência dos vários materiais existentes no local foram definidos em relatório anterior e estão reproduzidos na Tabela 1.

Esses parâmetros foram os empregados no presente trabalho.

Não foram realizados novos ensaios ou sondagens, até a emissão deste relatório, que pudessem justificar a adoção de outros parâmetros. Por essa razão não foi realizada a consolidação de novos estudos geotécnicos.

Os únicos ensaios triaxiais realizados em 2011 foram feitos sobre amostras compactadas com Grau de Compactação desconhecido e que resultaram em uma envoltória de resistência descrita por:  $c' = 50$  kPa e  $\phi' = 22^\circ$ .

Os resultados dos ensaios estão mostrados na Figura 6, onde  $q = (\sigma'_1 - \sigma'_3)/2$  e  $p' = (\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$ .

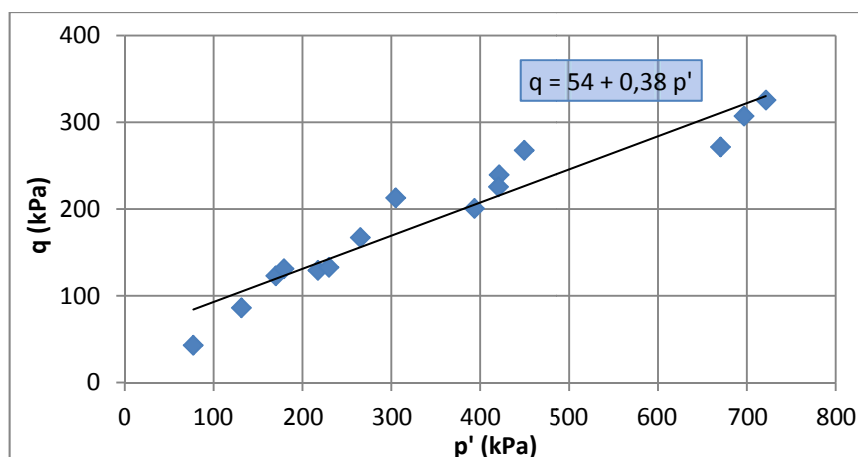


Figura 6 - Resultados dos ensaios triaxiais sobre amostras compactadas

Estes resultados não puderam ser utilizados por não serem representativos dos materiais indeformados “in situ”

### 3.3 ESCAVAÇÃO DO CANAL A EXECUTAR

Os parâmetros de resistência dos vários materiais existentes no local foram definidos em relatório anterior e estão reproduzidos na Tabela 1.

Camada	c (kPa)	$\phi$ (°)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$K_0$	E (kPa)
Colúvio	10	24	17	2,37	20.000
Tálus	21	32	18	3,25	50.000
Solo saprolítico	24	27	19	2,66	100.000
Saprolito	40	27	19	3,25	250.000
Arenito	120	45	21	1,30	1.100.000
Enrocamento	5	35	20	0,6	10.000

Tabela 1 - Parâmetros geotécnicos para o emboque do Cuncas I.

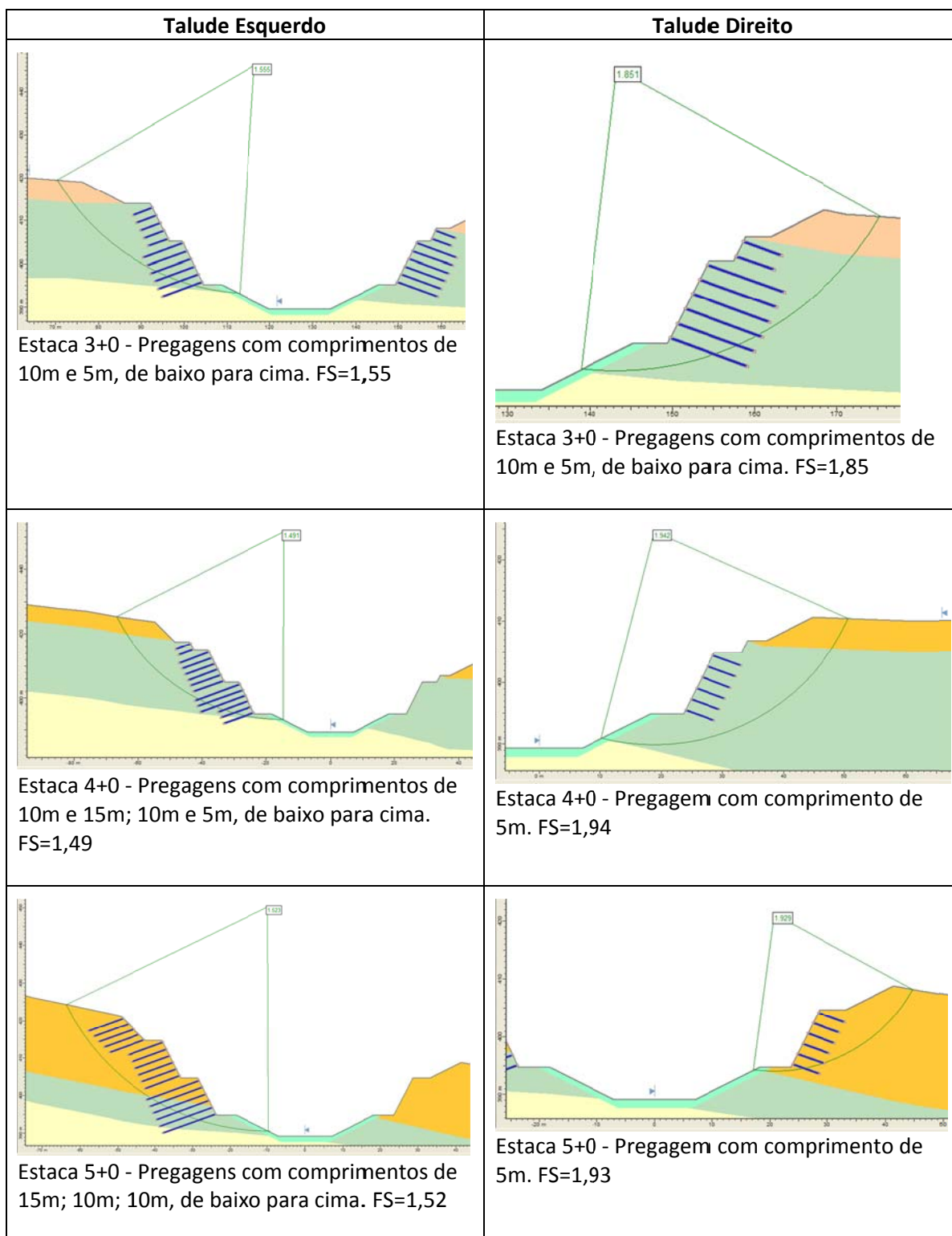


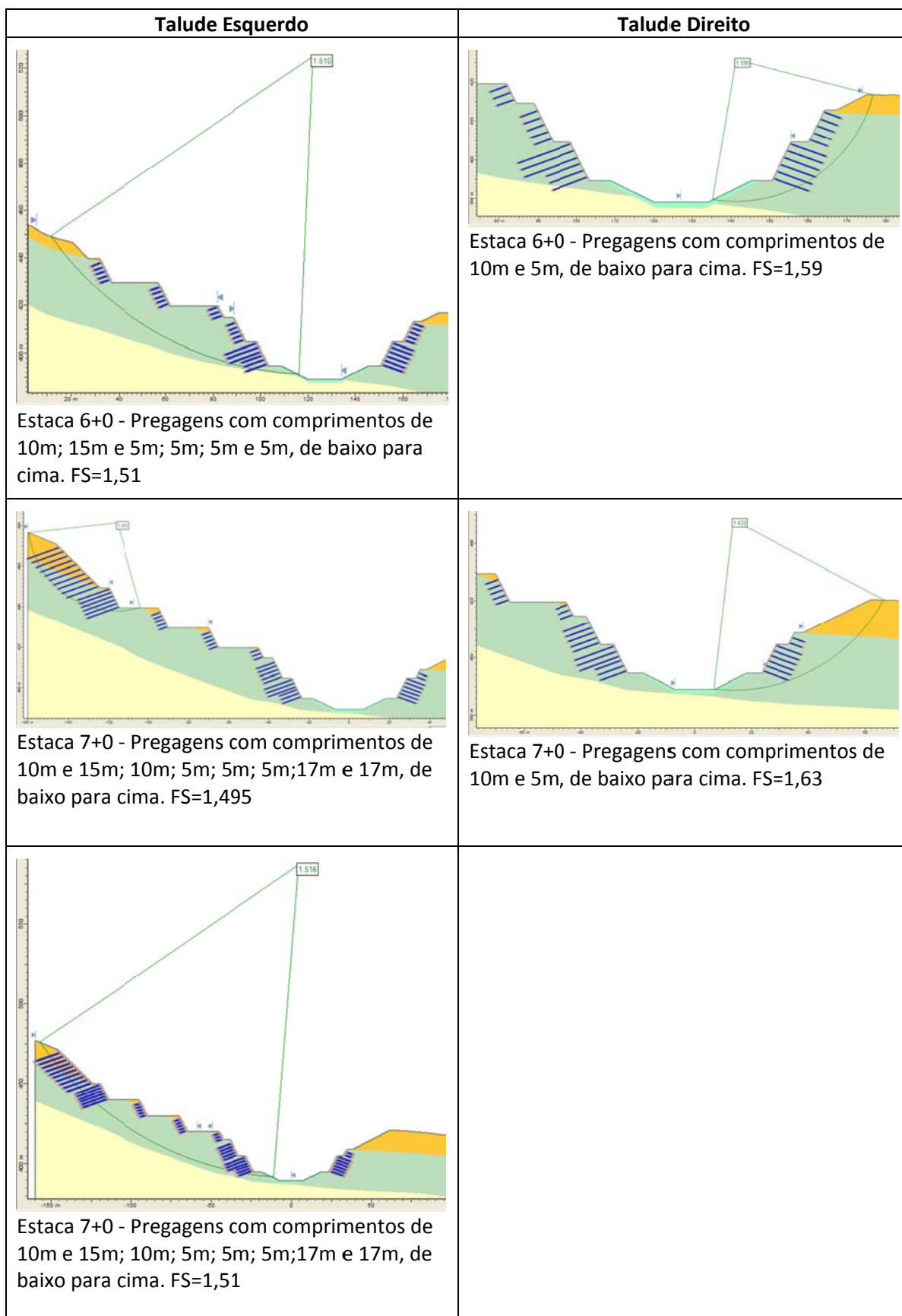
Foram levantadas seções pelas estacas 3 a 7 e pela 7+10 para implantação dos cortes e análise de estabilidade, incorporando-se a geometria e o reforço por meio de grampeamento dos taludes.

As Figuras a seguir mostram as seções analisadas e seus resultados, para taludes definitivos. Foi estabelecido o critério convencional de Fator de Segurança mínimo igual a 1,50.

O padrão para os taludes foi inclinado de 1V:0,5H e bermas com 4 m de largura a cada 10 m de altura, com pregagens em malha de 2 x 2 m, formadas por 2 barras de  $\phi$  16 mm em furo preenchido com calda de cimento com  $\phi$  100 mm e inclinados 20° com a horizontal, para baixo. O comprimento foi definido por tentativas até se obter  $FS > 1,50$ .

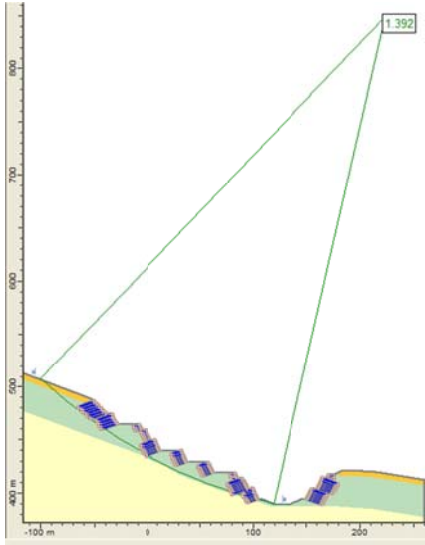
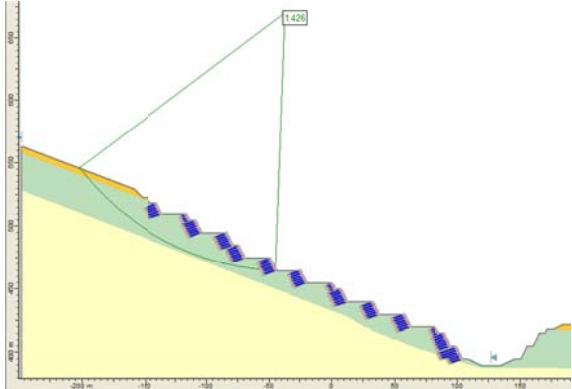
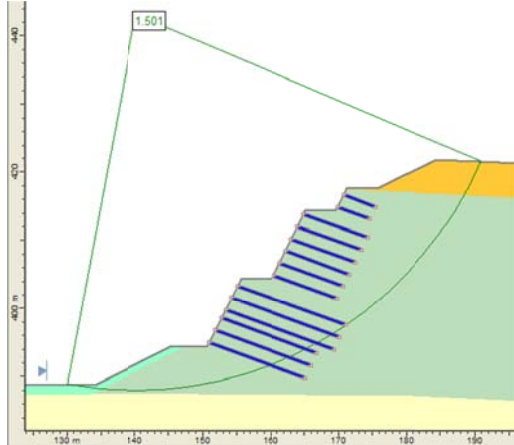
Os elementos geotécnicos disponíveis não permitem, com segurança, a utilização de taludes mais íngremes, o que motivou a solicitação de sondagens complementares.









Talude Esquerdo	Talude Direito
 <p data-bbox="284 900 858 1037">Estaca 7+10 - Pregagens com comprimentos de 10m e 15m; 10m; 10m; 10m; 5m; 5m (espaçamento 2m); 15m e 15m (espaçamento 3m), de baixo para cima. FS=1,39</p>	
 <p data-bbox="284 1449 858 1585">Estaca 7+10 - Pregagens com comprimentos de 10m; 15m e 5m; 10m; 10m; 10m e 5m; 10m; 10m; 10m; 10m e 5m; 10m, de baixo para cima. FS=1,42</p>	 <p data-bbox="880 1505 1455 1619">Estaca 7+10 - Pregagens com comprimentos de 15m e 17m; 10m e 5m, de baixo para cima. FS=1,50</p>

As escavações se mostraram razoáveis até a estaca 5+0. A partir daí foi necessário introduzir bermas com 20 m de largura no talude esquerdo, aumentando em demasia a extensão e a altura total do corte.

