

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL - MDR  
Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco  
e do Parnaíba - CODEVASF

## **PROJETO EXECUTIVO DO CANAL DE XINGÓ FASE I - LOTE I**

### **RELATÓRIO FINAL DO PROJETO EXECUTIVO TÚNEL VILA MATIAS**

#### **Memorial Descritivo e Memória de Cálculo Volume 1 - Tomo III**

5001-REF-2001-00-03-001-R00  
Setembro - 2021

Consórcio



**TECHNE**  
ENGENHEIROS CONSULTORES



**ENGECONSULT**  
Consultores Técnicos Ltda.



MINISTÉRIO DO  
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



**MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL – MDR**  
**Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco**  
**e do Parnaíba – CODEVASF**

**Projeto Executivo do Canal de Xingó**  
**Fase I - Lote I**

***RELATÓRIO FINAL DO PROJETO EXECUTIVO***  
***TÚNEL VILA MATIAS***

***Memorial Descritivo***  
***Volume 1***  
***Tomo III – Parte 1***

5001-REF-2001-00-03-001-R00  
Setembro - 2021



**TECHNE**  
ENGENHEIROS CONSULTORES



**ENGECONSULT**  
Consultoria Técnica Ltda.

MINISTÉRIO DO  
DESENVOLVIMENTO REGIONALProjeto Executivo do  
Canal de Xingó, Fase I,  
Lote I**C755 Consórcio Techne/Engeconsult**

Projeto Executivo Do Canal Xingó, Fase I, Lote I, a ser  
Implantado nos Estados da Bahia e de Sergipe.

Projeto Executivo - Fase 1 - Lote 1 – Túnel Vila Matias –  
Memorial Descritivo – Volume 1 – Tomo III. Recife, 2021.  
133 f.

Cliente: Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São  
Francisco e do Parnaíba – CODEVASF. SGAN 601, Conj. I. Ed. Dep.  
Manoel Novaes, CEP: 70830-019, Brasília – DF / Brasil.







Consultora: Consórcio Techne/Engeconsult. Rua Ernesto de  
Paula Santos, nº 1.368, Sala 904, Boa Viagem, CEP 51.021-330,  
Recife – PE / Brasil. Rua Almirante Noronha de Carvalho, nº 45,  
Rosarinho, CEP: 52041-345, Recife - PE / Brasil.

<b>RELATÓRIO FINAL DO PROJETO EXECUTIVO</b> <b>Túnel Vila Matias</b> <b>Memorial de Descritivo e Memoria de Cálculo</b> <b>Volume 1 - Tomo III</b>																														<b>Número</b>  <b>5001-REF-2001-00-03-001</b>										<b>Folha</b>  <b>1/1</b>	
Esta folha índice indica em que revisão está cada folha na emissão citada																																									
Fl/Rev	0	1	2	3	4	5	6	Fl/Rev	0	1	2	3	4	5	6	Fl/Rev	0	1	2	3	4	5	6	7	Fl/Rev	0	1	2	3	4	5	6									
1								36								71								106																	
2								37								72								107																	
3								38								73								108																	
4								39								74								109																	
5								40								75								110																	
6								41								76								111																	
7								42								77								112																	
8								43								78								113																	
9								44								79								114																	
10								45								80								115																	
11								46								81								116																	
12								47								82								117																	
13								48								83								118																	
14								49								84								119																	
15								50								85								120																	
16								51								86								121																	
17								52								87								122																	
18								53								88								123																	
19								54								89								124																	
20								55								90								125																	
21								56								91								126																	
22								57								92								127																	
23								58								93								128																	
24								59								94								129																	
25								60								95								130																	
26								61								96								131																	
27								62								97								132																	
28								63								98								133																	
29								64								99								134																	
30								65								100								135																	
31								66								101								136																	
32								67								102								137																	
33								68								103								138																	
34								69								104								139																	
35								70								105								140																	

00	30/09/2021	Pedro Pino Véliz	B	ACU	Emissão Inicial
----	------------	------------------	---	-----	-----------------

Rev.	Data	Por	Em.	Apr.
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;"> <b>ELABORADO:</b>    <b>ENG. CIVIL : Pedro Pino Véliz</b>  <b>RNP 2201189030</b> </div> <div style="width: 30%;"> <b>VERIFICADO:</b>    <b>ENG. CIVIL : Angela C. Ullmann</b>  <b>CREA: 82-1-01611-4/D-RJ</b> </div> <div style="width: 30%;"> <b>APROVADO:</b>    <b>ENG. CIVIL : Antônio C. A. Vidon</b>  <b>CREA: 2724/D-DF</b> </div> <div style="width: 15%; text-align: center;">       <b>MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL – MDR</b>  <b>Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba – CODEVASF</b> </div> </div>				

