

RELATÓRIO TÉCNICO

Relatório da Avaliação Geológica para as obras e serviços de engenharia para execução de desmonte de rochas para desobstrução do Túnel do Tibau, Niterói-RJ

INTERESSADO

Secretaria de Planejamento, Orçamento e Modernização da Gestão
Prefeitura Municipal de Niterói-RJ

CONTRATO	CÓDIGO ECO Blasting	REVISÃO	LOCAL E DATA
0002-EG/2013/0024	2056-R03-20	1	São Paulo 05.Julho.2021

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	3
2 JUSTIFICATIVA.....	3
3 ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO ESTUDO.....	3
4 REFERÊNCIAS.....	4
5 METODOLOGIA DA AVALIAÇÃO GEOLÓGICA.....	5
6 CONTEXTO GEOLÓGICO.....	7
6.1 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	7
6.2 CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL.....	8
7 AVALIAÇÃO GEOLÓGICA.....	10
7.1 HISTÓRIA DO TÚNEL.....	10
7.2 CLASSIFICAÇÃO DO MACIÇO ROCHOSO NAS ÁREAS COM RUPTURA.....	13
7.3 AS BUILT DO TRAÇADO DO TÚNEL.....	15
7.4 ANÁLISE DE ESTABILIDADE CINEMÁTICA.....	16
8 RECOMENDAÇÕES E CONSIDERAÇÕES.....	19
9 RESPONSABILIDADE TÉCNICA.....	19
Anexo A – Anotação de responsabilidade técnica	

1 INTRODUÇÃO

Este relatório de avaliação geológica refere-se à contratação de serviços de engenharia para execução de desmonte de rochas para desobstrução do Túnel do Tibau, a fim de reestabelecer o fluxo hídrico entre a lagoa de Piratininga e o mar, e elaboração de proposta para estabilização definitiva do referido Túnel e respectiva planilha orçamentária.

Este relatório técnico foi fundamentado no termo de referência constante da Tomada de Preços SEPLAG/CAF Nº 004/2020 de autoria da Secretaria de Secretaria de Planejamento, Orçamento e Modernização da Gestão da Prefeitura Municipal de Niterói-RJ.

Para melhor entendimento do disposto neste documento serão utilizadas as seguintes convenções e abreviaturas:

- CONTRATANTE - Prefeitura Municipal de Niterói-RJ;
- CONTRATADA - Eco Blasting Serviço e comércio LTDA.; e
- FISCALIZAÇÃO - Comissão designada pela CONTRATANTE como responsável pela Fiscalização do contrato, pela Secretaria de Planejamento, Orçamento e Modernização da Gestão.

2 JUSTIFICATIVA

O Túnel do Tibau, que liga a Lagoa de Piratininga ao mar, foi construído no período de 2005 a 2008, através do Projeto de Renovação do Sistema Lagunar de Piratininga-Itaipu da Superintendência Estadual de Rios e Lagoas (SERLA) com a finalidade de favorecer uma maior renovação, circulação e melhoria da qualidade ambiental das águas do Sistema Lagunar. O túnel possui 915,91 m de comprimento, 5 m de largura e 4,5 m de altura.

Constatou-se uma diminuição do fluxo de água entre o oceano e a lagoa de Piratininga, devido a uma evidente obstrução no interior do Túnel do Tibau. Um indicativo de obstrução do túnel foi uma elevação do nível da Lagoa de Piratininga posteriormente ao período de intensa pluviosidade sem uma diminuição de elevação posterior que o túnel proporcionaria.

Para verificação das condições do túnel foi feita uma inspeção detalhada nos dias 10 e 13 de junho de 2019, com a finalidade de avaliar obstruções e assoreamentos. Ao final do trabalho foram entregues como produtos: 1 (um) Relatório de Inspeção do túnel do Tibau (Anexo 1 do termo de referência do edital de contratação) e fotos e filmagens do interior do túnel inclusive dos pontos onde ocorreram os desmoronamentos de rochas.

Ainda, foi realizada uma visita técnica, antes da licitação, por especialista geólogo-geotécnico que verificou as condições do túnel do Tibau. Nesta inspeção constatou-se que a metodologia mais indicada a ser utilizada para o desmonte das rochas, em função das condições atuais, deveria ser isenta de métodos que comprometam a estabilidade da estrutura, tais como explosões, devendo-se utilizar métodos de desmonte a frio ou similar.

3 ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO ESTUDO

A área de abrangência do estudo é considerada a área interna do túnel do Tibau, segundo o desenho 1 do Anexo A, a **Figura 3-1** simplificada da trajetória do Túnel, oriunda do memorial descritivo (Ferreira Guedes & Tecnosolo) apresentado a seguir.