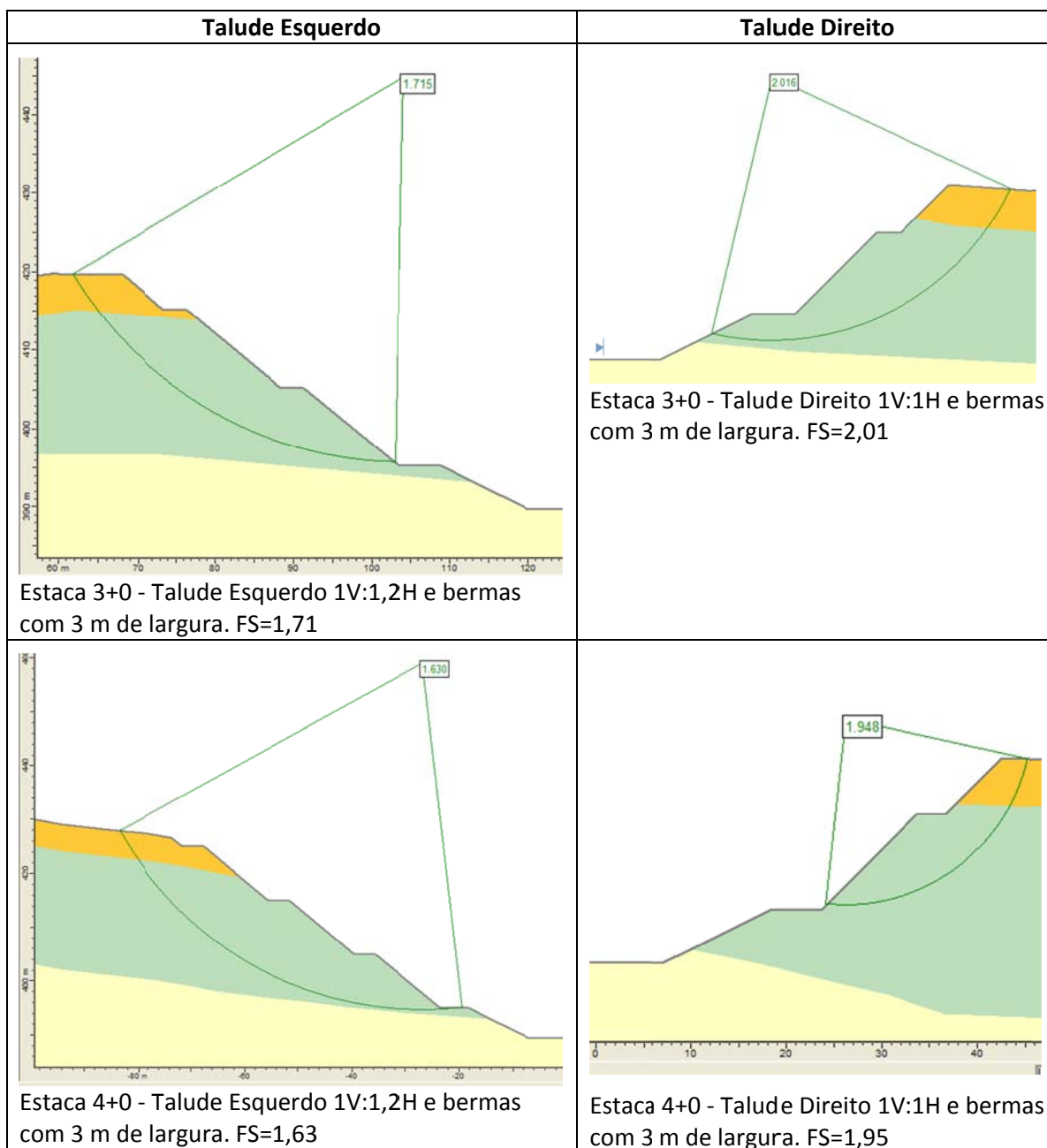
Foi então considerado que toda a escavação, mais a pregagem necessária, as proteções dos taludes com concreto e o sistema de águas pluviais teriam um custo exagerado.

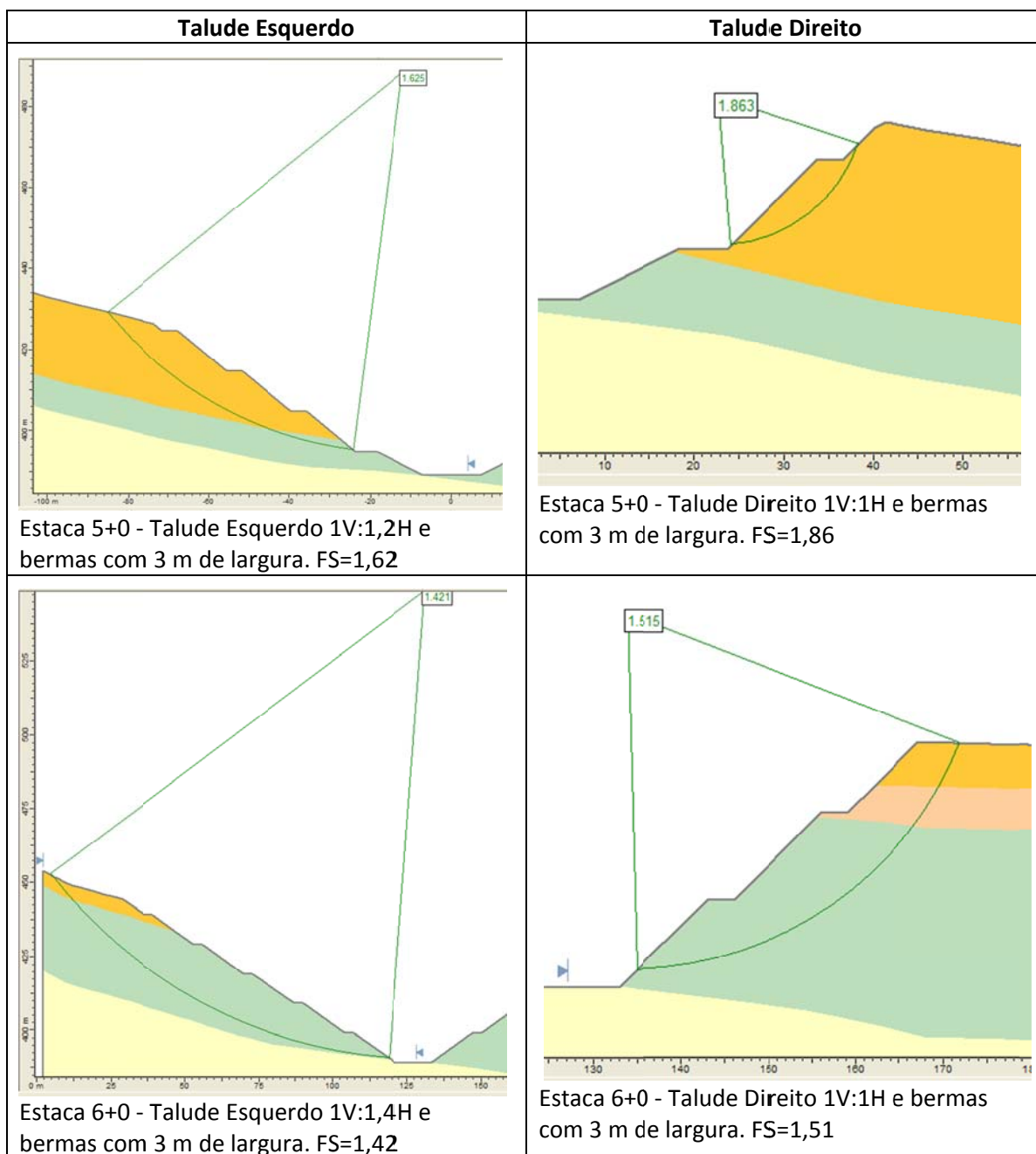
Partiu-se para a solução híbrida de se fazer escavação somente para a construção de uma galeria, que seria aterrada posteriormente. Dessa maneira, os taludes das escavações temporárias poderiam ter FS mínimo menor que para taludes definitivos. Convencionalmente se adota  $FS > 1,30$  para escavações temporárias.

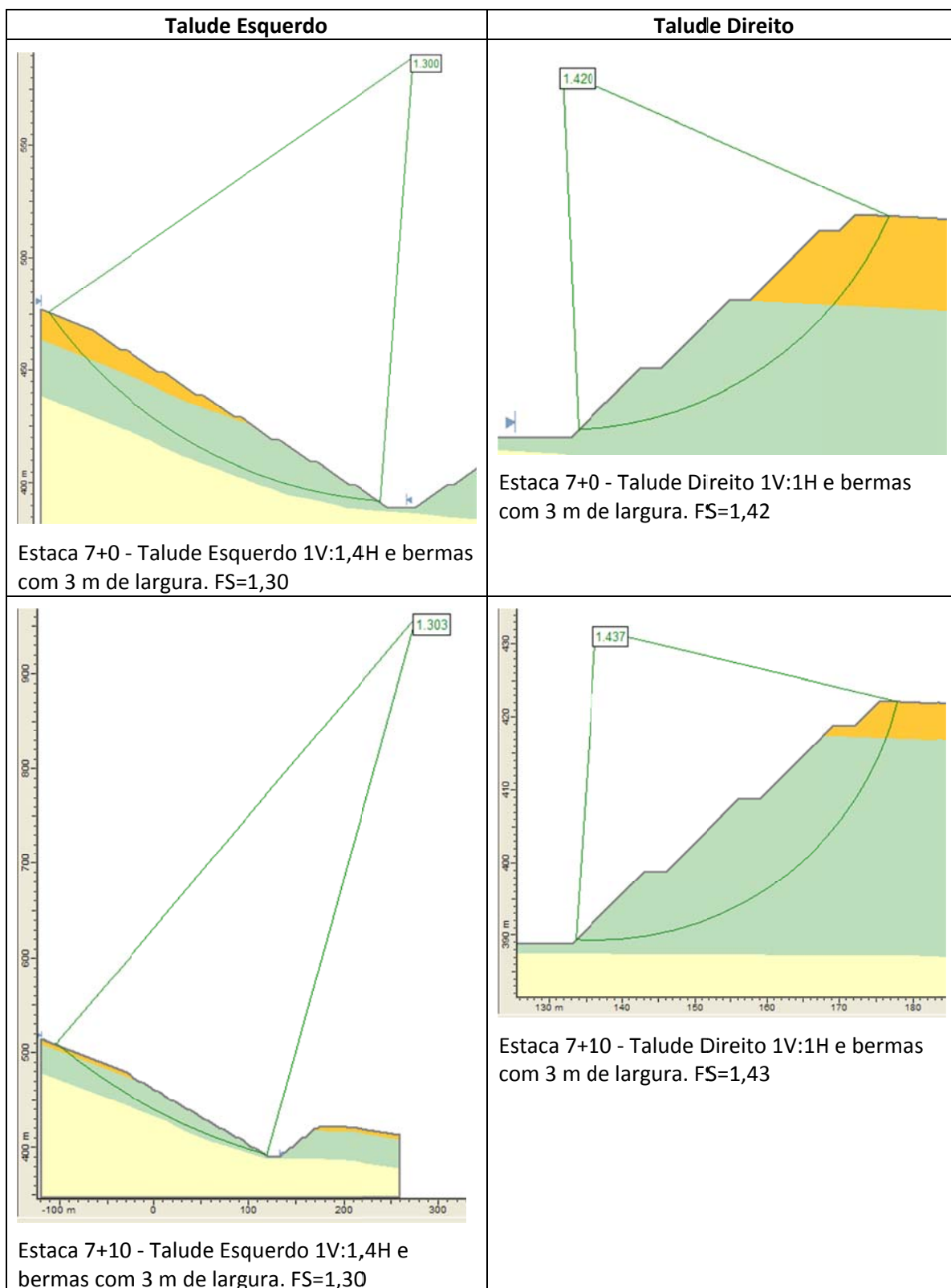


Partiu-se então para a definição de taludes sem revestimento ou pregagem de estabilização, tendo resultado taludes inclinados 1V:1,2H e 1V:1,4H, com bermas com 3 m de largura a cada 10 m de altura.

As figuras a seguir mostram os resultados obtidos.







O prolongamento do canal se revelou inviável, porque sua escavação resulta em talude, do lado esquerdo, paralelo ao talude natural e bem abaixo dele. Assim, sua escavação demandaria bem mais do que 100 m de altura de corte para se ter Fator de Segurança  $> 1,30$ , que é o FS convencional para escavação temporária a céu aberto. Temporária porque foi tentado um talude com inclinação máxima para se tentar viabilizar o corte. Com isso seria necessária a construção de galeria e reaterro parcial para garantir a segurança do aqueduto.

A Figura 7 mostra a análise de estabilidade efetuada para o talude natural existente e que resultou em  $FS = 1,15$ .

A superfície de escorregamento resultou muito profunda, da ordem de 50 m. Os taludes de corte teriam que ser mais íngremes que o natural para que fosse viável. Com isso, o FS resultaria menor ainda do que 1,15 e não seria aceitável.

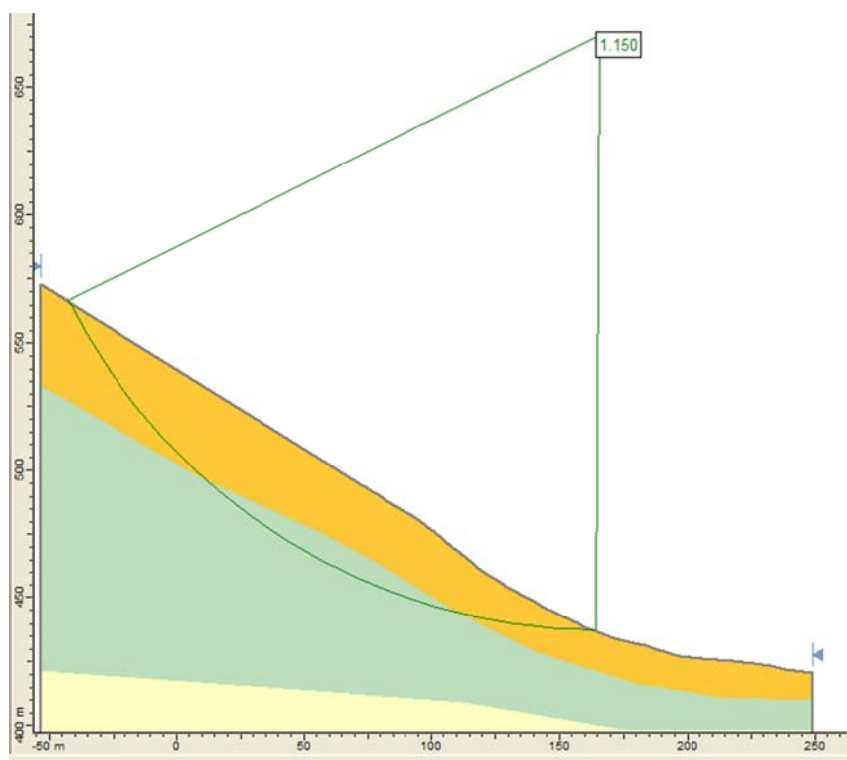


Figura 7 - Estabilidade do talude natural existente

Procurou-se então buscar até onde a escavação seria viável e com taludes adequados ao  $FS > 1,30$ . Foi definido por tentativas o talude com inclinação 1V:1,4H e com bermas a cada 10 m de altura, cuja análise está mostrada na Figura 8, para a Estaca 7+0.