TIPO DE EMISSÃO		
(A) Preliminar	(E) Para Construção	(I) de Trabalho
(B) Para Aprovação	(F) Conforme Comprado	( )
(C) Para Conhecimento	(G) Conforme Construído	( )
(D) Para Cotação	(H) Cancelado	( )



# SUMÁRIO

## VOLUME 1

TOMO I	RELATÓRIO DO PROJETO
TOMO II	CAPTAÇÃO – ENSECADEIRA E CANAL DE APROXIMAÇÃO <ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Memorial Descritivo e Memória de Cálculo</i></li></ul>
TOMO III	TÚNEL VILA MATIAS <ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Memorial Descritivo e Memória de Cálculo</i></li></ul>
TOMO IV	ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS
TOMO V	QUANTITATIVOS E ORÇAMENTO <ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Memorial Descritivo e Memória de Cálculo</i></li></ul>
TOMO VI	PEÇAS GRÁFICAS

# ÍNDICE

## 1 Índice da Parte 1

<b>A. Apresentação .....</b>	<b>11</b>
<b>A. APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>12</b>
A.1 CRITÉRIOS ADOTADOS E DOCUMENTOS BASE .....	12
A.2 ESTRUTURAÇÃO DO RELATÓRIO .....	12
A.3 EQUIPE TÉCNICA .....	12
A.3.1 GEOLOGIA E GEOTECNIA .....	13
A.3.2 TÚNEL VILA MATIAS .....	13
A.3.3 QUANTITATIVOS, ORÇAMENTO E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS .....	13
A.3.4 EQUIPE DE APOIO .....	13
A.3.5 TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO .....	13
<b>1. O Empreendimento .....</b>	<b>14</b>
<b>1 O EMPREENDIMENTO .....</b>	<b>15</b>
<b>2. Localização e Vias de Acesso .....</b>	<b>21</b>
<b>2 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO .....</b>	<b>22</b>
<b>3. Características Hidrogeológicas e Geológicas .....</b>	<b>24</b>
<b>3 CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS E GEOLÓGICAS .....</b>	<b>25</b>
3.1 CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS .....	25
3.2 GEOLOGIA DA ÁREA .....	26
<b>4. Túnel Vila Matias .....</b>	<b>31</b>
<b>4 TÚNEL VILA MATIAS .....</b>	<b>32</b>
4.1 EMBOQUE – ESCAVAÇÃO A CÉU ABERTO .....	34
4.2 DESEMBOQUE – ESCAVAÇÃO A CÉU ABERTO .....	35
4.3 ESCAVAÇÃO SUBTERRÂNEA - METODOLOGIA EXECUTIVA .....	37
4.4 ANÁLISE DAS INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICAS-GEOTÉCNICAS .....	39
4.5 CLASSIFICAÇÃO DO TIPO DE MACIÇO E RESPECTIVOS TRATAMENTOS .....	40
4.6 INSTRUMENTAÇÃO E MONITORAMENTO DAS ESCAVAÇÕES .....	47
4.7 FICHA TÉCNICA .....	48
<b>5. Mapa de Cubação .....</b>	<b>49</b>
<b>5 MAPA DE CUBAÇÃO .....</b>	<b>50</b>