Mapa de Localização do Túnel do Tibau

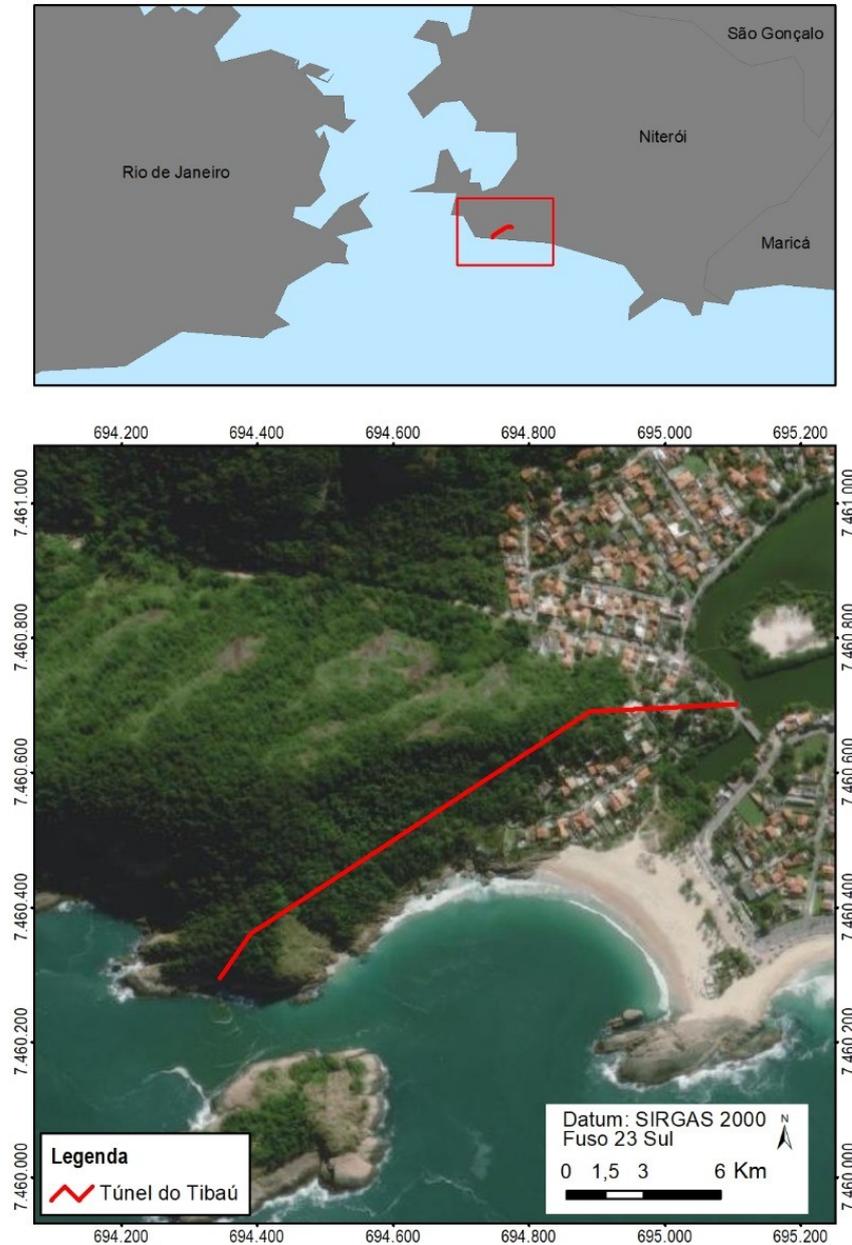


Figura 3-1. Trajetória do túnel do Tibau (traçado do estudo de alternativa para EIA/RIMA).

4 REFERÊNCIAS

O estudo será fundamentado nas orientações dos seguintes documentos:

- NBR 11.682 (ABNT,2009)- Estabilidade de Encostas;
- Demais normas NBR, relacionadas pela ABNT como sendo necessárias para a aplicação da NBR 11682:2009;

No desenvolvimento dos serviços serão considerados:

- O Termo de referência do edital de contratação;
- Informações relacionadas ao EIA-RIMA do Projeto de Obras de Recuperação e Melhorias do Sistema Lagunar Piratininga-Itaipu (Lisboa da Cunha);
- O Memorial descritivo e de cálculo do empreendimento do Projeto de Obras de Recuperação e Melhorias do Sistema Lagunar Piratininga-Itaipu (Ferreira Guedes & Tecnosolo).

5 METODOLOGIA DA AVALIAÇÃO GEOLÓGICA

Referente a esse item o termo de referência do edital descreve que a contratada deverá realizar uma avaliação geológica a fim de verificar as condições de estabilidade do túnel do Tibau, realizando assim um mapeamento geológico-estrutural. Ainda, deverão ser identificados os riscos de colapso das estruturas do túnel, definindo as características dos materiais a serem removidos e os possíveis riscos durante o desmonte.

Assim, a partir da análise do memorial descritivo do projeto do túnel, considera-se que o túnel encontra-se com boa parte das suas paredes revestidos por concreto projetado, em camadas de diferentes espessuras, e assim uma caracterização geológico-estrutural contínua do túnel não foi possível de se realizar, mas nos trechos sem o concreto jateado ele foi vistoriado, para o entendimento do contexto da rocha, contudo a obtenção das medidas das atitudes das descontinuidades com bússola foi possível de se obter apenas nas áreas com rupturas.

Como alternativa, foi realizado um mapeamento de superfície para levantamento geológico-estrutural para definição da ocorrência das descontinuidades do maciço geológico, e as descrições das propriedades geomecânicas das descontinuidades, nos moldes descritos nas metodologias de caracterização geotécnica de maciço, e este estudo será realizado nos entornos do maciço rochoso no qual o túnel foi construído, nas exposições de rocha nos taludes naturais e no costão rochoso. Os dados estruturais e das descontinuidades serão organizadas em diagramas de Schimidt-Lambert, ou estereogramas e as atitudes das estruturas classificadas em famílias, com atitudes médias e estatísticas de desvios, para posterior correlação com a caracterização geomecânica das descontinuidades que darão suporte às proposições de estabilização.

A partir dessa caracterização estrutural e da atitude do túnel (direção do eixo no espaço e geometria da seção do túnel), será realizado uma análise de estabilidade cinemática para definição de processos e possibilidades de ruptura para o maciço, para que esses modelos possam ser aplicados a trechos definidos do túnel.

Para o túnel, o mesmo foi percorrido, classificando os trechos do túnel, inicialmente por seus tratamentos, e a qualidade atual das paredes. Para os trechos de rocha exposta, foi realizada a descrição da rocha, com detalhes sobre processos de intemperismo e as descontinuidades foram avaliadas, classificadas e medidas.

Para caracterização geomecânica do maciço e determinação da sua classe de suporte, foram utilizadas técnicas de mapeamento envolvendo a definição baseada no sistema RMR (“Rock Mass Rating”), conforme apresentado em BIENIAWSKI, Z.T (1989). Os parâmetros considerados foram medidos ou estimados de acordo com inspeção “In situ”. A partir da caracterização dos trechos serão determinados os trechos-tipos adequados para a estabilização do túnel. Para a classificação do

maciço rochoso, pelo sistema RMR, método de Bieniawski (1974), apresentou-se a somatória dos pontos, dos critérios de 1 a 5, apresentados na **Tabela 5.3-1 a 5.3-3** a seguir.

Tabela 5-1. Classificação geomecânica de Bieniawski (1989) - "Rock Mass Rating - RMR".

Parâmetros		Coeficientes							
1	Resistência da rocha intacta	Point Load	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Ver compressão uniaxial		
		Compressão uniaxial	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
Pesos		15	12	7	4	2	1	0	
2	R.Q.D.	90-100 %	75-90 %	50-75 %	25-50 %	< 25 %			
	Pesos	20	17	13	8	3			
3	Espaçamento das descontinuidades	> 2 m	0,3-2 m	200-600 mm	60-200 mm	< 60 mm			
	Pesos	20	16	10	8	5			
4	Condição das descontinuidades (ver Tabela 3)	Superfícies muito rugosas, não contínuas, sem separação, paredes de rocha não alteradas	Superfícies ligeiramente rugosas, separação < 1 mm, paredes ligeiramente alteradas	Superfícies ligeiramente rugosas, separação < 1 mm, paredes muito alteradas	Superfícies polidas ou enchimento com espessura < 5 mm ou juntas contínuas com separação 1-5 mm	Enchimento mole com espessura > 5 mm ou juntas contínuas com separação > 5 mm			
		Pesos	30	25	20	10	0		
5	Presença de água	Caudal por 10 m de comprimento do túnel	nenhum	< 10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	> 125 l/min		
		Relação pressão da água vs tensão principal máxima	0	< 0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5		
		Condições gerais	Completamente seco	Água intersticial	Úmido	Escorregamentos	Entrada de água		
		Pesos	15	10	7	4	0		

Tabela 5-2. Classificação da condição das descontinuidades - RMR (1989).

Comprimento da descontinuidade (persistência)	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m
Peso	6	4	2	1	0
Separação (abertura)	Nenhuma	< 0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	> 5 mm
Peso	6	5	4	1	0
Rugosidade	Muito rugoso	Rugoso	Ligeiramente rugoso	Quase liso	Liso
Peso	6	5	3	1	0
Enchimento	Nenhum	Duro com espessura < 5 mm	Duro com espessura > 5 mm	Mole com espessura < 5 mm	Mole com espessura > 5 mm
Peso	6	4	2	2	0
Grau de alteração	Não alteradas	Ligeiramente alteradas	Moderadamente alteradas	Muito alteradas	Em decomposição
Peso	6	5	3	1	0

Tabela 5-3. Efeito da orientação das descontinuidades - RMR (1989).