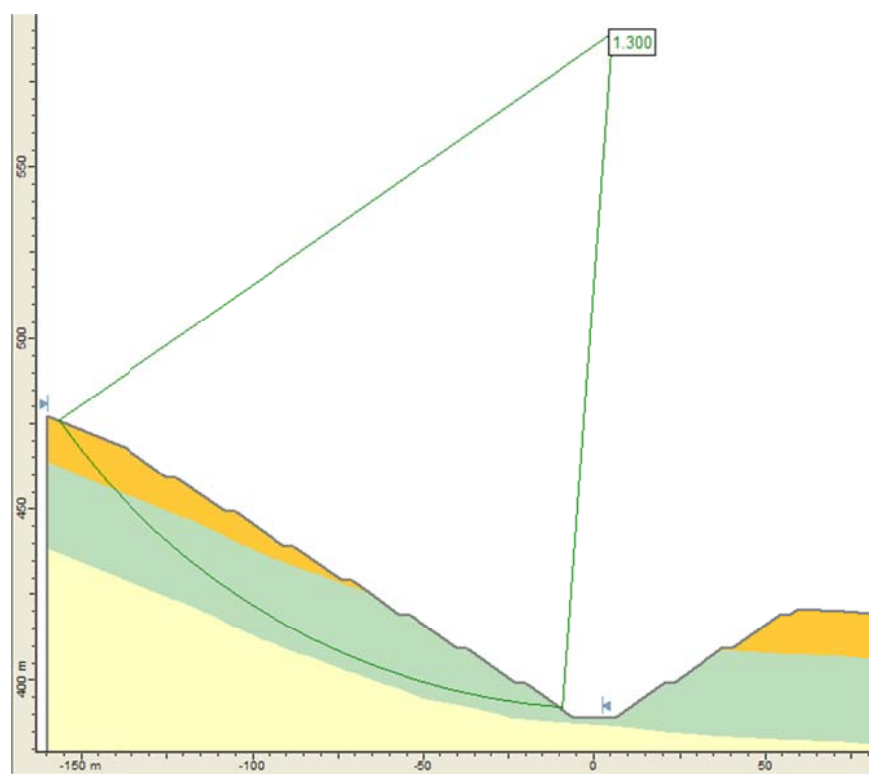


Figura 8 - Escavação pela Estaca 7+0 do túnel

A tentativa de melhorar a estabilidade deste corte por meio de grampos resulta inviável, por demandar grampos com comprimento maior que 30 m, além de serem pouco eficazes.

A seção apresentada está a cerca de 30° da direção de maior declividade do talude natural. Ao se fechar a escavação na sua extremidade, o corte irá atingir altura muito maior, da ordem de 140 m, como mostrado na Figura 9 e na Figura 10, no corte pela reta de maior declividade A.

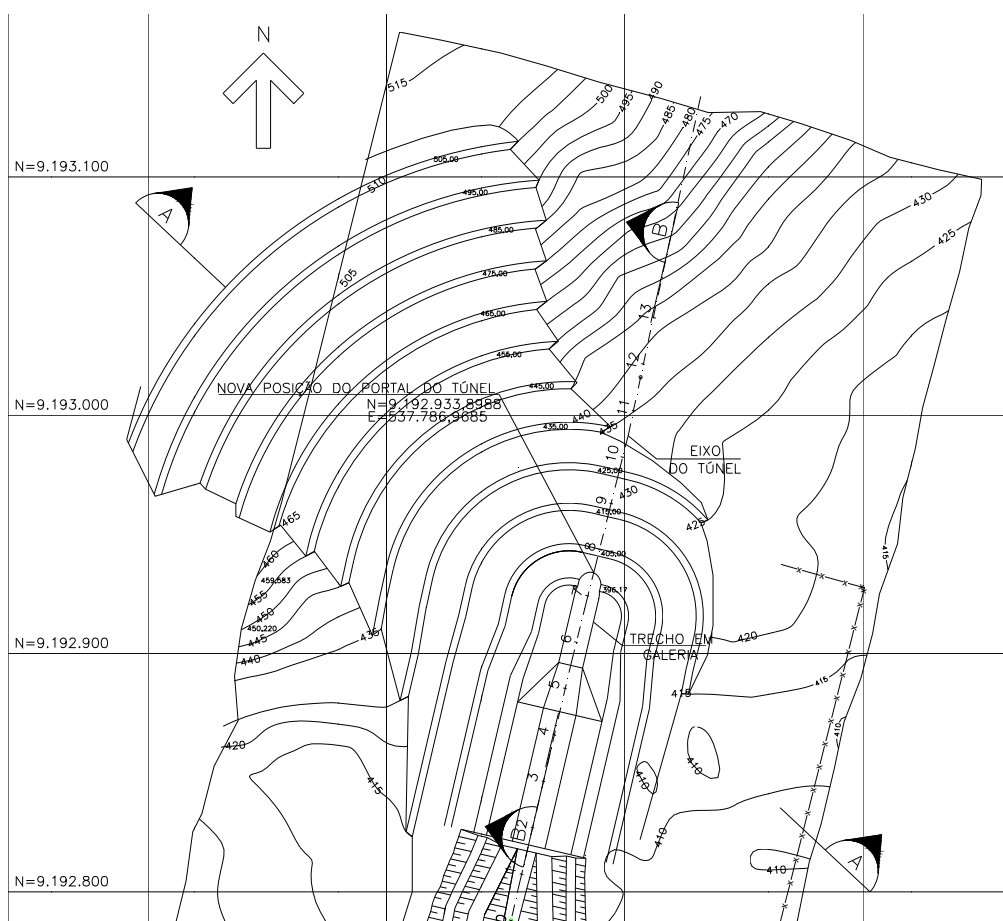


Figura 9 - Implantação da escavação com taludes estáveis, 1V:1,4H

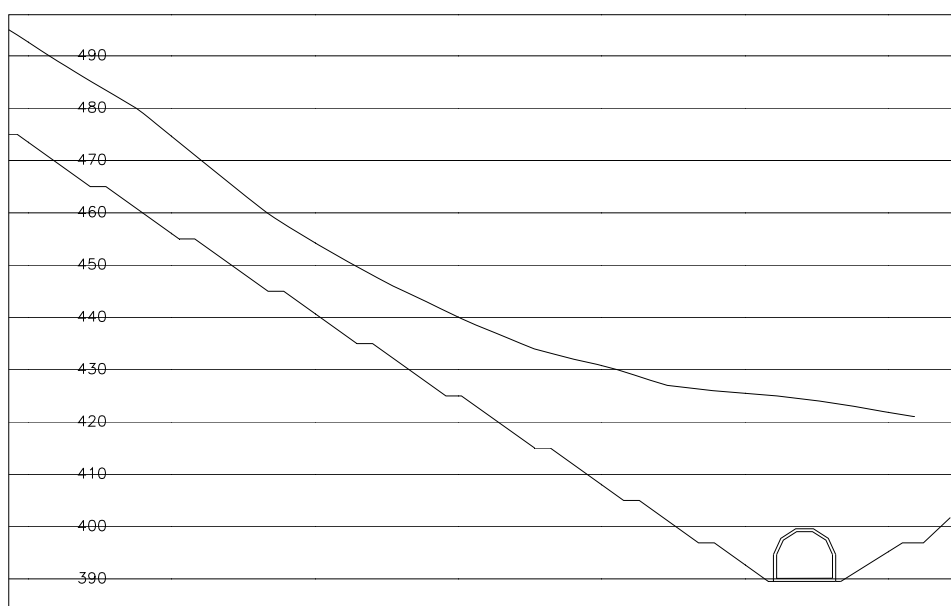


Figura 10 - Seção pela reta A, com taludes estáveis de 1V:1,4H

Conclui-se, portanto, pela inviabilidade desta alternativa.



#### **4. COMPLEMENTAÇÃO DOS ESTUDOS**





## 4. COMPLEMENTAÇÃO DOS ESTUDOS

### 4.1 INTRODUÇÃO

Em reunião convocada pelo MI foi informado ao Consorcio HIDROCONSULT/MWH que a Gerenciadora não concordava com as alternativas projetadas, pois considerava como viável e mais indicada a solução de prolongamento do canal até alcançar o emboque do túnel na rocha.

Ficou assim estabelecido que fossem analisadas três soluções:

Alternativa 1 - ESCAVAR CANAL ATÉ EMBOCAR NA ROCHA;

Alternativa 2 - PREENCHER O TÚNEL ROMPIDO E REFAZÊ-LO;

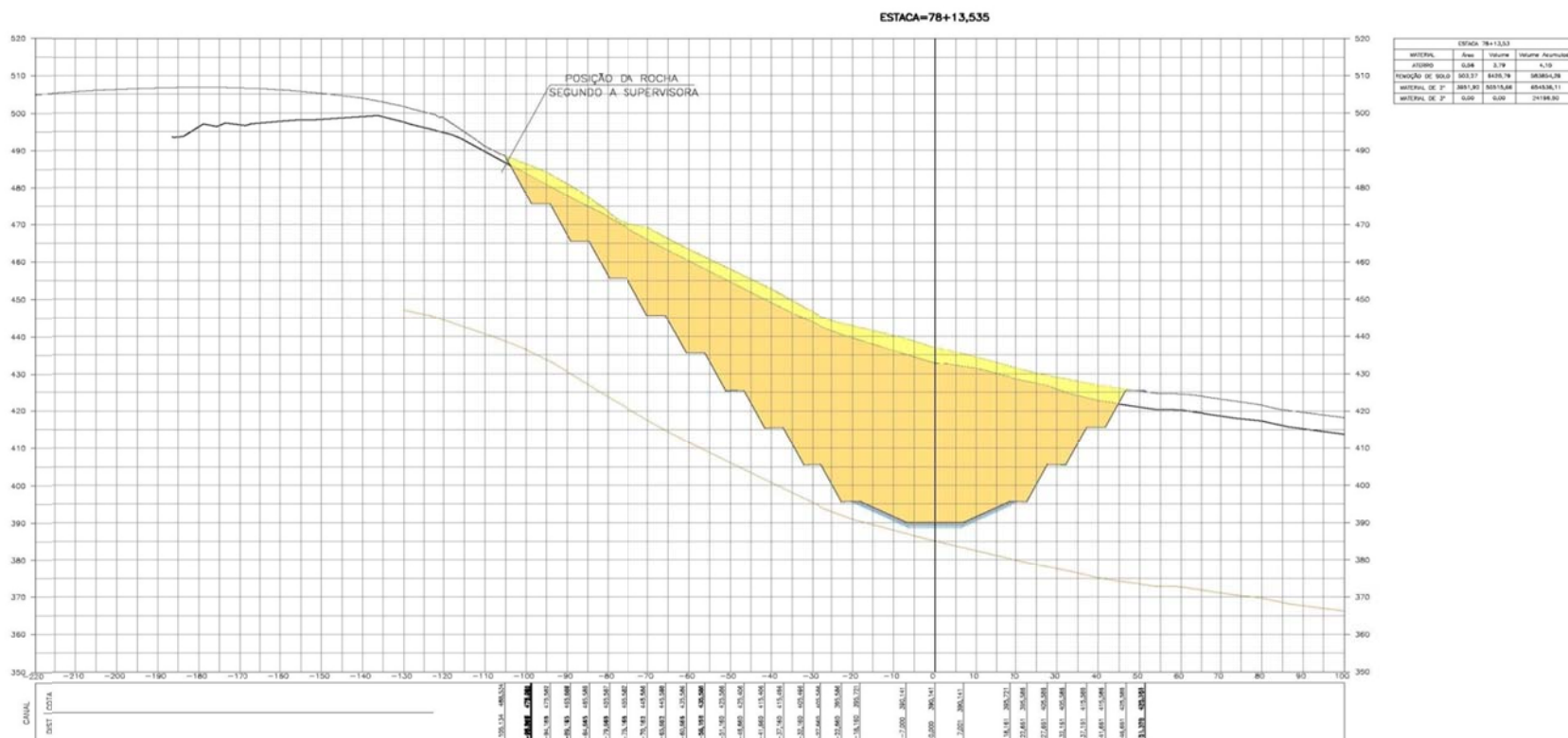
Alternativa 3 - DESVIAR O CANAL E EXECUTAR NOVO TÚNEL.

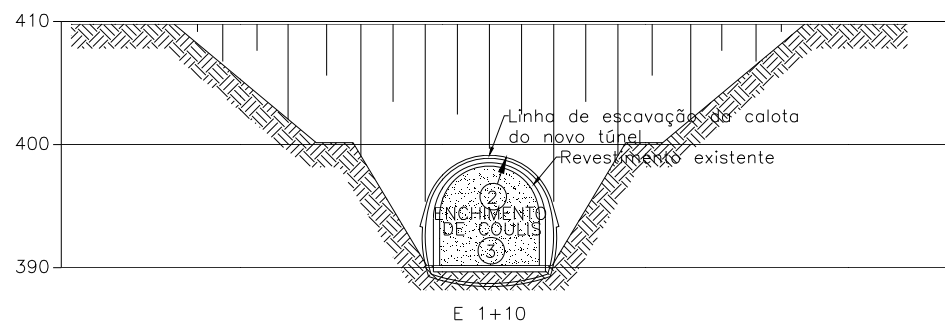
Alternativa 1 - Em função desse posicionamento foi solicitado ao Consorcio que estudasse essa solução; nessa oportunidade este solicitou a complementação das sondagens para determinação das condições de escavação do canal. Essas sondagens ficaram a cargo do CCL14.