## 2 Índice da Parte 2

<b>A. Apresentação .....</b>	<b>47</b>
<b>A. APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>48</b>
A.4 CRITÉRIOS ADOTADOS E DOCUMENTOS BASE .....	48
A.5 ESTRUTURAÇÃO DO RELATÓRIO .....	48
A.6 EQUIPE TÉCNICA .....	48
A.6.1 GEOLOGIA E GEOTECNIA .....	49
A.6.2 TÚNEL VILA MATIAS .....	49
A.6.3 QUANTITATIVOS, ORÇAMENTO E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS .....	49
A.6.4 EQUIPE DE APOIO .....	49
A.6.5 TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO .....	49
<b>1. Túnel Vila Matias .....</b>	<b>50</b>
<b>1 TÚNEL VILA MATIAS .....</b>	<b>51</b>
1.1 DESCRIÇÃO .....	51
<b>2. Caracterização Geológico-Geotécnica .....</b>	<b>52</b>
<b>2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA .....</b>	<b>53</b>
2.1 GERAL .....	53
2.2 EMBOQUE .....	61
2.3 DESEMBOQUE .....	62
<b>3. DIMENSIONAMENTO .....</b>	<b>63</b>
<b>3 DIMENSIONAMENTO .....</b>	<b>64</b>
3.1 RMR INDEX - DESCRIÇÃO .....	64
3.2 DIMENSIONAMENTO DO TRATAMENTO .....	66
3.2.1 ESTACA 0+298 ATÉ 0+498,80 M .....	66
3.2.2 ESTACA 0+498,80 A 0+699,80 M .....	69
3.2.3 ESTACA 0+699,80 A 0+773,00 M .....	72
3.2.4 ESTACA 0+773,00 A 0+923,30 M .....	75
3.2.5 ESTACA 0+923,30 A 1+027,50 M .....	78
3.2.6 ESTACA 1+027,50 ATÉ 1+249,90 M .....	81
3.2.7 ESTACA 1+249,90 A 1+399,80 M .....	84
3.2.8 ESTACA 1+399,80 A 1+473,80 M .....	87
3.2.9 ESTACA 1+473,80 A 2+050,00 M .....	90
3.2.10 ESTACA 2+050,00 ATÉ 2+150,00 M .....	93
3.2.11 ESTACAS 0+200,00M ATÉ 0+298,80M E 2+150,00 ATÉ 2+600,00 M .....	96
<b>4. Análise do Estado de Tensões .....</b>	<b>99</b>
<b>4 ANÁLISE DO ESTADO DE TENSÕES .....</b>	<b>100</b>
4.1 MODELAMENTO .....	100
4.1.1 ESTACA 0+298,80 ATÉ 0+498,80 M - MACIÇO CLASSE IV .....	101
4.1.2 ESTACA 0+498,80 ATÉ 0+699,80 M - MACIÇO CLASSE II .....	102
4.1.3 ESTACA 0+699,80 ATÉ 0+773,00 M - MACIÇO CLASSE III .....	104



MINISTÉRIO DO  
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



Projeto Executivo do  
Canal de Xingó, Fase I, Lote I

4.1.4	ESTACA 0+773,00 A 0+923,30 M - MACIÇO CLASSE II .....	105
4.1.5	ESTACA 0+923,30 A 1+027,50 M - MACIÇO CLASSE III .....	107
4.1.6	ESTACA 1+027,50 A 1+249,90 M - MACIÇO CLASSE IV .....	108
4.1.7	ESTACA 1+249,90 A 1+399,80 M - MACIÇO CLASSE III .....	110
4.1.8	ESTACA 1+399,80 A 1+473,80 M - MACIÇO CLASSE III .....	112
4.1.9	ESTACA 1+473,80 A 2+050,00 M - MACIÇO CLASSE II .....	113
4.1.10	ESTACA 2+050,00 A 2+150,00 M - MACIÇO CLASSE IV .....	115
4.1.11	ESTACAS 0+200,0 ATÉ 0+298,80 M E 2+150,00 A 2+600,00 M - MACIÇO CLASSE V .....	117
4.2	INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS .....	119
4.3	CONCLUSÕES .....	119