Orientação das descontinuidades		Muito favorável	Favorável	Razoável	Desfavorável	Muito desfavorável
Pesos	Túneis e minas	0	-2	-5	-10	-12
	Fundações	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

A **Tabela 5-4** apresenta a classe geomecânica do maciço a partir das pontuações.

Tabela 5-4. Classes de maciços - RMR (1989).

Peso global	100-81	80-61	60-41	40-21	< 21
Classe	I	II	III	IV	V
Descrição	Maciço rochoso muito bom	Maciço rochoso bom	Maciço rochoso razoável	Maciço rochoso fraco	Maciço rochoso muito fraco
Tempo médio para aguentar sem suporte	20 anos para 15 m de vão	1 ano para 10 m de vão	1 semana para 5 m de vão	10 horas para 2,5 m de vão	30 minutos para 1 m de vão
Coesão da massa rochosa (kPa)	> 400	300-400	200-300	100-200	<100
Ângulo de atrito da massa rochosa (°)	> 45	35-45	25-35	15-25	<15

Cuidados relacionados a surgência de água subterrânea ao longo do túnel foi cadastrado e descrito, pois tratam-se de trechos de cuidados especiais.

Ao final desta fase de avaliação, foi ser elaborado Relatório Técnico referente ao diagnóstico das condições de estabilidade do túnel, incluindo a identificação das zonas de fratura/falha, dos blocos instáveis removíveis e não removíveis, das condições do reforço existente e outros aspectos que se mostraram importantes quanto à estabilidade da estrutura do túnel.

6 CONTEXTO GEOLÓGICO

6.1 Contexto geológico regional

A área de influência indireta da área do empreendimento localiza-se nos domínios geológicos do Pré-Cambriano e Quaternário. Encontra-se inserida na folha Baía de Guanabara, que compõe juntamente com as folhas Itaboraí, Maricá e Saquarema, o Bloco Baía de Guanabara. Vide mapa geológico em anexo.

Nesta região, as litologias são predominantemente, do tipo gnaiss facoidal e migmatitos-diatexitos, ocorrendo, entretanto, em alguns setores, veios de pegmatitos e diques de diabásio de idade cretácea. Além dessas rochas, as partes mais rebaixadas do terreno (cordões litorâneos e restingas) são constituídas por sedimentos marinhos, eólicos, paludais e fluviais. Lamego (1945)¹.

Conforme Projeto "Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro" - Folha Baía de Guanabara a região Oceânica de Niterói (Itaipu-Piratininga) apresenta as seguintes unidades lito-estratigráficas:

- Pré - Cambriano (PE)
 - o Gnaiss Facoidal (PE li gf): migmatito-diatexito com características e estrutura ofálmicas, dados por abundantes porfiroblastos de feldspato (rosa e cinza) contornado por matriz essencialmente composta por quartzo, biotita e plagioclásio. Enclaves sob a forma de manchas esverdeadas de composição charnoquítica. Contatos transicionais para Leptinitos podem ser observados na região do Morro do Cantagalo.
 - o Unidade Cossorotiba (PE li cs): migmatito-diatexito com abundantes porfiroblastos de K-feldspato pouco deformados (cinza-claros), envoltos com matriz granoblástica, composto essencialmente de biotita, quartzo e plagioclásio-rocha de granulação grosseira, cor cinza a cinza escura (Região do Morro das Andorinhas e Ponta de Itaipu).
- Quaternário (Q)
 - o Sedimentos Litorâneos (Rc): areias quartzozas bem selecionada, por vezes mal selecionada, podendo apresentar feldspato e matriz argilosa, com coloração esbranquiçada, marinha, de cordões litorâneos (Região da Praia de Itaipu e Praia do Mar Azul).

¹ Lamego, A. R. 1945. A Geologia de Niterói na Tectônica da Guanabara. Rio de Janeiro: 39.

6.2 Contexto geológico local

No contexto geológico local, com verificação realizada no maciço rochoso onde o túnel do Tibau foi construído e dentro do túnel, entende-se que seja a melhor descrição das rochas do túnel.

Foram observadas rochas de composição granitóides, descritas como os Gnaisse Facoidal, com fenocristais orientados de plagioclásio e feldspatos potássicos, com cristais centimétricos, com foliações gnáissicas orientados segundo N005/80°.

O Maciço rochoso apresenta veios de quartzo sob diversas orientações, veios pegmatíticos centimétricos (fenocristais de feldspatos) orientados segundo a foliação gnáissica, e ainda diques submétricos de rocha máfica, orientados segundo a foliação gnáissica, e apresentam-se mais suscetíveis a intemperização.



Figura 6.2-1. A) Vista Geral do maciço granitóide com foliações gnáissicas, apresentando veio de quartzo discordante da foliação, com veio pegmatítico concordante com a foliação (N340/80°); B) Desemboque do túnel, em corte de rocha, no qual notam-se estruturas de alívio de pressão, com direção e mergulho no mesmo ângulo do costão rochoso, contudo, com atitude favorável para escorregamentos planares, quando em corte, notar a densidade de elementos de fixação (tirantes) na face de corte; C) Vista de um dique orientado segundo foliação (N280-100), de composição máfica, e muito suscetível à intemperismo; D) Aspectos dos fenocristais da rocha, em trecho com juntas de atitude N140/85°, discordantes da foliação.

7 AVALIAÇÃO GEOLÓGICA

7.1 Vistoria do túnel

Nos dias 28 e 29 de outubro de 2020, foram realizadas vistorias no interior do túnel, com intuito de se fazer uma avaliação geológica, incluindo uma vistoria geotécnica no local das atividades de desmonte de rocha a frio. O acesso ocorreu pela entrada lateral do túnel, e utilizou-se de embarcações para a vistoria. Devido a forte influencia da maré no nível de água do túnel, o acesso e vistoria ocorreram durante as horas cuja tábua de maré indicavam o máximo de vazante. A visita do dia 28/10/2020 foi acompanhada pelas profissionais representantes da contratante Bióloga Camille e Engenheira Civil Andressa, além do Engenheiro Supervisor na obra por parte da contratada Giulliano.

A sequência da vistoria foi seguir a jusante, até o ponto de ruptura maior que promoveu a obstrução do túnel, na marca 110m a partir do desemboque do túnel (lado do costão rochoso), onde foi possível desembarcar para caminhar sobre as rochas colapsadas, onde seguiu-se até a marca de 50m do desemboque, local onde apresentam-se rochas obstruindo o fluxo de água, contudo sem nenhuma evidência de colapso do teto do túnel. Em seguida, após embarcados novamente, seguiu-se até o emboque do túnel, junto a lagoa de Piratininga, local onde observou-se a área das comportas para interrupção do fluxo da lagoa para o túnel para melhorar as atividades de desmonte de rocha.

Durante o trajeto foi possível observar no túnel os três trechos onde foram identificados colapsos do teto do túnel (capelas), na marca 110m considerado de grande porte e responsável principal pela obstrução do túnel, trecho 240m com uma ruptura no teto com porte acentuadamente menor que o primeiro, e por fim trecho 470m com ruptura incipiente. Assim pode-se dizer que ocorrem 3 capelas no interior do túnel, sendo que uma obstruiu toda a seção do túnel, uma obstruiu parcialmente a lateral do túnel, e a incipiente não foi possível observar nenhuma obstrução ao fluxo de água.