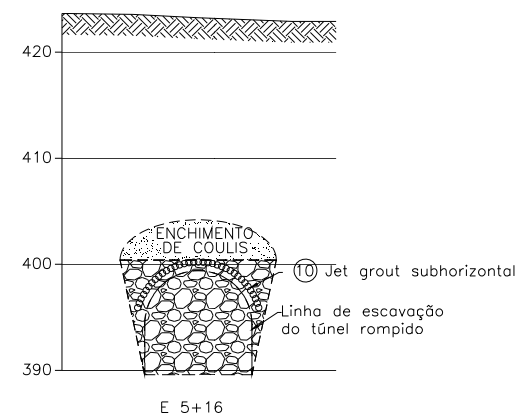
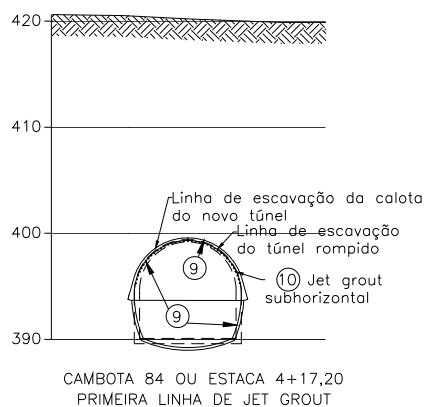
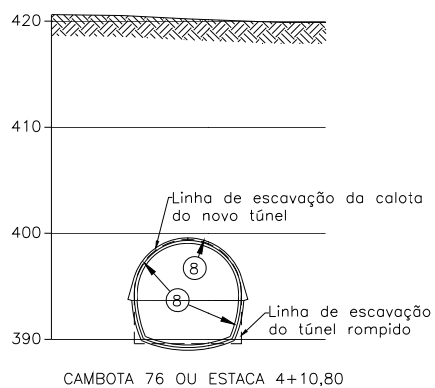
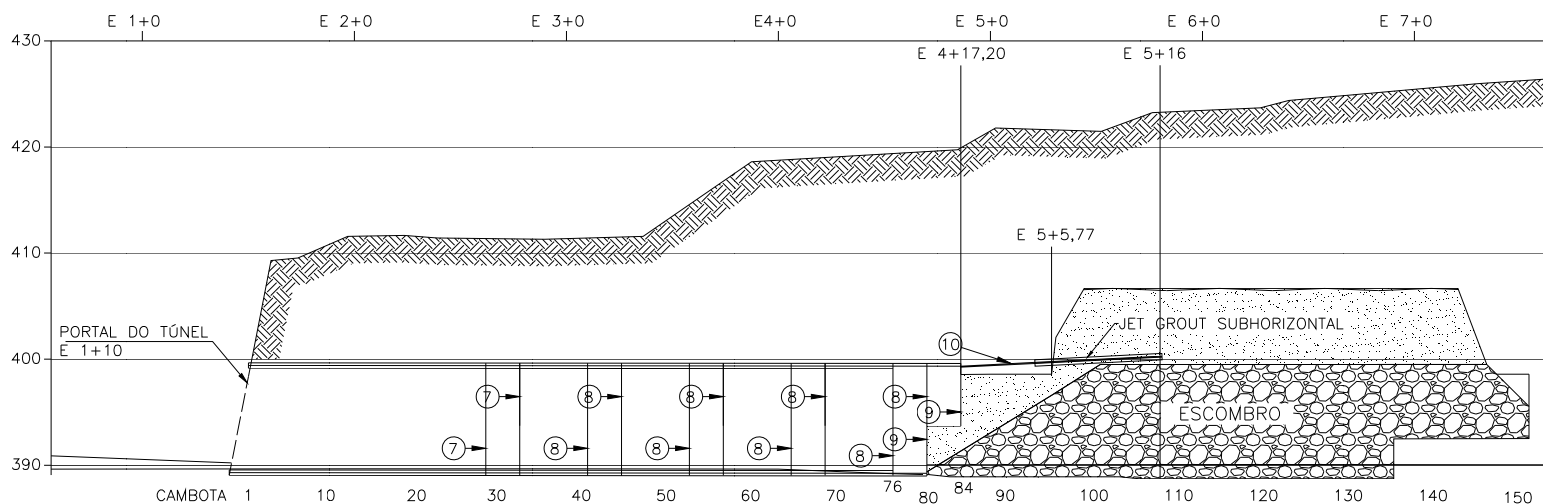
A Gerenciadora elaborou relatório de investigação geológica que gerou sugestão dos pontos a serem sondados.

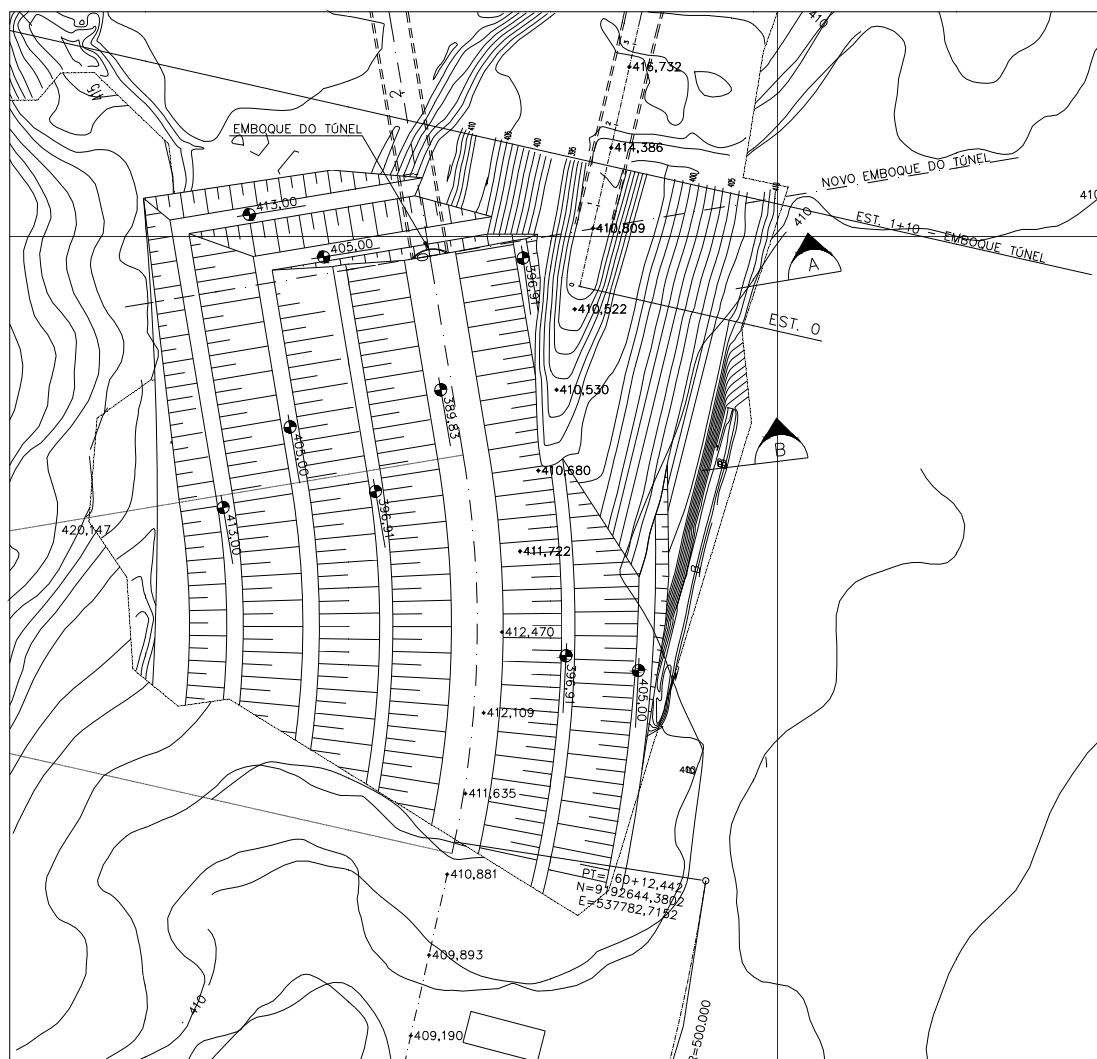
Para que haja condição topográfica de acomodação do perfil da escavação ao terreno natural, como mostrado na Figura 11, será necessário executar taludes extremamente íngremes, de difícil e cara estabilização.

Alternativas 2 e 3 – A seguir são apresentadas as análises das alternativas 2 e 3, já descritas no relatório 1220-RAT-1001-20-04-008-R00.











## 4.2 PREENCHIMENTO DO TÚNEL

São antevistos dois casos:

Alternativa 2 – escavação de túnel no mesmo alinhamento anterior – é preciso injetar todo o túnel rompido com material coesivo, por exemplo, o coulis (argamassa de baixa resistência).

Alternativas 1 e 3 – canal ou túnel em novo alinhamento – o túnel rompido pode ser enchido com areia, porque somente é preciso evitar futuros colapsos.

Neste segundo caso a sequência de operações será a seguinte:

- ❖ Escolha da areia que será usada no enchimento e determinação de sua granulometria, por meio de pelo menos 3 ensaios, por peneiramento e sedimentação.
- ❖ Determinação e definição de filtros para a areia escolhida, usando os critérios convencionais:  $D_{15} \text{ filtro} > 5 \times D_{15} \text{ material}$  e  $D_{15} \text{ filtro} < 5 \times D_{85} \text{ material}$ . Provavelmente resultará em areia grossa e brita 1 sobre o talude de montante do enrocamento.
- ❖ Perfuração e instalação de tubo com diâmetro de 0,20 m nas posições indicadas nos desenhos de projeto, para injeção da areia no túnel.
- ❖ Construção da barreira de enrocamento com filtros a montante, que permita a passagem da água, mas retenha a areia que será lançada com água pelos tubos de injeção.
- ❖ Construção de barreira pouco permeável, com material argiloso, a jusante do enrocamento, para formação de lagoa para reuso da água injetada com a areia.
- ❖ Injeção experimental de areia misturada com água em proporção a ser definida na obra. O furo situado próximo ao emboque existente será usado nesta etapa, por permitir a visualização do aterro resultante dentro do túnel. O desejado é que a polpa de areia e água flua formando um aterro com superfície inclinada de cerca de 6% com a horizontal.
- ❖ Início da injeção da polpa de areia e água pelo furo de injeção situado no término do túnel atual rompido. Continuar com a injeção até que haja refluxo da polpa pela boca do furo.
- ❖ Continuar a injeção pelos demais furos, na sequência, até o furo próximo ao emboque do túnel e até se preencher o túnel.

O funil para injeção será construído sobre uma rampa bem compactada e cimentada, com inclinação de 10% e com somente as paredes laterais e duas paredes baixas transversais, que tem a função de possibilitar algum controle sobre a polpa de areia e água. Os desenhos de projeto apresentam esse funil e seus detalhes, cujas principais características também estão mostradas na Figura 15.

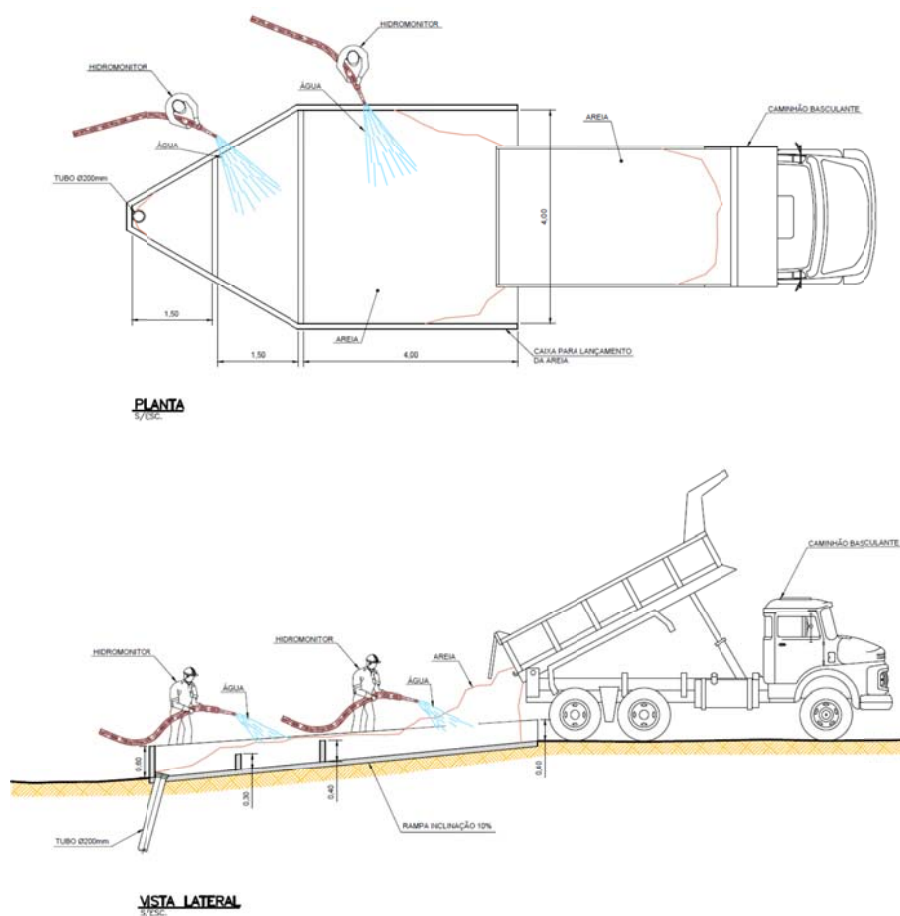


Figura 15 - Funil para injeção da polpa de areia e água - planta e corte

A água para formação da polpa será aspergida sobre a areia trazida por caminhões e despejadas na primeira caixa do funil. Provavelmente serão precisos dois hidro monitores para formação da polpa com cerca de 10% de areia em peso. Um deles lançará água na primeira caixa e o segundo nas caixas seguintes, para facilitar o escoamento da polpa.



## 5. AVALIAÇÃO DE CUSTOS





## 5. AVALIAÇÃO DE CUSTOS

Os quadros apresentados a seguir mostram os custos estimados para as soluções do prolongamento do canal até o emboque do túnel (Alternativa 1), de recuperação do túnel rompido (Alternativa 2) e de um desvio do canal e novo emboque (Alternativa 3).

Para a composição de custos foram usados os preços unitários existentes no contrato vigente da empreiteira das obras do túnel, reajustados à data base de dezembro/2011, onde existentes, complementados por preços fornecidos pelo MI. Estes foram adequados à situação especial do local e da condição das obras, sendo comparados aos preços de mercado. Para os itens que não dispunham de preços unitários foram adotados preços de mercado.

As estimativas apresentadas levam em conta preços referenciais de serviços principais e não comuns.