## LISTA DE FIGURAS

### PARTE 1

<b>Figura 1.1: Municípios Cortados Pelo Canal de Xingó – Fase I e Fases II a IV .....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 1.2: Municípios Onde Será Implantado o Canal do Xingó – Fase 1 .....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 1.3: Planta do Desenvolvimento do Canal de Xingó com Ênfase na Fase 1 – Lote I .....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 1.4: Infraestrutura do Lote I, com Detalhe na Disposição das Estruturas .....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 2.1: Acessos à Área do Projeto .....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 3.1: Domínios Hidrogeológicos com Destaque para a Delimitação dos Limites dos Aquíferos .....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 3.2: Mapa da Geologia Regional do Município de Paulo Afonso (BA), com Detalhe para a Divisão das Unidades Litoestratigráficas .....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 4.1: Seção em Arco Retângulo do Túnel Vila Matias .....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 4.2: Planta de Situação do Túnel Vila Matias.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 4.3: Detalhe da Geometria de Escavação do Emboque do Túnel Vila Matias.....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 4.4: Seção Tipo dos Tratamentos Previstos no Emboque do Túnel Vila Matias. ....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 4.5: Detalhe da Geometria de Escavação do Desemboque do Túnel Vila Matias .....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 4.6: Seção Tipo dos Tratamentos Previstos no Emboque do Túnel Vila Matias. ....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 4.7: Seção Tipo da Cambota Treliçada.....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 4.8: Imagem Ilustrativa de Escavação Subterrânea Executada pelo Método NATM.....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 4.9: Sondagens SM-1, SM-CET-001 e SM-CET-002 e Classe de Maciço .....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 4.10: Sondagem SM-4 e Classe de Maciço .....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 4.11: Sondagem SM-5 e Classe de Maciço .....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 4.12: Sondagem SM-8 e Classe de Maciço .....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 4.13: Sondagens SM-CET-004, SM-CET-003, SM-8A e Classe de Maciço .....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 4.14: Seção para Escavação e Tratamento de Túnel em Rocha Classe V .....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 4.15: Seção Para Escavação e Tratamento de Túnel em Rocha Classe IV .....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 4.16: Seção para Escavação e Tratamento de Túnel em Rocha Classe III .....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 4.17: Seção para Escavação e Tratamento de Túnel em Rocha Classe II.....</b>	<b>44</b>



## LISTA DE FIGURAS

### PARTE 2

Figura 2.1: Sondagens SM-01, SM-CET-001, SM-CE-002. ....	54
Figura 2.2: Geometria da Seção do Emboque em Classe V. ....	55
Figura 2.3: Tensões na Seção do Emboque em Classe V. ....	55
Figura 2.4: Geometria da Seção do Emboque em Classe IV. ....	56
Figura 2.5 – Tensões na seção do Emboque em classe IV. ....	56
Figura 2.4: Geometria da Seção em Classe III. ....	57
Figura 2.5: Tensões em seção de classe III. ....	57
Figura 2.6: Sondagem SM-04 entre Estacas 1+000 e 1+250m. ....	58
Figura 2.7: Sondagem SM-05 entre Estacas 1+000 e 1+250m. ....	58
Figura 2.8 – Geometria da Seção em Classe III. ....	59
Figura 2.9 – Tensões em Seção de Classe III. ....	59
Figura 2.10: Sondagem SM-06 entre Estacas 2+150 e 2+250m. ....	60
Figura 2.11: Sondagens SM-CET-004, SM-003, SM-8A. ....	60
Figura 2.12: Emboque - Planta. ....	61
Figura 2.13: Desemboque - Planta. ....	62
Figura 3.1: Tratamento Estaca 0+298,80 até 0+498,80 RMR=37=Classe IV. ....	68
Figura 3.2: Tratamento Estaca 0+498,80 até 0+699,80 RMR=65=Classe II. ....	71
Figura 3.3: Tratamento Estaca 0+699,80 até 0+773,00 RMR=42=Classe III. ....	74
Figura 3.4: Tratamento Estaca 0+773,00 até 0+923,30 RMR=65=Classe II. ....	77
Figura 3.5: Tratamento Estaca 0+923,30 até 1+027,50 RMR=42=Classe III. ....	80
Figura 3.6: Tratamento Estaca 1+027,50 até 1+249,90 RMR=37=Classe IV. ....	83
Figura 3.7: Tratamento Estaca 1+249,90 a 1+399,80 RMR=42=Classe III. ....	86
Figura 3.8: Tratamento Estaca 1+399,80 a 1+473,80 RMR=42=Classe III. ....	89
Figura 3.9: Tratamento Estaca 1+473,80 a 2+050,00 RMR=65=Classe II. ....	92
Figura 3.10: Tratamento Estaca 2+050,00 até 2+150 RMR=37=Classe IV. ....	95
Figura 3.11: Tratamento Estacas 0+200,00m até 0+298,80m 2+150,00 até 2+600,00 RMR=18=Classe V. ....	98
Figura 4.1: Sigma 1 – Estaca 0+200 até 0+498,80 m. ....	101
Figura 4.2: Deslocamento Horizontal – Estaca 0+200 até 0+498,80 m. ....	101
Figura 4.3: Deslocamento Vertical – Estaca 0+200 até 0+498,80 m. ....	102
Figura 4.4: Sigma 1 – Estaca 0+498,80 até 0+699,80 m. ....	102
Figura 4.5: Sigma 3 – Estaca 0+498,80 até 0+699,80 m. ....	103
Figura 4.6: Strength Factor – Estaca 0+498,80 até 0+699,80 m. ....	103
Figura 4.7: Sigma 1 – Estaca 0+699,80 até 0+773,00 m. ....	104
Figura 4.8: Deslocamento Horizontal – Estaca 0+699,80 até 0+773,00 m. ....	104
Figura 4.8A: Strength Factor – Estaca 0+699,80 até 0+773,00 m. ....	105
Figura 4.9: Sigma 1 – Estaca 0+773,00 a 0+923,30 m. ....	105
Figura 4.10: Sigma 3 – Estaca 0+773,00 a 0+923,30 m. ....	106
Figura 4.11: Strength Factor – Estaca 0+773,00 a 0+923,30 m. ....	106
Figura 4.12: Sigma 1 – Estaca 0+923,30 a 1+027,50 m. ....	107
Figura 4.13: Sigma 3 – Estaca 0+923,30 a 1+027,50 m. ....	107
Figura 4.14: Strength Factor – Estaca 0+923,30 a 1+027,50 m. ....	108