A Capela de 110m, que apresenta controle estrutural marcado pela foliação (atitude N356/74°), no trecho a direção do túnel é N030-210, e o túnel singra obliquamente, a sul delimitado por corpo tabular concordante de um dique de rocha máfica, muito alterada, de atitude N005/80°, e a norte marcada por camada caulinitizada fruto de alteração de um veio pegmatítico concordante a foliação. A camada colapsada entre os corpos tabulares descritos (dique máfico e veio pegmatítico), toma a forma tabular com largura de até 3m, e até 10m de altura. Não ocorre nessa área a percolação evidente de água subterrânea, pela capela, contudo em episódios de chuva, infiltrasse água nessa região.

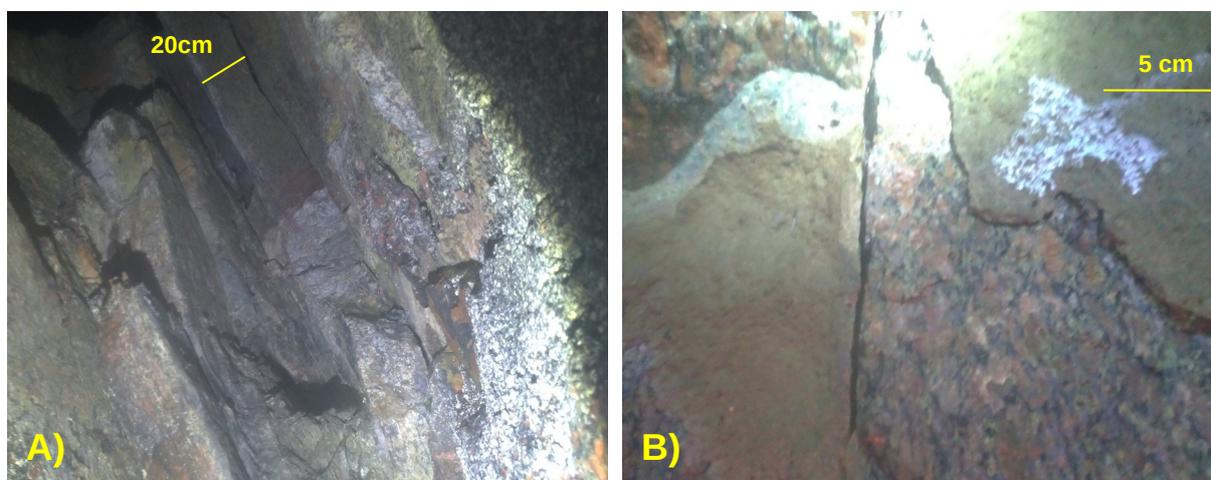


Figura 7.1-1. A) Visão da área de ruptura, no limite sul da capela marcada por dique de rocha máfica; B) Limite norte da capela, marcada por zona caulinitizada de intemperismo de veio pegmatítico.

Neste trecho do túnel, a avaliação geológica e geotécnica teve objetivo de se avaliar a qualidade da rocha, e evidências que indiquem riscos as atividades dentro do túnel. Nesse contexto, foram observadas 3 situações no trecho de 110m:

- A Primeiro se configura num pequeno deslocamento seguindo fraturas de alívio de pressão (**Figura 7.1-2-A**), encontra-se a apenas 1 metro de altura, na parede lateral oeste do túnel;
- B Segundo relacionado a um bloco de rocha, em formado tabular com geometria e dimensões aproximadamente em formato de uma coluna, cujas trincas e fendas o separam da parede leste do túnel, e que base está sob o material colapsado, este bloco aparentemente está em balanço (equilibrado sobre si mesmo), e assim apresenta possibilidade de se desprender, e assim acarreta riscos (**Figura 7.1-2-B**), para este bloco medidas devem ser tomadas, antes de se continuar a remoção dos detritos colados à parede leste do túnel;
- C E o terceiro ponto (**Figuras 7.1-2-C e D**), um bloco tabular concordante a foliação semivertical, que atravessa o túnel obliquamente, no lado sul da Capela. Apresenta aproximadamente 7,00 x 2,00 x 0,40 m, ou cerca de 14 toneladas, e área total (ao longo da foliação) de 14m², de maneira que o bloco demanda coesão mínima de 1ton/m², enquanto que as ocorrências comuns de coesão em rocha situam-se a partir de 0,25 MPa (25 ton/m²), mostrando que o bloco apresenta viabilidade de estar estável, contudo medidas devem ser tomadas, e a constante observação de que não ocorra surgência de água pela trinca no teto.



Figura 7.1-2. A) Deslocamento lateral; B) Bloco em coluna; C) Trincas no teto paralelo a foliação, que forma corpo tabular que se prende à parede da capela de 110m; C) Trincas mostrando bloco paralelo a foliação; e D) Vista da capela de 110m, apresentada no Anexo TP-04-20-an.

Para o trecho 240m, nessa vistoria foi observada uma capela de pequeno porte, em formato tabular, cujos limites são delineados pela foliação da rocha, com dimensão de cerca de 1,5m de largura, até 3m de altura, e 6 m de comprimento (direção da foliação). Novamente o túnel sofreu colapso relacionado a um dique de rocha máfica de espessura aproximada de 25cm, neste trecho pode-se observar presença de percolação de água, por meio de oxidação das paredes da foliação. No trecho ainda observa-se percolação de água subterrânea, tirantes e elementos de fixação, que embora tenha ocorrido um colapso, as dimensões foram reduzidas devido a presença desses elementos fixadores, o que corrobora que a progressão dessa capela seja dificultado pela presença dos elementos de fixação, e assim embora apresente riscos, nenhuma medida emergencial pode ser realizada, principalmente devido a área colapsou junto a parede leste do túnel.