**ALTERNATIVA 1 - DESVIO DO CANAL E NOVO TÚNEL**

Escavação do novo canal até o novo emboque	Unidade	Quant.	Preço (R\$)	
			Unitário	Total
Escavação de material de 1ª categoria, carga e transporte até a 1,00 km	m <sup>3</sup>	169.300	6,13	1.037.809,00
Escavação de material de 2ª categoria, carga e transporte até a 1,00 km	m <sup>3</sup>	354.000	9,07	3.210.780,00
Escavação de material de 3ª categoria, carga e transporte até a 1,00 km	m <sup>3</sup>	54.500	35,49	1.934.205,00
Momento de Transporte para bota-fora de 1ª e 2ª	m <sup>3</sup> xkm	340.500	1,44	490.320,00
Espalhamento de material de 1ª e 2ª categorias	m <sup>3</sup>	681.000	1,25	851.250,00
Espalhamento de material de 3ª categoria	m <sup>3</sup>	81.750	2,65	216.637,50
Concreto projetado com 0,10m de espessura para proteção dos taludes	m <sup>3</sup>	501,7	936,24	469.711,61
Fornecimento e instalação de grampos 12 m	m	310	121,32	37.609,20
Fornecimento e instalação de tirantes 2x2 6m	m	11.520	181,62	2.092.262,40
Execução de DHP	m	5.760	297,01	1.710.777,60
Fornecimento e colocação de tela Q196	m <sup>2</sup>	4.507	20,65	93.069,55
<b>TOTAL</b>				<b>12.144.431,86</b>

**CUSTO TOTAL = R\$ 12.144.431,86**



## ALTERNATIVA 2 - RECUPERAÇÃO DO TÚNEL ROMPIDO

Enchimento com coulis	Unidade	Quant.	Preço (R\$)	
			Unitário	Total
Volume de coulis de enchimento	m <sup>3</sup>	7.505	200,00	1.501.000,00
Dique de retenção do coulis - aterro compactado	m <sup>3</sup>	1.499	8,62	12.921,38
Perfuração e instalação de tubos PVC Ø 0,20 m	m	151,6	50,00	7.580,00
Operação de injeção	un	1	100.000,00	100.000,00
<b>TOTAL</b>				<b>1.621.501,38</b>
Recuperação do túnel rompido	Unidade	Quant.	Preço (R\$)	
			Unitário	Total
Escavação subterrânea em coulis ou saprolito	m <sup>3</sup>	11.268	68,00	766.224,00
Revestimento primário - Concreto projetado fck 25 MPa	m <sup>3</sup>	1.081	792,30	856.476,30
Cambotas - Armadura em barras de aço CA50A (fornecimento, corte, dobra e montagem)	kg	19.674	6,30	123.946,20
Concreto fck 25 MPa do revestimento secundário	m <sup>3</sup>	970	381,56	370.113,20
Tela Q196	kg	33.540	10,30	345.462,00
Perfuração de jet grouting horizontal Ø 0,10m sem injeção	m	1.666	100,00	166.600,00
Injeção de jet grouting horizontal Ø 0,60m	m	2.856	250,00	714.000,00
<b>TOTAL</b>				<b>3.342.821,70</b>

Nota: ■ preços estimados

**CUSTO TOTAL = R\$ 4.964.323,08**



### ALTERNATIVA 3 - NOVO EIXO E EMBOQUE DO TÚNEL

Escavação do novo canal até o novo emboque	Unidade	Quant.	Preço (R\$)	
			Unitário	Total
Escavação de material de 1ª categoria, carga e transporte até a 1,00 km	m³	12.100	6,13	74.173,00
Escavação de material de 2ª categoria, carga e transporte até a 1,00 km	m³	97.100	9,07	880.697,00
Escavação de material de 3ª categoria, carga e transporte até a 1,00 km	m³	12.100	35,49	429.429,00
Espalhamento de material de 1ª e 2ª categorias	m³	142.000	1,25	177.500,00
Espalhamento de material de 3ª categoria	m³	18.200	2,65	48.230,00
Momento de Transporte para bota-fora de 1ª e 2ª	m³xkm	71.000	1,44	102.240,00
Concreto projetado com 0,10m de espessura para proteção dos taludes	m³	57	936,24	53.365,68
Fornecimento e instalação de chumbadores em malha de 3x3m (Ø de 25 mm, 5,00 m)	m	310	78,98	24.483,80
Transição compactada	m³	4.673	52,53	245.472,69
Enrocamento compactado	m³	8.092	11,20	90.630,40
<b>TOTAL</b>				<b>2.126.221,57</b>
Execução de novo túnel	Unidade	Quant.	Preço (R\$)	
			Unitário	Total
Escavação subterrânea em saprolito	m³	10.595	68,00	720.460,00
Revestimento primário - Concreto projetado	m³	937	792,30	742.385,10
Cambotas - Armadura em barras de aço CA 50A (fornecimento, corte, dobra e montagem)	kg	35.070	6,30	220.341,00
Armadura em barras de aço CA 50A (fornecimento, corte, dobra e montagem)	kg	4.887	5,41	26.438,67
Tela Q196	kg	38.862	10,30	400.278,60
Concreto fck 25 MPa do revestimento secundário	m³	792	381,56	302.195,52
<b>TOTAL</b>				<b>2.412.698,89</b>

**CUSTO TOTAL = R\$ 4.538.920,56**



Comparação de custos	Valor (R\$)
ALT 1 - canal até emboque	12.144.431,86
ALT 2 - Recuperação do túnel rompido	4.964.323,08
ALT 3 - Execução de novo túnel	4.538.920,56



## 6. ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS E SOLUÇÃO ADOTADA



## 6. ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS E SOLUÇÃO ADOTADA

As soluções analisadas apresentam custos de implantação quantificáveis e outros de difícil avaliação, ou seja, são mais qualitativos. Desse modo elaborou-se uma matriz comparativa elencando os aspectos mais importantes que interferem nas soluções e que receberam avaliações comparativas. No tocante a preços a comparação foi feita por relação entre os preços.

A matriz comparativa é mostrada a seguir.

ELEMENTO (peso comparativo)	ALTERNATIVA 1 Canal até emboque	ALTERNATIVA 2 Recuperação do túnel	ALTERNATIVA 3 Novo eixo e novo túnel
Custos Comparativos (2)	267,60	109,37	100,00
Velocidade de retomada das obras até alcançar emboque em rocha (2)	Muito demorado 300,00	Demorado 150,00	Imediato 100,00
Grau de imprecisão na avaliação de custos (1)	Elevado 150,00	Elevado 125,00	Baixo 100,00
Dificuldade de execução (2)	Elevado 150,00	Elevado 125,00	Normal 100,00
Riscos de Escorregamentos e Deslizamentos durante a operação do sistema (1)	Elevado 200,00	Usual 100,00	Usual 100,00
Gastos com manutenção durante a operação do sistema (1)	Elevado 150,00	Usual 100,00	Usual 100,00
Custo de remobilização de equipamento de sondagem em rocha (2)	Elevado 200,00	Mediano 150,00	Baixo 100,00
Garantia de execução no prazo(1)	Não garante 200,00	Difícil garantir 150,00	Garante 100,00



Assim a média ponderada da avaliação resulta

ALTERNATIVA	ÍNDICE COMPARATIVO	
1 - Canal	211,27	(2.535,20)
2 - Retomada	128,64	(1.543,74)
3 - Novo túnel	100,00	(1.200,00)

A análise de custos mostra que as Alternativas 2 e 3 apresentam valores próximos que, com ligeira vantagem para a Alternativa 3 e são bem mais vantajosas do que a Alternativa 1, que tem custos bem elevados.

Quando se compara outros fatores que intervêm de maneira significativa nas soluções, a Alternativa 3 se destaca, uma vez que garante a retomada imediata das obras; apresenta menores dificuldades de execução; apresenta menores riscos à estabilidade das obras; tem menor custo de manutenção; permite a retomada imediata das obras; sobre ela não incidirão custos de mobilização de equipamentos especiais, que o CCL14 adquiriu para execução do túnel em rocha; e, permite que se garanta o prazo de execução da obra.

Face as considerações apresentadas adotou-se a Alternativa 3 para a retomada das obras do Túnel Cuncas I. Para essa solução foi desenvolvido o projeto executivo.





## 7. PROJETO EXECUTIVO

## 7. PROJETO EXECUTIVO

### 7.1 NOVO CANAL

O novo traçado do canal e do túnel desvia da área afetada pela ruptura do túnel inicial e retorna ao eixo inicial a cerca de 890 m do emboque do túnel inicial, como mostrado no desenho 1220-DES-1410-20-26-600, e aumenta em somente alguns metros o traçado original.

Os taludes das escavações do novo canal e sua proteção foram definidos de maneira a permitir a drenagem em toda sua extensão. Isso foi conseguido pela adoção de uma camada de enrocamento sobre outra de transição sobre o terreno escavado, como mostrado na Figura 17.

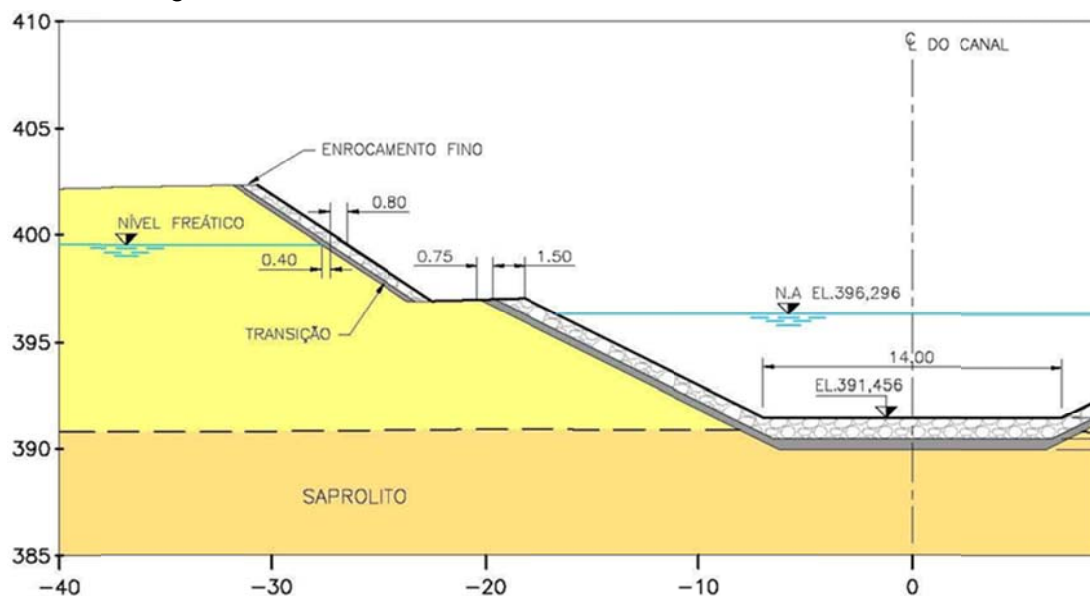


Figura 17 - Seção típica e proteção dos taludes com enrocamento

O Fator de Segurança mínimo para taludes definitivos é convencionalmente adotado maior que 1,50.

A inclinação dos taludes de escavação acima do nível de água do canal foi adotada bastante abatida, devido à observação dos taludes de escavação no emboque do túnel, os quais apresentaram instabilidade e rupturas até uma configuração com taludes 1V:1,8H. Essa foi a inclinação escolhida para o novo canal, desde o alinhamento original até o novo emboque do túnel Cuncas I.

Partiu-se então para a determinação do FS para as seções de escavação projetadas.

As Figuras 18 a 21 mostram o arranjo em planta e corte e os resultados obtidos nas análises de estabilidade, com FS maiores que 2,1.



Figura 18 - Implantação do novo canal até o novo emboque

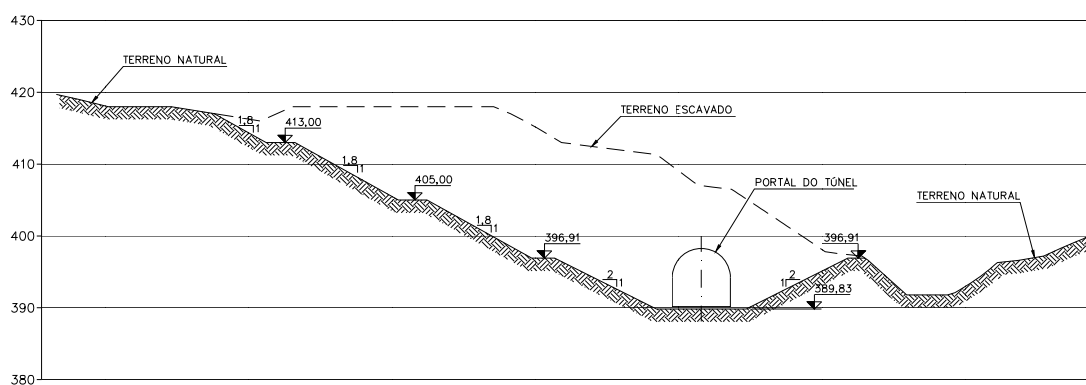


Figura 19 - Seção típica de escavação com taludes estáveis de 1V:1,8H

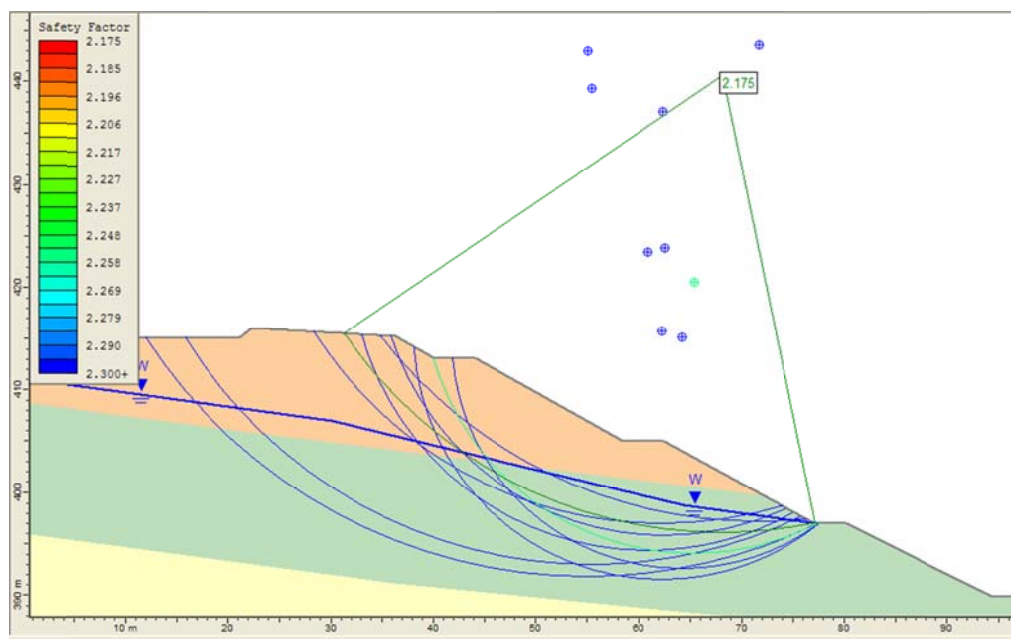


Figura 20 - Talude Esquerdo - FS=2,17

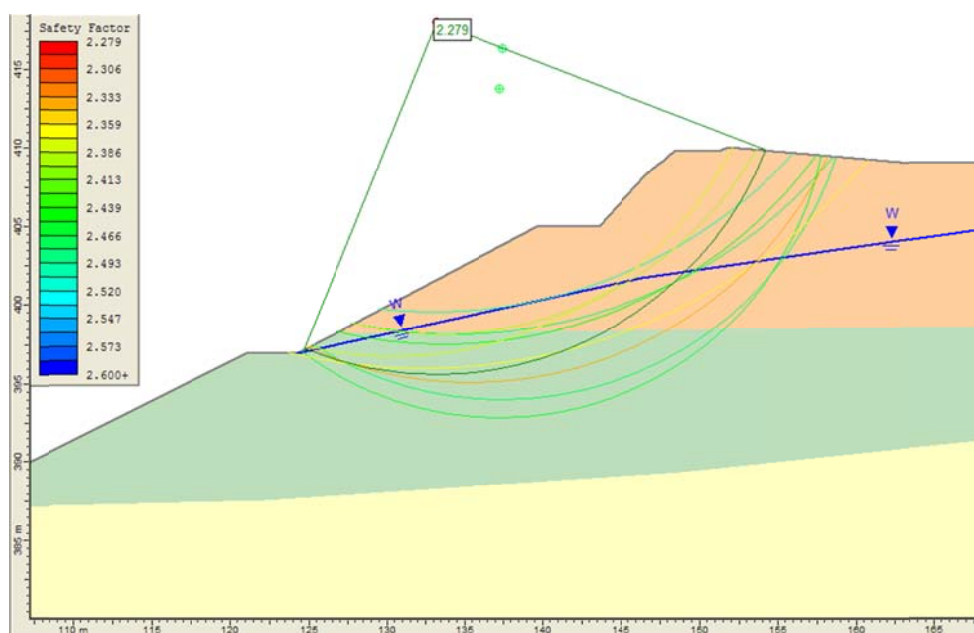


Figura 21 - Talude Direito - FS=2,27

Os FS maiores que o mínimo, neste caso, somente confirmam a estabilidade desejada para os taludes escavados.