Figura 4.15: Sigma 1 – Estaca 1+027,50 a 1+249,90 m. ....	108
Figura 4.16: Horizontal Displacement – Estaca 1+027,50 a 1+249,90 m. ....	109
Figura 4.17: Vertical Displacement – Estaca 1+027,50 a 1+249,90 m. ....	109
Figura 4.18: Strength Factor – Estaca 1+027,50 a 1+249,90 m. ....	110
Figura 4.19: Sigma 1 – Estaca 1+249,90 a 1+399,80 m. ....	110
Figura 4.20: Sigma 3 – Estaca 1+249,90 a 1+399,80 m. ....	111
Figura 4.21: Strength Factor – Estaca 1+249,90 a 1+399,80 m. ....	111
Figura 4.22: Sigma 1 – Estaca 1+399,80 a 1+473,80 m. ....	112
Figura 4.23: Sigma 3 – Estaca 1+399,80 a 1+473,80 m. ....	112
Figura 4.24: Strength Factor – Estaca 1+399,80 a 1+473,80 m. ....	113
Figura 4.25: Sigma 1 – Estaca 1+473,80 a 2+050,00 m. ....	113
Figura 4.26: Sigma 3 – Estaca 1+473,80 a 2+050,00 m. ....	114
Figura 4.27: Strength Factor – Estaca 1+473,80 a 2+050,00 m. ....	114
Figura 4.28: Sigma 1 – Estaca 2+050,00 a 2+150,00 m. ....	115
Figura 4.29: Horizontal Displacement – Estaca 2+050,00 a 2+150,00 m. ....	115
Figura 4.30: Vertical Displacement – Estaca 2+050,00 a 2+150,00 m. ....	116
Figura 4.31: Strength Factor – Estaca 2+050,00 a 2+150,00 m. ....	116
Figura 4.32: Sigma 1 – Estaca 2+150,00 a 2+600,00 m. ....	117
Figura 4.33: Sigma Z – Estaca 2+150,00 a 2+600,00 m. ....	117
Figura 4.34: Horizontal Displacement – Estaca 2+150,00 a 2+600,00 m. ....	118
Figura 4.35: Vertical Displacement – Estaca 2+150,00 a 2+600,00 m. ....	118
Figura 4.36: Strength Factor – Estaca 2+150,00 a 2+600,00 m. ....	119

## LISTA DE TABELAS

### PARTE 1

<b>Tabela 3.1: Sondagens Mistas do Túnel Vila Matias.....</b>	<b>30</b>
<b>Tabela 4.1: Resumo dos Principais Tratamentos do Túnel de Acordo com a Classe de Maciço</b>	<b>45</b>
<b>Tabela 4.2: Compartimentação Geomecânica do Túnel.....</b>	<b>45</b>
<b>Tabela 4.3: Ficha Técnica do Túnel Vila Matias .....</b>	<b>48</b>