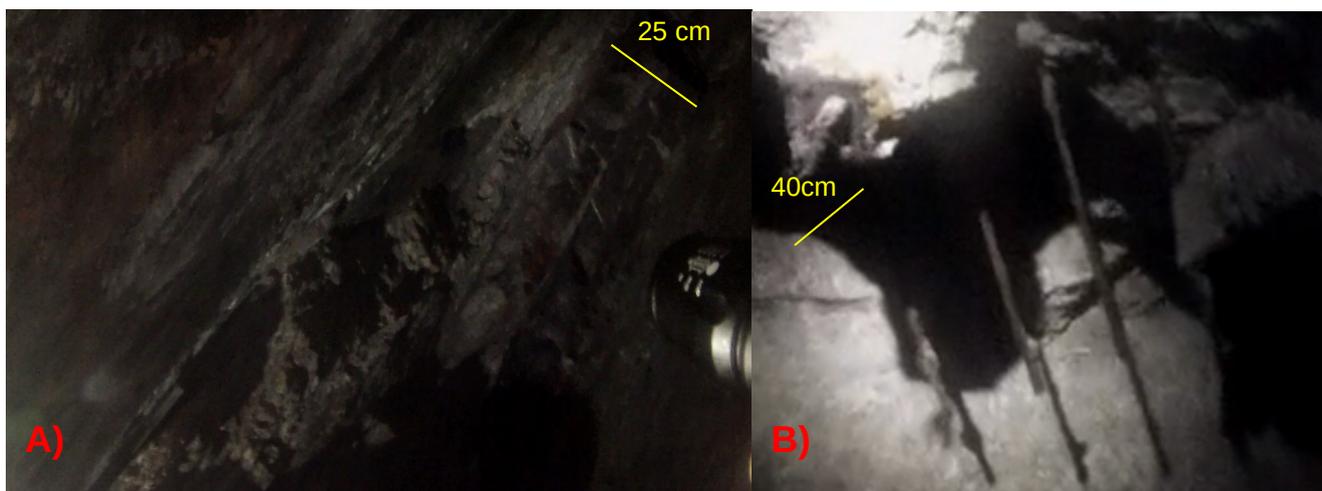


Figura 7.1-3. A) Colapso de teto, entre as foliações de rocha, em local que aflora dique de rocha máfica, mais suscetível ao intemperismo, na parede leste também apresenta caulinitização de veios pegmatíticos. **B)** Parte do trecho colapsado, tirantes e elementos de fixação, que embora tenha ocorrido um colapso, as dimensões foram reduzidos devido a presença desses elementos fixadores.

Por fim trecho 470m com ruptura incipiente, de largura inferior a 0,8 metros, altura de cerca de 1m, e o comprimento não atinge toda a extensão do túnel, ao longo da foliação, e assim apenas 3m, com evidências de deslocamento leve no restante da extensão da foliação ao longo do túnel. Novamente o controle do colapso foi pelas discontinuidades da rocha, destacando a foliação e estruturas paralelas, com a presença de veio de pegmatítico alterado, e percolação de água, nas proximidades (~1m) podem ser observados elementos de fixação por tirantes. Nenhuma medida emergencial precisa ser realizada.

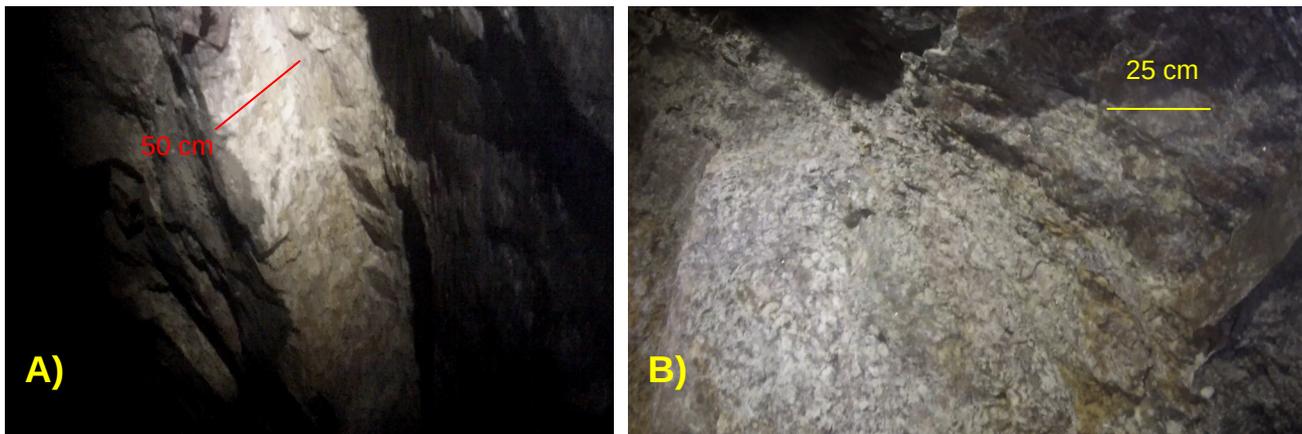


Figura 7.1-3. A) Colapso de teto, na direção da foliação de rocha, em veio pegmatítico caulinitizados. B) Detalhe do veio pegmatítico, mostrando os fenocristais de feldspatos intemperizados e caulinitados.

Por fim, ainda precisa ser destacado, que um trecho do respiro também apresenta colapso, relacionado a foliação da rocha, contudo devido altura e as condições de iluminação não foi possível observar em detalhe se ocorre dique de rocha máfica, mas nota-se a evidências de caulinitização, provavelmente relacionados a veios pegmatíticos. No trecho não foi observado trincas adicionais, e nem presença de elementos de fixação.

7.2 Classificação do maciço rochoso nas áreas com ruptura

A Classificação do maciço rochoso a partir da metodologia RMR (Bieniawski, 1989) descrita no item 5 deste relatório, está apresentada na **Tabela 7.2-1** a seguir, com os pontos e sua classificação para os trechos de interesse, sendo que para se comparar, as unidades Maciço Rochoso no costão e Dique máfico, foram descritos fora do túnel (item 6.2 deste relatório), e os trechos de colapso no túnel descritos no item 7.1.

Tabela 7.2-1. Somatória dos pontos para as unidades geotécnicas.

Classificação geomecânica de Bieniawski (1989) - "Rock Mass Rating - RMR"	Maciço Rochoso no costão próximo ao desemboque	Dique Máfico	110m	240m
Resistência da rocha intacta	15	4	7	12
R.Q.D. (*)	20	3	17	17
Espaçamento das descontinuidades	20	5	10	10
Condição das descontinuidades	20	10	10	20
Presença de água	15	15	0	7
Comprimento da descontinuidade (persistência)	0	6	0	0
Separação (abertura) da descontinuidade	4	1	4	1
Rugosidade da descontinuidade	3	3	3	3
Enchimento da descontinuidade	2	2	2	2
Grau de alteração da descontinuidade	1	1	1	1
Efeito da orientação das descontinuidades - RMR (1989)	-25	-25	-12	-10

Tabela 7.2-1. Somatória dos pontos para as unidades geotécnicas.

Classificação geomecânica de Bieniawski (1989) - "Rock Mass Rating - RMR"	Maciço Rochoso no costão próximo ao desemboque	Dique Máfico	110m	240m
Somatória dos pesos	75	25	42	63
Classe	Classe II	Classe IV	Classe III	Classe II
Descrição	Maciço rochoso bom	Maciço rochoso fraco	Maciço rochoso Razoável	Maciço rochoso bom
Tempo médio para aguentar sem suporte	1 ano para 10 m de vão	10 horas para 2,5 m de vão	1 semana para 5 m de vão	1 ano para 10 m de vão
Coesão da massa rochosa (kPa)	300-400 KPa	100-200	200-300	300-400 KPa
Ângulo de atrito da massa rochosa (°)	35-45 °	15-25	25-35	35-45

(*) - Estimado a partir de scanline nas paredes e afloramentos

Assim, os trechos colapsados do túnel, apresentam classe II e III, sendo que apenas o trecho 110m apresentou classe III, cuja descrição tempo médio para aguentar sem suporte é de 1 semana para 5 m de vão, o que mesmo sobre a descrito no item 7.1, destaca a necessidade de se realizar intervenções.