O talude frontal do emboque do túnel será protegido e reforçado da mesma maneira que o talude frontal do túnel original. Serão empregados chumbadores formados por barras de aço Ø 25 mm com 6,00 m e 12,00 m de comprimento, ancorando uma camada de concreto projetado com 0,10 m de espessura, reforçado por tela metálica Q196.

## 7.2 TÚNEL

Como a região onde se implanta o túnel sofreu ao longo do tempo grandes alterações, função dos acontecimentos no trecho já executado, e está mais sujeita a interferência de água, tanto superficial quanto do lençol freático, foi necessário reforçar a seção do túnel originalmente projetada, sem, contudo, modificar a seção hidráulica do mesmo.

A Figura 22 apresenta a seção do novo túnel, com 0,40 m de espessura do revestimento estrutural, a menos dos rins (cantos laterais inferiores), onde a espessura é de 0,50 m.

A escavação drenada se dará por calota em seção plena, com avanços de 1,00 m, com arco invertido provisório (AIP) e fundação da calota com duas estacas raiz  $\phi 25$  cm inclinadas de cada lado, a cada metro. Isto é necessário devido às grandes cargas axiais provenientes da abóbada e que não se deseja passar ao AIP por cisalhamento (corte).

Ao se atingir uma cobertura em rocha sã de 4,00 m termina o trecho e inicia a escavação do túnel pelo método de escavação em rocha e com a seção arco retângulo.

A execução da bancada inicia por essa extremidade, no sentido do emboque, em avanços de 5,00 m.

Os desenhos de projeto apresentam as geometrias, as cambotas treliça, as ferragens, os detalhes e o método construtivo a ser empregado.

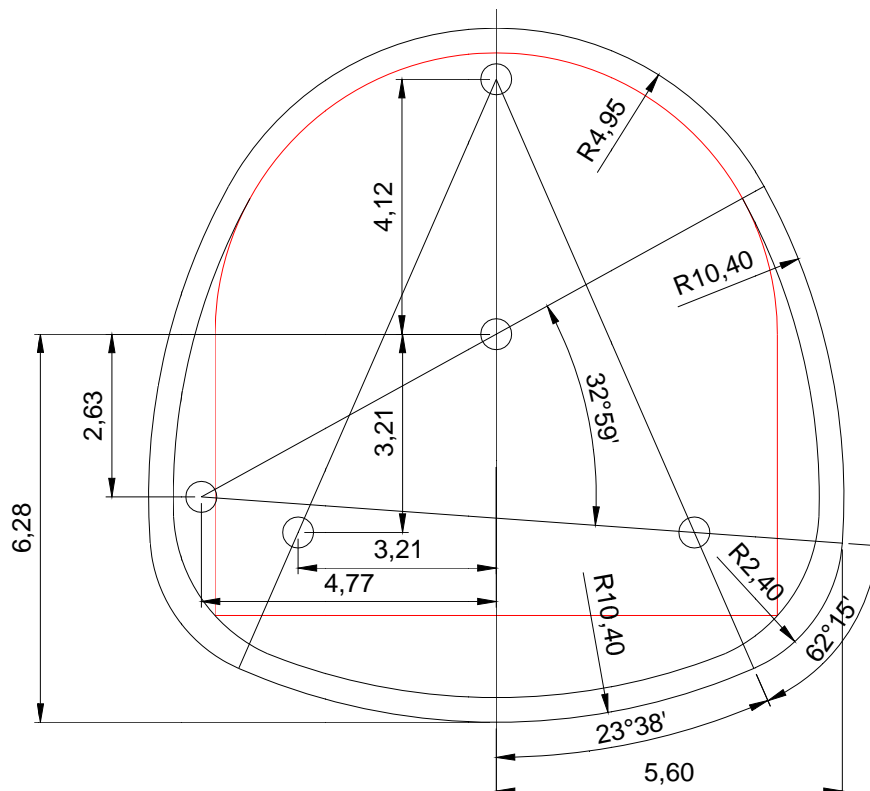


Figura 22 - Seção estrutural e hidráulica (vermelho) do túnel na Alternativa 3.



As cambotas tem a função específica de servir como forma para a seção do túnel e não tem função estrutural. Por essa razão não há dimensionamento estrutural das mesmas.

À exemplo da escavação do túnel que rompeu, não será empregada enfilagem para a execução do túnel novo. Isso é justificado pelo sucesso anterior na escavação do túnel, sendo que a sua ruptura se deu posteriormente, com a seção totalmente escavada. O que se conclui é que a estabilidade local da frente de escavação é garantida e não necessita de reforço prévio, o qual é fornecido pelas enfilagens.

O modelo empregado para a análise numérica pelo método dos elementos finitos admitiu 25 m de cobertura máxima de saprolito e 5 m de coluna de água sobre o túnel.

As sondagens solicitadas por meio de programação específica para o novo túnel não foram concluídas a tempo e, por isso, não se dispõe de informação específica da geologia local.

No entanto, pela grande proximidade às investigações anteriormente realizadas e pelas inspeções geológicas recentemente disponibilizadas, pode-se concluir por similaridade que as mesmas feições geológicas serão ali encontradas.

**Ressalta-se que não há investigação local disponível demonstrando a geologia, a posição do topo da rocha e nem do nível do lençol freático.**

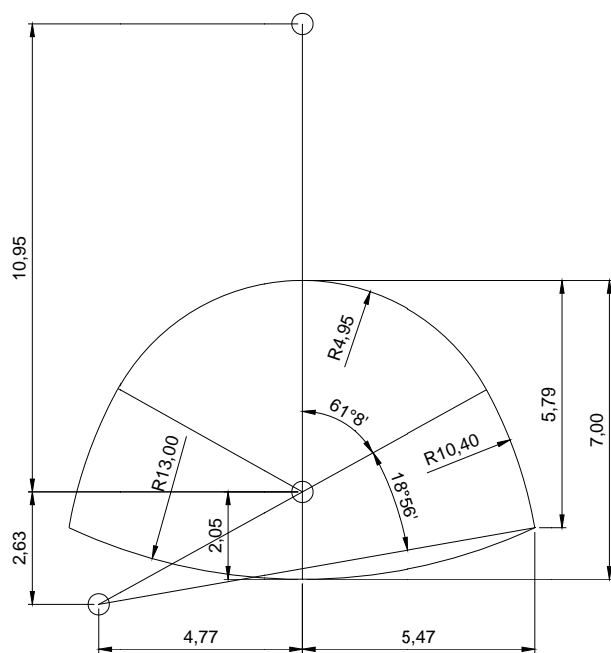
**Por esta razão foi acrescentada pregagem da frente de escavação do túnel, com grampos de fibra de vidro com 12 m de comprimento e resistência de 480 kN, e adoção do nível de água freática a 5,0 m acima do topo do túnel na etapa final de operação.**

Foram empregadas seis etapas de análise: 1) estabelecimento das tensões iniciais de campo para o maciço drenado; 2) amolecimento do núcleo a ser escavado, para simular o alívio de tensões no contorno; 3) escavação da calota e instalação do revestimento de concreto projetado; 4) amolecimento do rebaixo a ser escavado; 5) escavação do rebaixo e instalação do revestimento de concreto projetado; 6) aplicação do carregamento da água do lençol freático. As Figuras a seguir mostram as geometrias do modelo e os esforços calculados para as Etapas 3, 5 e 6.

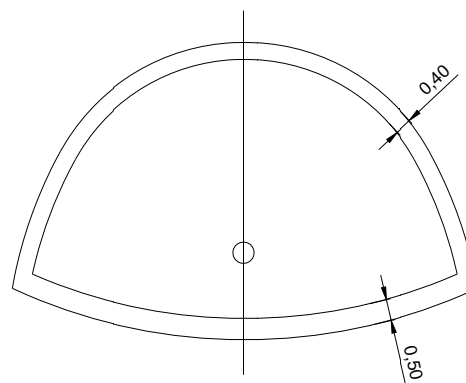
A espessura do revestimento resultou em 0,40 m para quase toda a seção do túnel e 0,50 m para o rim do túnel (laterais inferiores).

No modelo de cálculo para a Etapa 3, no Arco Invertido Provisório (AIP) foi admitida a plastificação do revestimento no canto formado pela intersecção da calota e do AIP, com o máximo momento fletor de 110 kN m/m, correspondente à espessura do AIP e da ferragem constituída por tela Q636 na face externa.

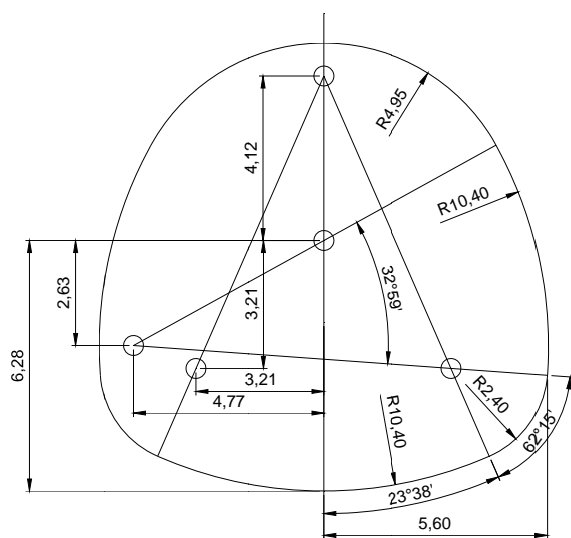
As figuras a seguir apresentam os resultados dos cálculos efetuados, onde foi empregado o programa Phase2 da Rocscience, em sua versão 8.0.



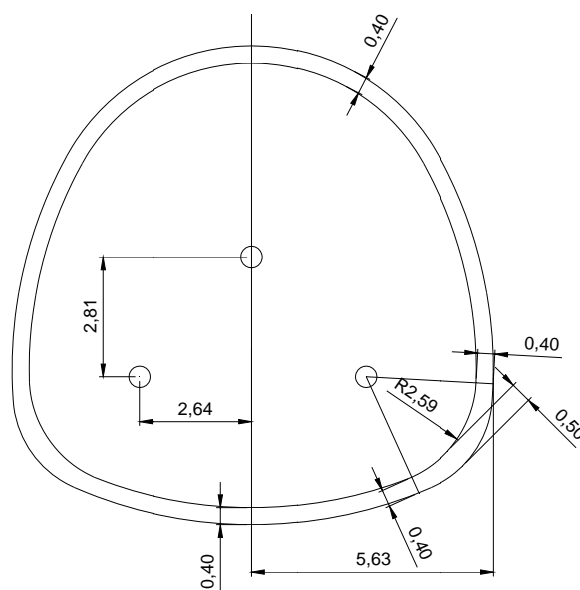
Geometria do contorno externo com arco invertido provisório (AIP)



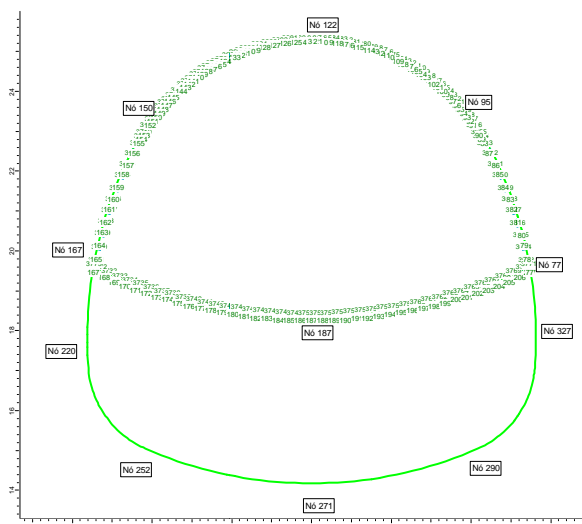
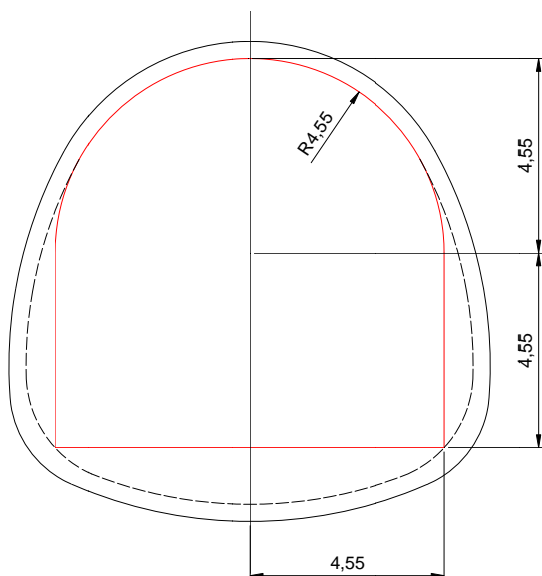
Geometria do revestimento com arco invertido provisório (AIP)