## LISTA DE TABELAS

## PARTE 2

Tabela 2.1 – Compartimentação Geomecânica do Túnel.....	54
Tabela 3.1 – Classificação Geomecânica - "Rock Mass Rating - RMR". .....	65
Tabela 2.2: Tratamento Estaca 0+298,80 até 0+498,80 RMR=37=Classe IV.....	66
Tabela 3.3: Estaca 0+298,80 até 0+498,80 (Cambotas + Concreto Projetado). .....	67
Tabela 3.4: Tratamento Estaca 0+498,80 até 0+699,80 RMR=65=Classe II. ....	69
Tabela 3.4A: Tratamento Estaca 0+498,80 até 0+699,80 RMR=65=Classe II (Tirantes e Concreto Projetado).....	70
Tabela 3.5: Tratamento Estaca 0+699,80 até 0+773,00 RMR=42=Classe III. ....	72
Tabela 3.6: Tratamento Estaca 0+699,80 até 0+773,00 RMR=42=Classe III (Tirantes e Concreto Projetado).....	73
Tabela 3.7: Tratamento Estaca 0+773,00 até 0+923,30 RMR=65=Classe II. ....	75
Tabela 3.8: Tratamento Estaca 0+773,00 até 0+923,30 RMR=65=Classe II (Tirantes e Concreto Projetado).....	76
Tabela 3.9: Tratamento Estaca 0+923,30 a 1+027,50 RMR=42=Classe III .....	78
Tabela 3.10: Tratamento Estaca 0+923,30 a 1+027,50 RMR=42=Classe III (Tirantes e Concreto Projetado).....	79
Tabela 3.11: Tratamento Estaca 1+027,50 até 1+249,90 RMR=37=Classe IV.....	81
Tabela 3.12: Estaca 1+027,50 até 1+249,90 (Cambotas + Concreto Projetado) .....	82
Tabela 3.13: Tratamento Estaca 1+249,90 a 1+399,80 RMR=42=Classe III. ....	84
Tabela 3.14: continuação –Tratamento Estaca 1+249,90 a 1+399,80 (Tirantes e Concreto Projetado).....	85
Tabela 3.15: Tratamento Estaca 1+399,80 a 1+473,80 RMR=42=Classe III. ....	87
Tabela 3.16: Tratamento Estaca 1+399,80 a 1+473,80 (Tirantes e Concreto Projetado) .....	88
Tabela 3.17: Tratamento Estaca 1+473,80 a 2+050,00 RMR=65=Classe II. ....	90
Tabela 3.18: Tratamento Estaca 1+473,80 a 2+050,00 (Tirantes e Concreto Projetado) .....	91
Tabela 3.19: Tratamento Estaca 2+050,00 até 2+150 RMR=37=Classe IV.....	93
Tabela 3.20: Estaca 2+050,00 até 2+150 (Cambotas + Concreto Projetado) .....	94
Tabela 3.21: Tratamento Estacas 0+200,00m até 0+298,80m 2+150,00 até 2+600,00 RMR=18=Classe V .....	96
Tabela 3.22: Estacas 0+200,00m até 0+298,80m 2+150,00 até 2+600,00 (Cambotas + Concreto Projetado).....	97



MINISTÉRIO DO  
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



Projeto Executivo do  
Canal de Xingó, Fase I, Lote I

## A. APRESENTAÇÃO



## A. APRESENTAÇÃO

No presente documento o Consórcio TECHNE/ENGECONSULT apresenta a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba - CODEVASF o **Relatório do Túnel Vila Matias - Memorial Descritivo e Memória de Cálculo**.

O referido relatório é parte integrante da documentação referente ao Contrato Administrativo 0.169.00/2020 firmado entre a CODEVASF e o Consórcio TECHNE/ENGECONSULT que tem como objeto os Serviços de Elaboração do Projeto Executivo do Canal de Xingó, Fase I, Lote I, a Ser Implantado nos Estados da Bahia e de Sergipe.

### A.1 CRITÉRIOS ADOTADOS E DOCUMENTOS BASE

A estrutura foco deste relatório foram detalhadas conforme concebidas no Projeto Básico e adequadas, quando necessário, objetivando o aproveitamento dos materiais de construção provenientes das escavações obrigatórias e os disponíveis na área onde será implantado o sistema adutor.

Os critérios e parâmetros adotados foram os consubstanciados nos documentos **5001-REL-2020-04-02-001-R04 - Relatório de Análise Crítica do Projeto Básico - Geologia e Geotecnia** e **5001-REL-2001-00-00-002-R01 - Análise Crítica do Projeto Básico e Definição de Parâmetros e Critérios de Projeto - Estruturas Componentes do Sistema Adutor** e nos estabelecidos no **Parecer Técnico nº 002/2021 – Origem 4ª/GRD/UEP-AD/GRD/GEP-AI/GEI – CODEFASF** emitido em 22/09/2021.

Os projetos tiveram como base a topografia fornecida pela CODEVASF.