7.3 As built do traçado do túnel

Para as análises de direção do eixo do túnel, e sua correlação com o exterior do túnel, foram levantadas para cada marca de metragem dentro do túnel (espaçadas em 10m + a posição exata dos desvios bruscos), uma medida da direção a partir da bússola, de maneira que para uso neste estudo. O traçado foi reconstituído, e apresentado na **Figura 7.3-1** a seguir.



Figura 7.3-1. As built da reconstituição do traçado do eixo do túnel, a “passo e bússola”.

A Partir dessa aproximação pode se constatar que no trecho 110m, onde ocorreu a maior ruptura, mesmo com uma capela de 10m de altura, somado aos 5m de altura do túnel, ainda assim ao menos 30m de rocha ainda está sobre o trecho, de maneira que não deve ser esperado uma conexão com a superfície, em trecho de alto declive e de espessa cobertura vegetal.

7.4 Análise de estabilidade cinemática

Para as análises cinemáticas quando verifica-se a possibilidade de ocorrer movimentos, sem contudo analisar as resistências ao cisalhamento propriamente dito, utilizou-se do levantamento das descontinuidades do túnel, das famílias de foliação (350/87) que engloba todo o túnel continuamente, e ainda representa diques sintectônicos e veios pegmatíticos e juntas de cisalhamento de tectônica rúptil (62/70 e 258/56).

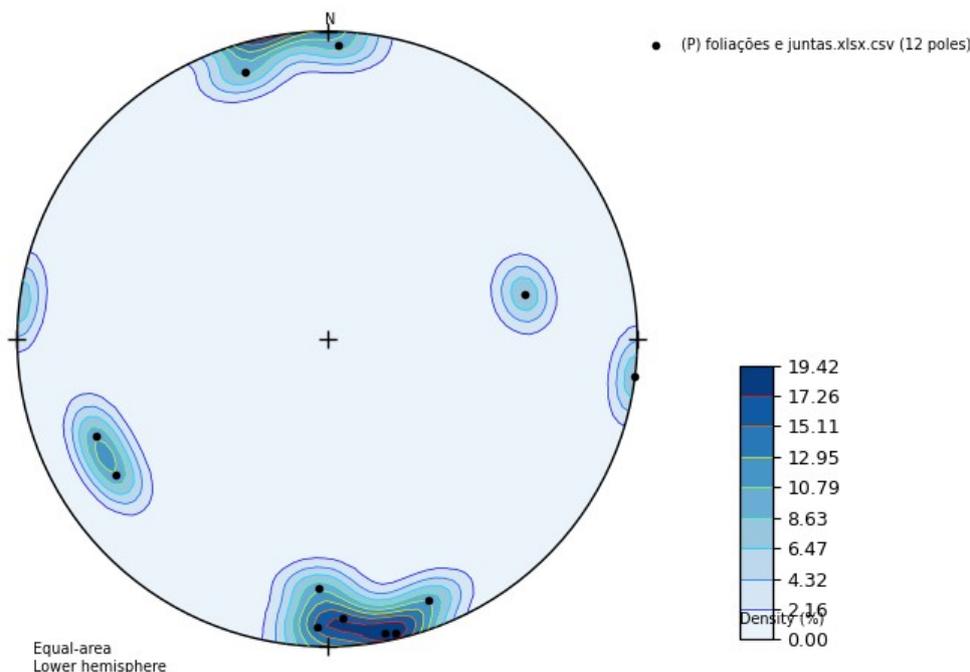


Figura 7.4-1. Estereograma das famílias de estruturas e descontinuidades do túnel.

Para a análise cinemática, optou-se por lançar as atitudes das paredes laterais do túnel, nas direções do eixo da **Figura 7.3-1** no seu azimute máximo e mínimo, e nas duas vertentes, assim representou-se as direções de parede segundo 127/89, 307/89, 104/89 e 287/89. Para cada vertente foi lançada as janelas de possibilidades totais (daylight), as descontinuidades observadas não apontam janela de possibilidade para rupturas planares, mas apresentam as possibilidades de formação de cunhas, baseada nos pólos de descontinuidades localizadas dentro do daylight, a **Figura 7.4-2** apresenta as descontinuidades e as paredes do túnel.

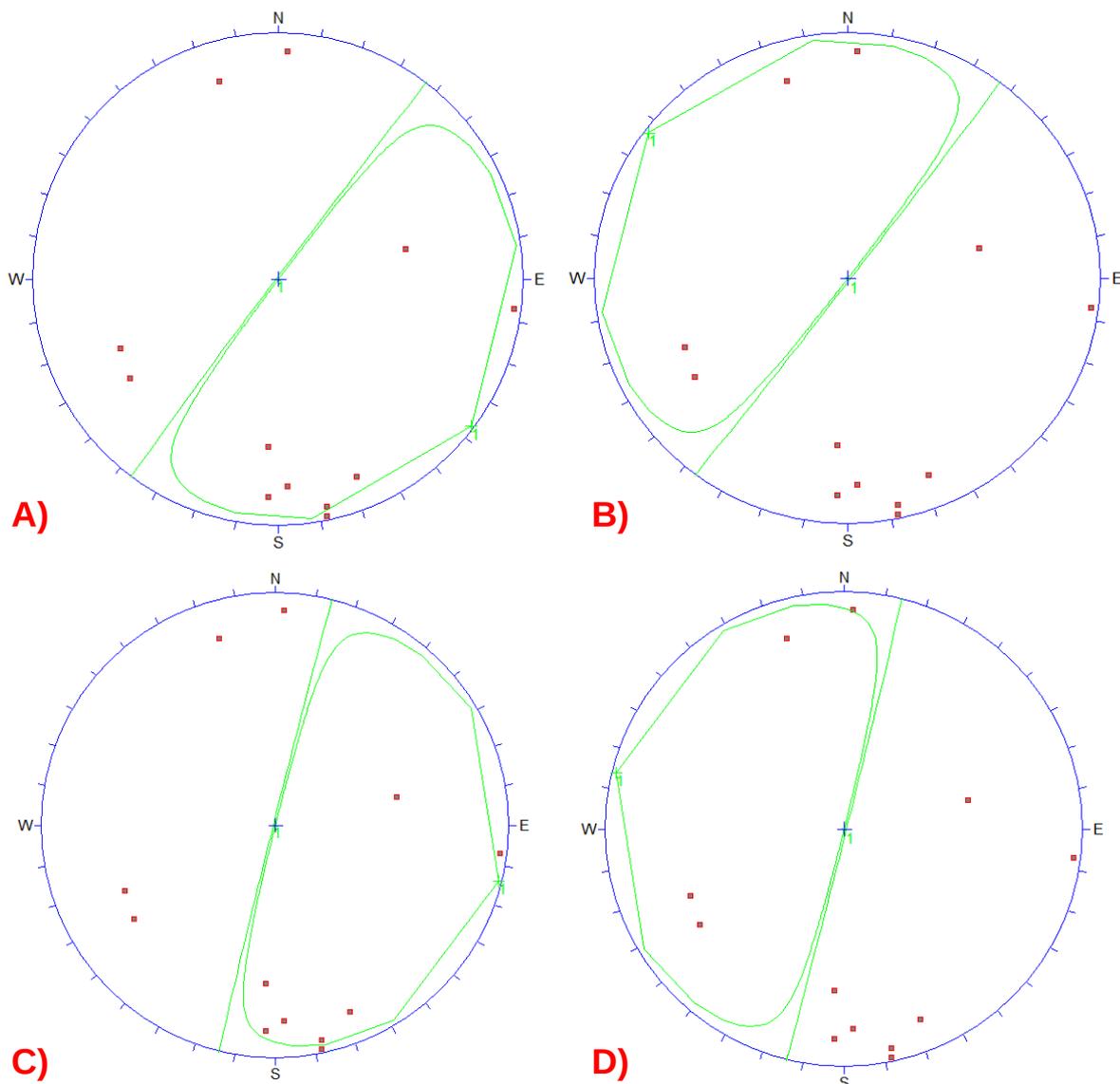


Figura 7.4-2. Estereograma das famílias de estruturas e descontinuidades e as janelas de opções de rupturas pelas descontinuidades. As direções de parede são: A) plano 127/89; B) 307/89; C) 104/89; e D) 284/89.