Geometria do contorno externo

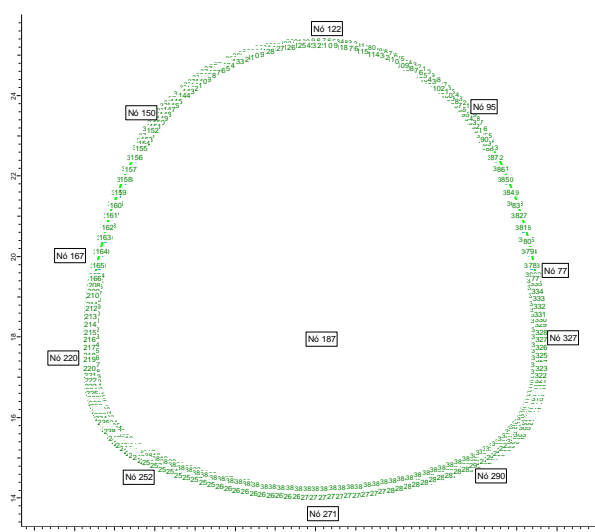


Geometria do revestimento estrutural

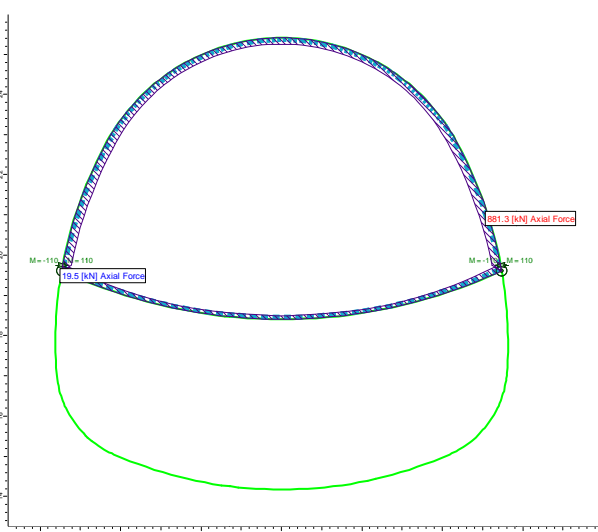


Nós do revestimento – Etapa 3

Geometria do revestimento completo

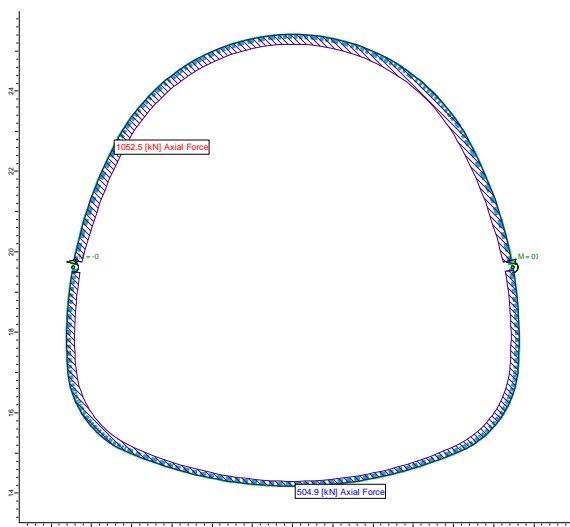


Nós do revestimento – Etapas 5 e 6

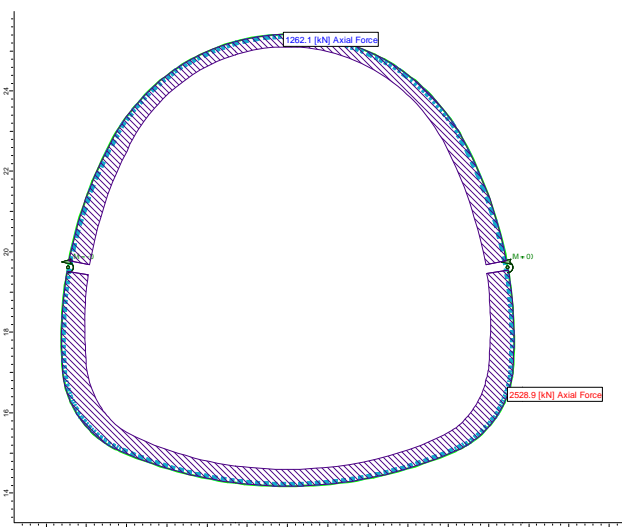


Força circunferencial (kN/m) – Etapa 3

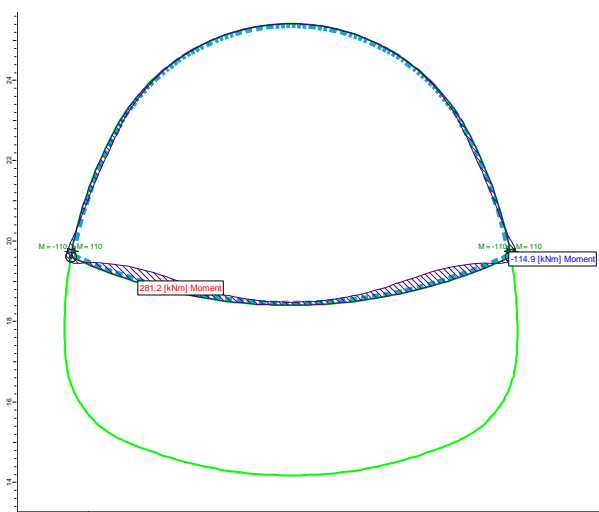




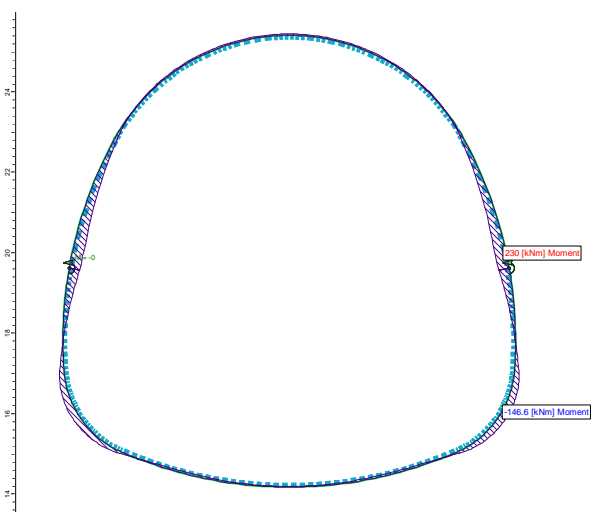
Força circunferencial (kN/m) – Etapa 5



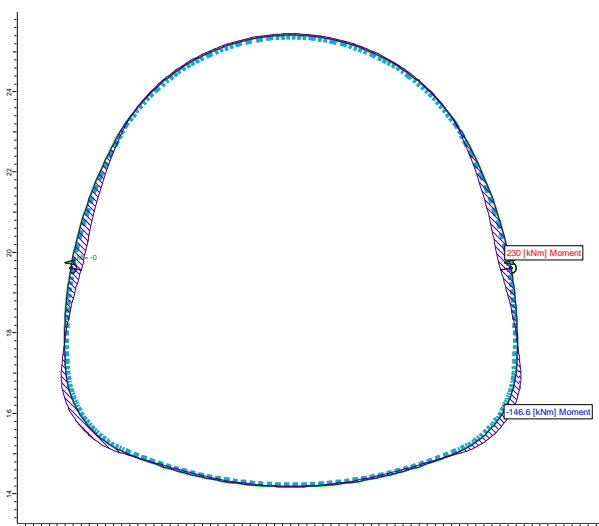
Força circunferencial (kN/m) – Etapa 6



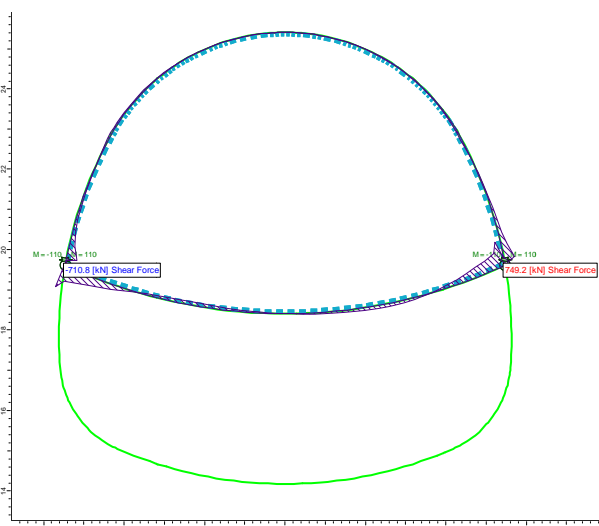
Momento circunferencial (kN m/m) – Etapa 3



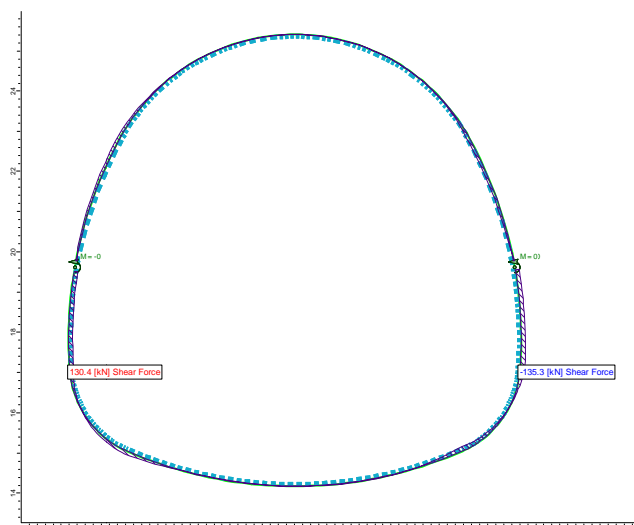
Momento circunferencial (kN m/m) – Etapa 5



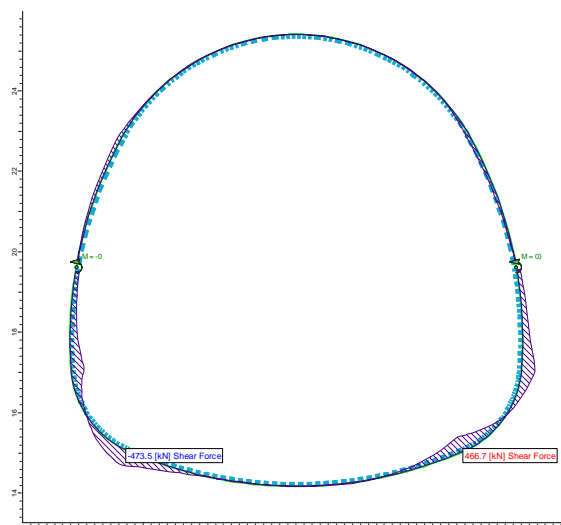
Momento circunferencial (kN m/m) – Etapa 6



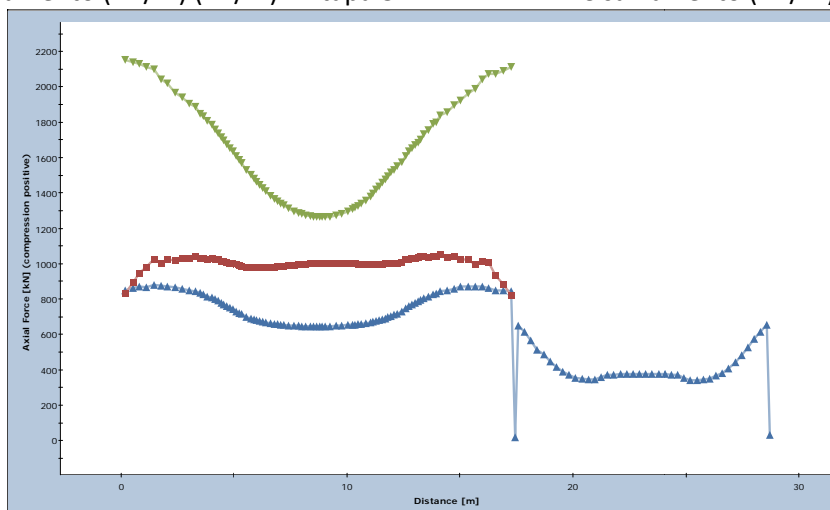
Cisalhamento (kN/m) (kN/m) – Etapa 3



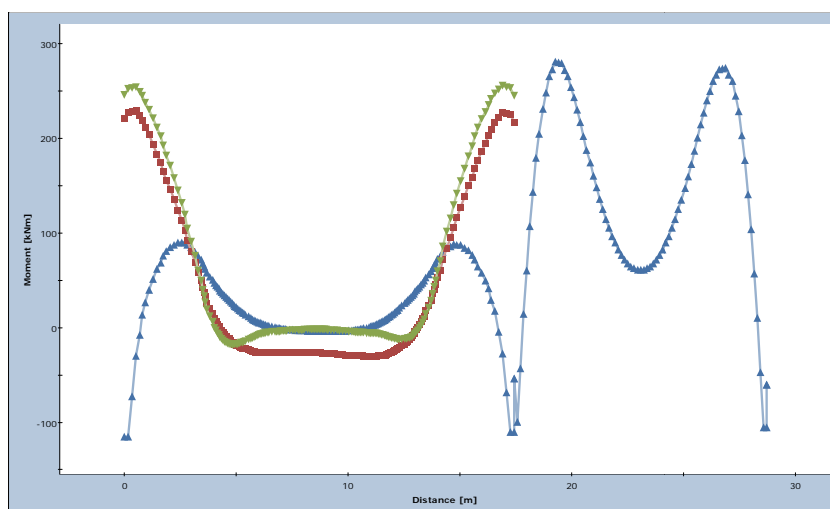
Cisalhamento (kN/m) (kN/m) – Etapa 5



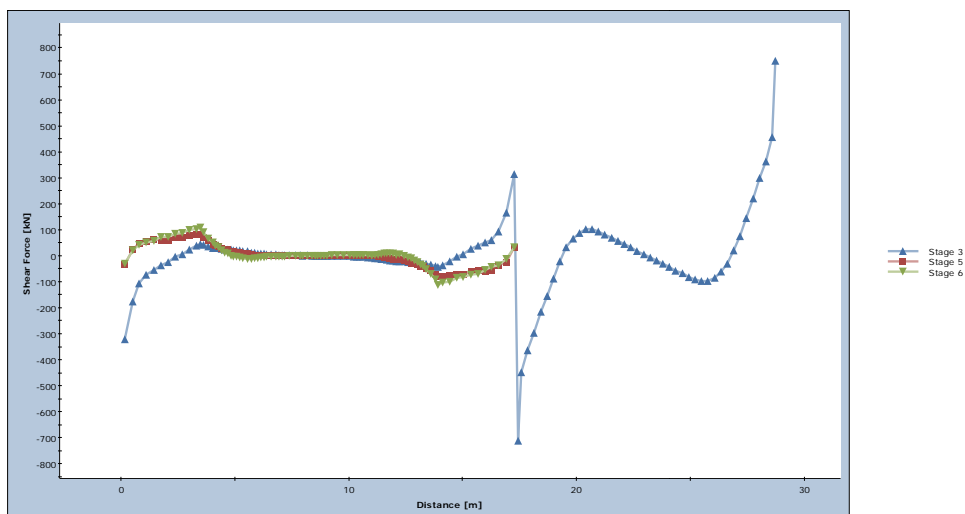
Cisalhamento (kN/m) (kN/m) – Etapa 6



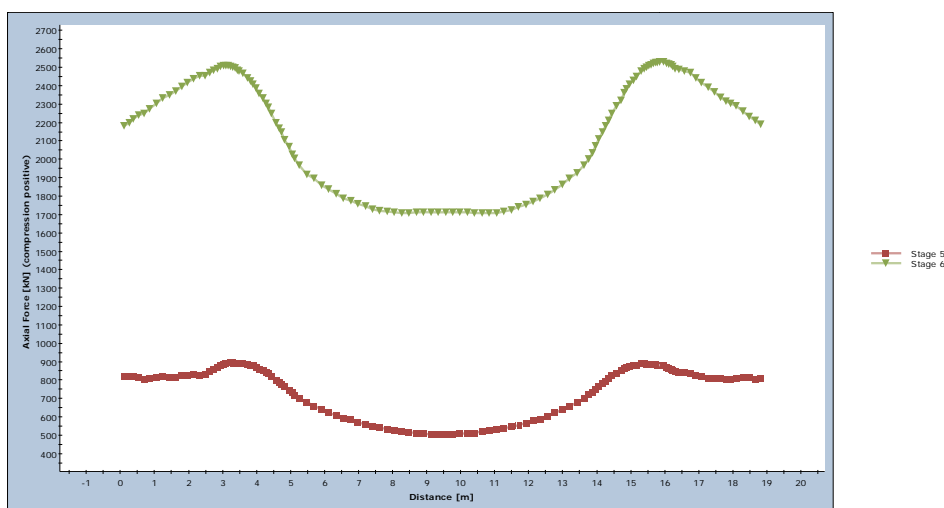
Força circunferencial (kN/m) no revestimento da calota e arco invertido provisório.