### A.2 ESTRUTURAÇÃO DO RELATÓRIO

Este relatório, Parte 1, apresenta o memorial descritivo em 5 capítulos a saber:

- Capítulo 1: O Empreendimento;
- Capítulo 2: Localização e Vias de Acesso;
- Capítulo 3: Características Hidrogeológica e Geológica;
- Capítulo 4: Túnel Vila Matias;
- Capítulo 5: Mapa de Cubação;

### A.3 EQUIPE TÉCNICA

Neste item estão relacionados os técnicos responsáveis pelo desenvolvimento do Projeto Executivo das estruturas objeto deste documento.

- Coordenação Geral: Antonio Carlos de Almeida Vidon
- Coordenação Adjunta: Maria Angela Capdeville Duarte Ullmann
- Coordenação Adjunta: Hélio Augusto Machado Pessoa
- Planejamento: Cristiana Couceiro de Freitas Cavalcanti

### **A.3.1 GEOLOGIA E GEOTECNIA**

- Hosana Emília Abrantes Sarmiento Leite
- Maiara de Araújo Porto
- Claudio Netto Lummertz
- João Silvino Oliveira Paiva da Silva

### **A.3.2 TÚNEL VILA MATIAS**

- Pedro Segundo Pino Veliz
- Maiara de Araújo Porto
- Claudio Netto Lummertz
- Tulio Martins de Lima

### **A.3.3 QUANTITATIVOS, ORÇAMENTO E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS**

- Hélio Augusto Machado Pessoa Filho
- Edina Pinto de Freitas
- Estanislau Fernandes Barros
- Leandro Antônio Cavalcanti da Silva
- Analice Marques de Sá Lima

### **A.3.4 EQUIPE DE APOIO**

- Luiz Felipe Meirelles Barbosa
- Alexandre Silva Nunes
- Paulo Rogério Oliveira Freitas
- Robervaldo José Lins
- Geraldo Monteiro de Sousa
- Vanuza Dantas Cavalcanti
- Maria Aparecida Menezes das Neves

### **A.3.5 TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO**

- Alex José Alcântara Oliveira



MINISTÉRIO DO  
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



Projeto Executivo do  
Canal de Xingó, Fase I, Lote I

## 1. O EMPREENDIMENTO

## 1 O EMPREENDIMENTO

O Projeto do Canal de Xingó é alvo de debates pela CODEVASF desde o ano de 1998, com a consolidação do estudo de viabilidade técnica apresentada em 2009, com o objetivo de atender as demandas de usos múltiplos das áreas próximas ao canal promovendo o desenvolvimento da região.

O eixo estruturante do Canal de Xingó, em sua totalidade, inicia no município de Paulo Afonso no estado da Bahia e finaliza no município de Nossa Senhora da Glória no estado de Sergipe, cruzando os municípios de Santa Brígida situado no Estado da Bahia e Canindé do São Francisco, Poço Redondo, Porto da Folha, Monte Alegre de Sergipe situados no estado de Sergipe. Devido a grande extensão do sistema adutor, o projeto foi particionado em quatro trechos denominados Fases sendo definidos na época do Estudo de Viabilidade, a saber:

- Fase I: inicia na captação no reservatório de Paulo Afonso IV indo até o Reservatório 5 (Capela), no município de Poço Redondo;
- Fase II: inicia no Reservatório 5 e se desenvolve até o Reservatório 8 no município de Porto da Folha;
- Fase III: inicia no Reservatório 8 e se direciona ao Reservatório 11 no município de Monte Alegre;
- Fase IV: parte do Reservatório 11 até o final do canal, no Reservatório 12, no município de N.S. da Glória.

Nas fases posteriores ao Estudo de Viabilidade os reservatórios foram eliminados ficando seus nomes como referência para a segmentação dos trechos do empreendimento.

A Fase 1 possui extensão de 113.370m e está localizada nas regiões semiáridas da Bahia e do Sergipe, com expressão nos municípios de Paulo Afonso (BA), Santa Brígida (BA), Canindé do São Francisco (SE) e Poço Redondo (SE) e foi subdividida nos Lotes I e II, sendo o primeiro objeto do contrato em epígrafe.

O Lote 1 com extensão de 50.618m cruza os municípios de Paulo Afonso e Santa Brígida no estado da Bahia e finaliza no município de Canindé do São Francisco no estado da Bahia e é composto pelas estruturas relacionadas a seguir:

- 1 canal de aproximação com 50.618m de extensão;
- 1 estrutura de tomada d'água;
- 1 túnel com extensão de 2,44 km;
- 12 segmentos de canal;
- 6 aquedutos;
- 6 estruturas de controle;
- 6 extravasores com descarga de fundo;
- 19 tomadas d'água de derivação.