A partir da constatação de que as possibilidades de ruptura nas paredes ocorrem em cunhas, como verificado na **Figura 7.4-2**, decidiu-se analisar o mecanismo de ruptura, por meio do software UnWedge, com os eixos dos túneis segundo 127/89 e 104/89, e seção de túnel 5m de largura, 4,5m de altura e raio superior da abóboda de 2,5m. Os resultados estão apresentados nas **Figuras 7.4-3** e **7.4-4**. Nota-se que nas simulações a diferença dos eixos acabam não alterando as configurações das cunhas que podem ser formadas, contudo é importante destacar que o colapso de 110m, a simulação apresenta a causa plausível de formação de cunha, entre o dique metabásico, paralelo a foliação com as juntas observadas, e após iniciado as rupturas a progressão ocorreu até um veio pegmatítico caulinizado paralelo a foliação, que limitou o lado nordeste da capela.

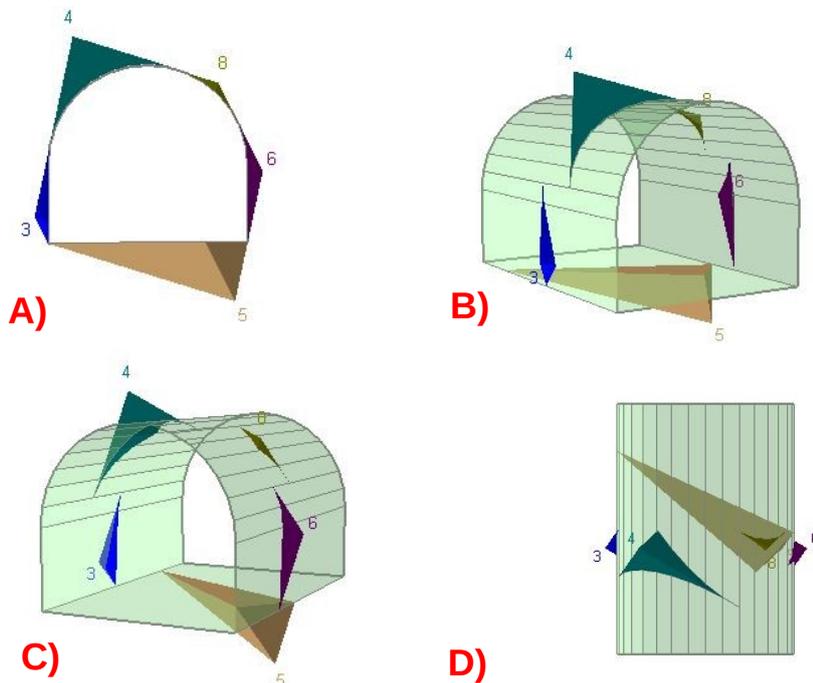


Figura 7.4-3. Eixo N127 - Saídas da simulação das cunhas de descontinuidades (foliação e juntas), para a seção do túnel. As visadas das saídas são: A) longitudinal ao eixo do túnel; B) Perspectivas vistas de nordeste; C) Perspectivas vistas de noroeste; D) Vista de cima, como planta.

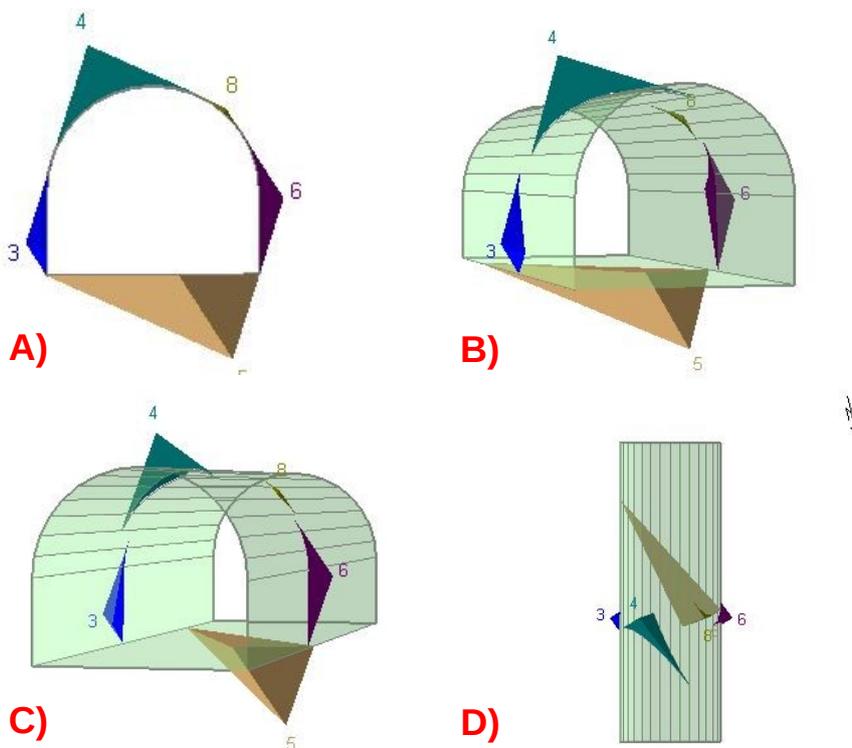


Figura 7.4-4. Eixo N104 - Saídas da simulação das cunhas de descontinuidades (foliação e juntas), para a seção do túnel. As visadas das saídas são: A) longitudinal ao eixo do túnel; B) Perspectivas vistas de nordeste; C) Perspectivas vistas de noroeste; D) Vista de cima, como planta.

8 RECOMENDAÇÕES E CONSIDERAÇÕES

A partir da vistoria e da avaliação geológica dos trechos mais destacados, com rupturas, apenas o trecho de 110m a partir do desemboque, requer intervenções para a continuidade das atividades, assim recomenda-se medidas de desmonte a frio dos blocos destacados no item 7.1 (itemizados A, B e C).

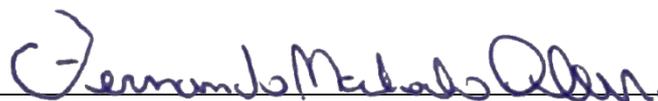
O Túnel apresentou na data de vistoria, aproximadamente 2 metros de espessura da coluna de água, e com isso os acessos dependem da tábua de maré, direção da corrente e ventos, que determina o angulo de entrada das ondas e da quantidade de material colapsado que impede o fluxo de água, no trecho 110m.