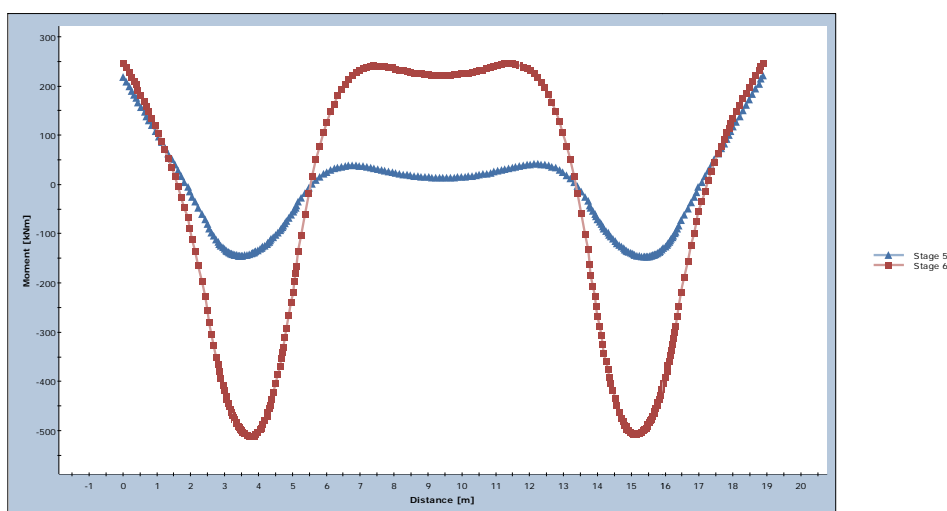
Momento circunferencial (kN m/m) no revestimento da calota e arco invertido provisório.



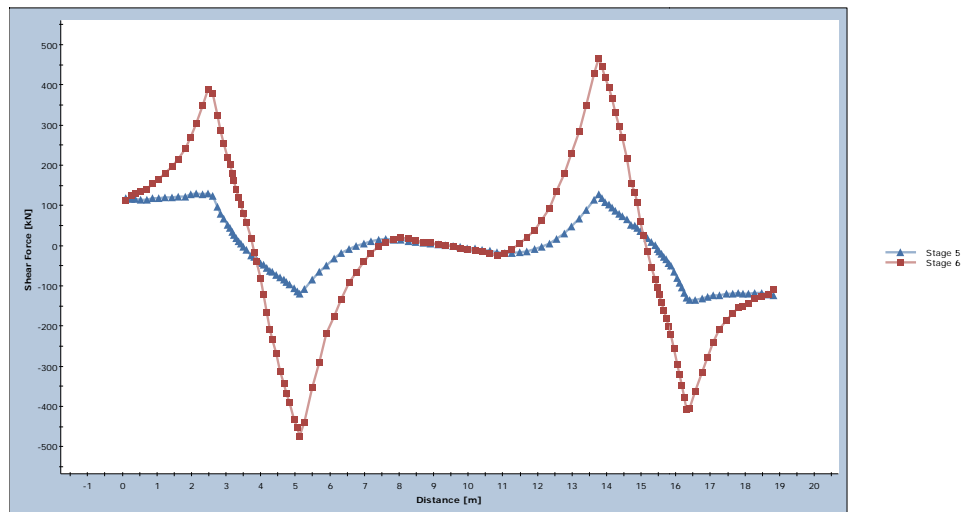
Cisalhamento (kN/m) no revestimento da calota e arco invertido provisório.



Força circunferencial (kN/m) no revestimento da bancada.



Momento circunferencial (kN m/m) no revestimento da bancada.



Cisalhamento (kN/m) no revestimento da bancada.

Os maiores esforços calculados e os representativos de trechos do revestimento estão mostrados a seguir. Os esforços ponderados foram calculados multiplicando-se os da Etapa 5 por 1,35 e somando-se a diferença entre os da Etapa 6 e Etapa 5. Com isso se aplica um Fator de Segurança de 1,35 para os esforços do terreno e Fator de Segurança de 1,00 para os devidos à água.

Os grandes esforços axiais na Etapa 3 estão localizados no canto entre o AIP e a calota e serão absorvidos por estacas raiz, o que elimina as grandes forças de cisalhamento (cortante) calculadas no modelo sem as estacas.

		Etapa 3					
Nó	Local	Força	Momento	Cortante	Espess (cm)	Ferrag (cm <sup>2</sup> )	Adotado
77-78	Calota	849	-94	-323	40	Mínima	Q 636
84-85	Calota	868	89	-3	40	Mínima	Q 636
169-182	AIP	415	277	-21	40	15,27	φ 16 c/ 20 + Q636
207-77	AIP	31	-82	749	40	5,12	Q 636

		Esforços ponderados máximos			Etapa 6		
Nó	Local	Força	Momento	Cortante	Espess (cm)	Ferrag (cm <sup>2</sup> )	Adotado
77-86	Calota	2442	329	-43	40	4,67	f8 c/ 10 + Q 636
220-250	Rim	2733	-560	-25	50	11,11	f8 c/ 10 + Q 636
252-290	Fundo	1888	234	17	40	Mínima	Q 636

Resultado dos dimensionamentos realizados para cada trecho do revestimento:

Aplicar Tela Q636 **na calota** em ambos os lados. Recobrimento da ferragem = 5 cm. Nas laterais acrescentar φ10 cada 10 cm no lado interno.

Aplicar Tela Q636 e φ16 a cada 20 cm **no AIP**, no lado superior (interno) e Tela Q636 no lado inferior (externo). Recobrimento da ferragem = 3 cm.



Aplicar Tela Q636 e  $\phi$  10 cada 10 cm **no rim**, no lado externo, e Tela Q636 no lado interno. Recobrimento da ferragem = 5 cm.

A armadura mínima é de  $6,00 \text{ cm}^2/\text{m}$  para espessura de 40 cm e de  $7,50 \text{ cm}^2/\text{m}$  para a espessura de 50 cm.

Para a situação de funcionamento se incluiu drenagem do revestimento por meio de barbacãs instalados nas laterais do túnel a cada 2 m. Desta maneira se minimiza o efeito de um possível nível de água externo superior ao admitido no projeto, de 5 m acima da abóbada.

### 7.3 DRENAGEM SUPERFICIAL

Para o caso da solução de novo canal e túnel a drenagem superficial será constituída de canaletas e descidas com escadas hidráulicas, onde necessário, descarregando no novo canal.

Os desenhos de projeto apresentam as soluções empregadas e seus detalhes.

Deverá ser executada valeta ao lado esquerdo hidráulico do canal para conduzir as águas pluviais oriundas da cachoeira que se forma próximo ao pé da serra nas proximidades, até um local que interfira o mínimo com o canal em obras.

### 7.4 INSTRUMENTAÇÃO

Somente se prevê o emprego de instrumentação para o acompanhamento da construção do túnel.

Serão instalados pinos internos ao túnel, no topo da calota e nas suas laterais, para medição da convergência ao longo do tempo.

Serão 6 seções de instrumentação, nas estacas 0+10m; 1+10m; 2+10m; 3+10m; 4+10m e 5+10m.

As leituras deverão ser acompanhadas pelo Acompanhamento Técnico da Obra.

Os sinais de alarme serão acionados ao se observar convergência ou divergência crescente e sem motivo ou em aceleração. As medidas esperadas para alongamento ou encurtamento das cordas de medição se situam ao redor de 10 mm.

### 7.5 DESAPROPRIAÇÃO E MEIO AMBIENTE

O novo túnel e canal de aproximação estão situados dentro da faixa de desapropriação do canal não requerendo assim nenhuma alteração quanto ao aspecto de desapropriação. A remoção de vegetação também está dentro da faixa autorizada.



## 8. QUANTITATIVOS



## 8. QUANTITATIVOS

A planilha a seguir mostra os quantitativos de serviços requeridos para a implantação da Alternativa 3, no tocante ao novo emboque e o trecho do túnel em solo e também a estrutura de transição que faz parte do Lote 14. Nesses quantitativos não estão incluídos aqueles requeridos para a execução do canal, uma vez que este pertence ao Lote 6, estando apenas quantificadas as escavações requeridos para a execução da rampa de acesso à obra e para a execução do portal do túnel.



Ordem	LOTE 14	Unid.	Quant.
1	RETOMADA DAS OBRAS DO TÚNEL CUNCAS I (WBS 1410) – ALTERNATIVA 3		
	<b>Taludes de escavação e canal de transição</b>		
1.1	Escavação de material de 1ª categoria, carga e transporte até a 1,00 km	m³	4.064,00
1.2	Escavação de material de 2ª categoria, carga e transporte até a 1,00 km	m³	32.510,00
1.3	Escavação de material de 3ª categoria, carga e transporte até a 1,00 km	m³	4.064,00
1.4	Espalhamento de material de material em bota fora		
1.4.1	de 1a e 2a categoria	m³	37.590,00
1.4.2	de 3a categoria	m³	5.689,60
1.5	Fornecimento e colocação de material de transição (brita 1) nos taludes	m³	625,00
1.6	Enrocamento fino nos taludes	m³	1.247,70
1.7	Aterro compactado	m³	1.730,00
1.8	Canaleta trapezoidal de drenagem superficial (04,0 x 0,35 m)	m	278,00
1.9	Execução de Escada hidráulica (0,80 x 1,00)	m	45,00
1.10	Fornecimento e colocação de chumbadores $\phi 20$ mm x 6,0 m	m	144,00
1.11	Fornecimento e colocação de chumbadores $\phi 20$ mm x 12,0 m	m	888,00
1.12	Fornecimento e Instalação de barbacã em tubo de PVC diâm 50 mm	un	20,00
1.13	Fornecimento e colocação de tela de aço Q 196 (fornecimento e montagem)	ton	1,81
1.14	Fabricação, transporte e lançamento de concreto projetado fck=25 MPa	m³	58,10
1.15	Formas planas comuns de madeira para a transição	m²	812,19
1.16	Formas curvas comuns de madeira para a transição	m²	31,97
1.17	Fabricação, transporte e lançamento de concreto estrutural da transição, 35 Mpa	m³	706,50
1.18	Fabricação, transporte e lançamento de lastro de concreto da transição	m³	34,90
1.19	Fornecimento e colocação de junta fungenband O-22 na transição	m	112,00
1.20	Armadura em barras de aço CA 50A (fornecimento, corte, dobra e montagem) da transição		
1.20.1	de diâmetro 16,0 a 25,0 mm	ton	61,22
1.20.2	de diâmetro 6,3 a 12,5 mm	ton	2,13
	<b>Emboque e Túnel</b>		
1.21	Fornecimento e execução de enfilagens tubulares injetadas de 12,0 m	m	324,00
1.22	Execução de DHP's comprimento 12,0 m	un	4,00
1.23	Escavação subterrânea de material de 1ª categoria, carga e transporte até a 1,00 km	m³	1.590,00
1.24	Escavação subterrânea de material de 2ª categoria, carga e transporte até a 1,00 km	m³	12.700,00
1.25	Escavação subterrânea de material de 3ª categoria, carga e transporte até a 1,00 km	m³	1.590,00
1.26	Espalhamento de material de material em bota fora		
1.26.1	de 1a e 2a categoria	m³	14.687,50
1.26.2	de 3a categoria	m³	2.226,00
1.27	Fornecimento, execução e colocação de cambotas conforme projeto	kg	16.582,80
1.28	Fornecimento e execução de estaca raiz com 6,00 m de comprimento, $\phi 25$ cm e capacidade de carga de 40 tf	un	480,00
1.29	Fornecimento e Instalação de barbacã em tubo de PVC diâm 50 mm	un	240,00
1.30	Fornecimento e instalação de grampos de fibra de vidro para 480 kN	m	3.360,00
1.31	Fornecimento e colocação de tela de aço Q335	ton	20,00
1.31A	Fornecimento e colocação de tela de aço Q636	ton	119,32
1.32	Fabricação, transporte e lançamento de concreto projetado fck=25 MPa	m³	5.866,80
1.33	Armadura em barras de aço CA 50A (fornecimento, corte, dobra e montagem) do túnel		
1.33.1	de diâmetro 16,0 a 25,0 mm	ton	27,65
1.33.2	de diâmetro 6,3 a 12,5 mm	ton	25,52
1.34	Demolição do arco invertido provisório	m³	538,80
1.35	Formas planas comuns de madeira para o túnel	m²	1.332,00
1.36	Formas curvas comuns de madeira para o túnel falso no emboque	m²	18,00
1.37	Fabricação, transporte e lançamento de concreto moldado fck=35 MPa	m³	1.681,20
	<b>Instrumentação</b>		
1.38	Fornecimento, instalação leitura de Pinos de Convergência, inclusive emissão de relatórios de acompanhamento	un	18,00





## 9. DESENHOS EMITIDOS



## 9. DESENHOS EMITIDOS

Os desenhos emitidos para o detalhamento das duas soluções analisadas foram os indicados no quadro abaixo.

<b>Título</b>	<b>Número</b>
Canal e Novo Emboque do Túnel - Planta Geral	1220-DES-1410-20-26-600-R01
Canal e Novo Emboque do Túnel - Planta e Seções e Detalhes	1220-DES-1410-20-26-601-R03
Contenção do Talude - Seção e Detalhes	1220-DES-1410-20-26-602-R02
Canal e Novo Emboque do Túnel - Drenagem Superficial	1220-DES-1410-20-26-603-R01
Método Construtivo - Seções e Detalhes	1220-DES-1410-20-59-600-R01
Túnel em Solo - Seção Geométrica	1220-DES-1410-30-78-601-R03
Armadura da Calota - Seções e Detalhes	1220-DES-1410-30-82-601-R02
Armadura da Bancada - Seções e Detalhes	1220-DES-1410-30-82-602-R01
Cambota Treliça - Cortes e Detalhes	1220-DES-1410-30-82-603-R01
Túnel em Solo - Instrumentação	1220-DES-1410-50-80-601-R00