Uma vez que, o túnel não apresenta estruturas de contenção do tipo cambotas ou espessas camadas de concreto projetado sobre telas protendidas, o nível de água dentro do túnel estar apresentar 2m de altura não atrapalhou as vistorias, visto que não ocorrem elementos de fixação que exigem verificação em detalhe junto ao piso do túnel, como seria a verificação da sustentação de cambotas.

9 RESPONSABILIDADE TÉCNICA

Os trabalhos constantes deste relatório são de responsabilidade técnica do Geólogo Fernando M. Alves, M.Sc. (CREA 5062119280).

São Paulo, 5 de julho de 2021.



Geólogo MSc. Fernando Machado Alves

Responsável Técnico

CREA 5062119280



Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

CREA-RJ

**ART de Obra ou Serviço
2020210009986**

INICIAL

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio de Janeiro

1. Responsável Técnico

FERNANDO MACHADO ALVES

Título profissional:
GEOLOGO

RNP: **2606623274**

Registro: **2020106991**

Empresa contratada:
-

Registro: -

2. Dados do contrato

Contratante: **ECO BLASTING SERVIÇOS E COMERCIO LTDA**

CPF/CNPJ: **03259211000131**

RUA CENTRO AFRICANA

Complemento: -

Bairro: **SANTO AMARO**

Nº: **138**

Cidade: **SAO PAULO**

UF: **SP**

CEP: **04730050**

Contrato: -

Celebrado em: **14/08/2020**

Tipo de Contratante: **PESSOA JURIDICA DE DIREITO PRIVADO**

Valor do Contrato: **R\$ 74.000,00**

3. Dados da Obra/Serviço

RUA DOUTOR ALCY AMORIM DA CRUZ

Complemento: -

Bairro: **PRAIA DE PIRATI**

Nº: **S/N**

Cidade: **RIO DE JANEIRO**

UF: **RJ**

CEP: **24358-09**

Data de Início: **14/08/2020**

Previsão de término: **14/03/2021**

Finalidade: **AMBIENTAL**

Proprietário: **PREFEITURA MUNICIPAL DE NITEROI**

CPF/CNPJ: **28521748000159**

4. Atividade técnica

5 AVALIACAO
24 ESTUDO
14 CONTENCAO
24 ESTABILIZACAO
34 INSPECAO
140 ROCHA
158 SOLO

Quantidade	Unidade	Pavimento
1.000,00	m	-

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

OBRA DE LIMPEZA E DESOBSTRUÇÃO DO TÚNEL DO TIBAU, O SERVIÇO CORRESPONDE A AVALIAÇÃO GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DA ESTABILIDADE DO TÚNEL INICIALMENTE, E DEPOIS ESTUDOS GEOTÉCNICOS DE PROPOSIÇÃO DE ALTERNATIVAS DE OBRAS DE ESTABILIZAÇÃO E CONTENÇÃO COM QUANTITATIVO, QUE PERMITA FUTURA CONTRATAÇÃO DE PROJETO BÁSICO/EXECUTIVO E EXECUÇÃO DE OBRAS

6. Declarações

Acessibilidade: Declara a aplicabilidade das regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas da ABNT, na legislação específica e no Decreto nº 5.296, de 2 de dezembro de 2004, às atividades profissionais acima relacionadas.

7. Entidade de classe

APG-RJ - ASSOCIACAO DOS PROFISSIONAIS GEOLOGOS DO EST DO RIO DE JANEIRO

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

_____, ____ de _____ de _____

FERNANDO MACHADO ALVES - 21270500880

ECO BLASTING SERVIÇOS E COMERCIO LTDA - 03259211000131

9. Informações

- A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea-RJ: www.crea-rj.org.br/servicos/autenticidade
- A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-rj.org.br/servicos/autenticidade.

- A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.

www.crea-rj.org.br
Tel: (21) 2179-2007

atendimento@crea-rj.org.br
Rua Buenos Aires, 40 - Rio de Janeiro - RJ





Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

CREA-RJ

**ART de Obra ou Serviço
2020210009986**

INICIAL

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio de Janeiro

1. Responsável Técnico

FERNANDO MACHADO ALVES

Título profissional:
GEOLOGO

RNP: **2606623274**

Registro: **2020106991**

Empresa contratada:
-

Registro: -

2. Dados do contrato

Contratante: **ECO BLASTING SERVIÇOS E COMERCIO LTDA**

CPF/CNPJ: **03259211000131**

RUA CENTRO AFRICANA

Complemento: -

Bairro: **SANTO AMARO**

Nº: **138**

Cidade: **SAO PAULO**

UF: **SP**

CEP: **04730050**

Contrato: -

Celebrado em: **14/08/2020**

Tipo de Contratante: **PESSOA JURIDICA DE DIREITO PRIVADO**

Valor do Contrato: **R\$ 74.000,00**

3. Dados da Obra/Serviço

RUA DOUTOR ALCY AMORIM DA CRUZ

Complemento: -

Bairro: **PRAIA DE PIRATI**

Nº: **S/N**

Cidade: **RIO DE JANEIRO**

UF: **RJ**

CEP: **24358-09**

Data de Início: **14/08/2020**

Previsão de término: **14/03/2021**

Finalidade: **AMBIENTAL**

Proprietário: **PREFEITURA MUNICIPAL DE NITEROI**

CPF/CNPJ: **28521748000159**

4. Atividade técnica

5 AVALIACAO
24 ESTUDO
14 CONTENCAO
24 ESTABILIZACAO
34 INSPECAO
140 ROCHA
158 SOLO

Quantidade	Unidade	Pavimento
1.000,00	m	-

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

OBRA DE LIMPEZA E DESOBSTRUÇÃO DO TÚNEL DO TIBAU, O SERVIÇO CORRESPONDE A AVALIAÇÃO GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DA ESTABILIDADE DO TÚNEL INICIALMENTE, E DEPOIS ESTUDOS GEOTÉCNICOS DE PROPOSIÇÃO DE ALTERNATIVAS DE OBRAS DE ESTABILIZAÇÃO E CONTENÇÃO COM QUANTITATIVO, QUE PERMITA FUTURA CONTRATAÇÃO DE PROJETO BÁSICO/EXECUTIVO E EXECUÇÃO DE OBRAS

6. Declarações

Acessibilidade: Declara a aplicabilidade das regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas da ABNT, na legislação específica e no Decreto nº 5.296, de 2 de dezembro de 2004, às atividades profissionais acima relacionadas.

7. Entidade de classe

APG-RJ - ASSOCIACAO DOS PROFISSIONAIS GEOLOGOS DO EST DO RIO DE JANEIRO

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

_____, de _____ de _____

FERNANDO MACHADO ALVES - 21270500880

ECO BLASTING SERVIÇOS E COMERCIO LTDA - 03259211000131

9. Informações

- A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea-RJ: www.crea-rj.org.br/servicos/autenticidade
- A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-rj.org.br/servicos/autenticidade.

- A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.

www.crea-rj.org.br
Tel: (21) 2179-2007

atendimento@crea-rj.org.br
Rua Buenos Aires, 40 - Rio de Janeiro - RJ