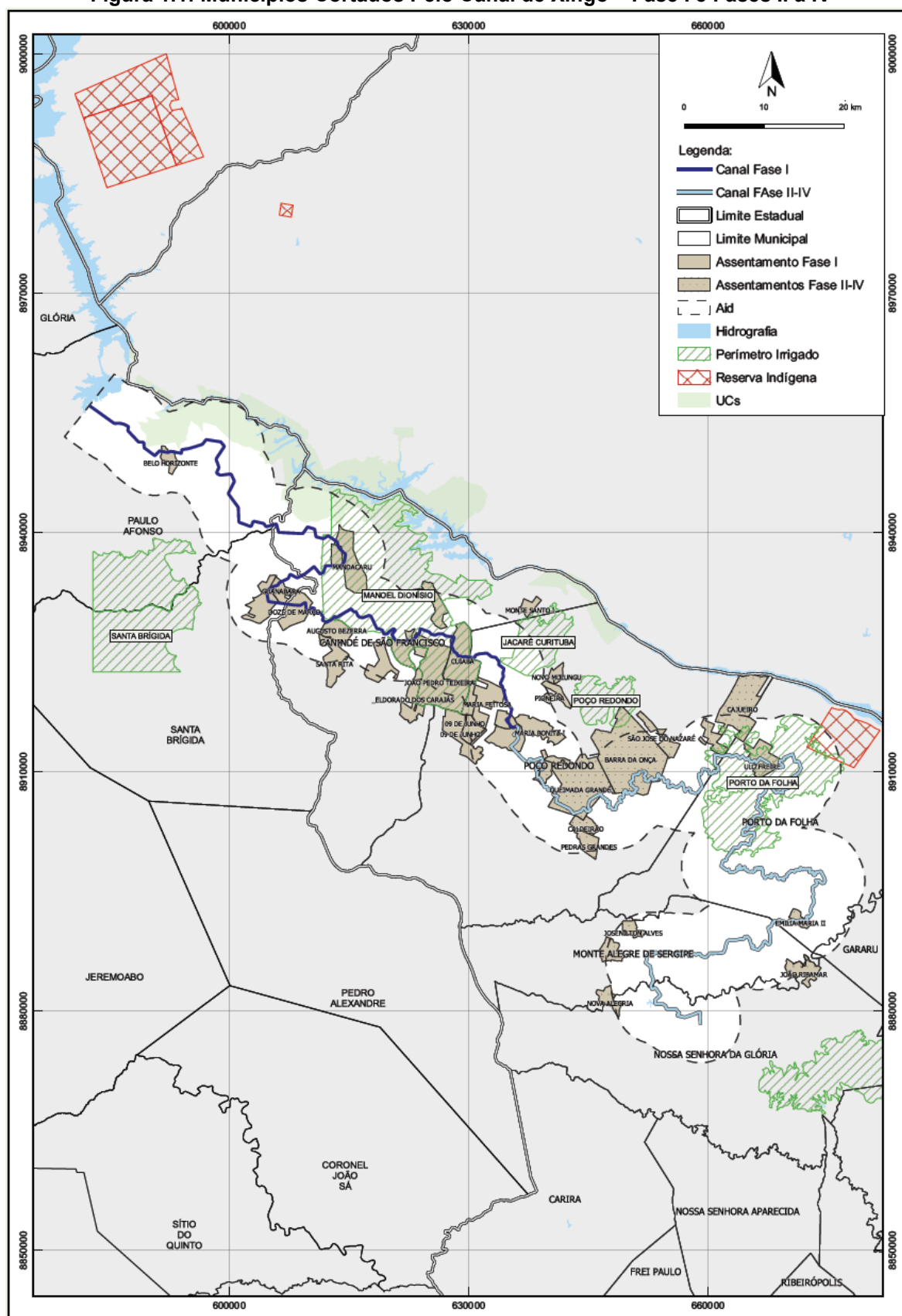
Como infraestrutura secundária foram previstas as seguintes obras:

- 1 galeria para transpor a rodovia BR-110;
- 10 pontes;
- 8 passarelas;
- 50,57 km de estradas de serviço;
- 49 bueiros para travessias de talwegues.

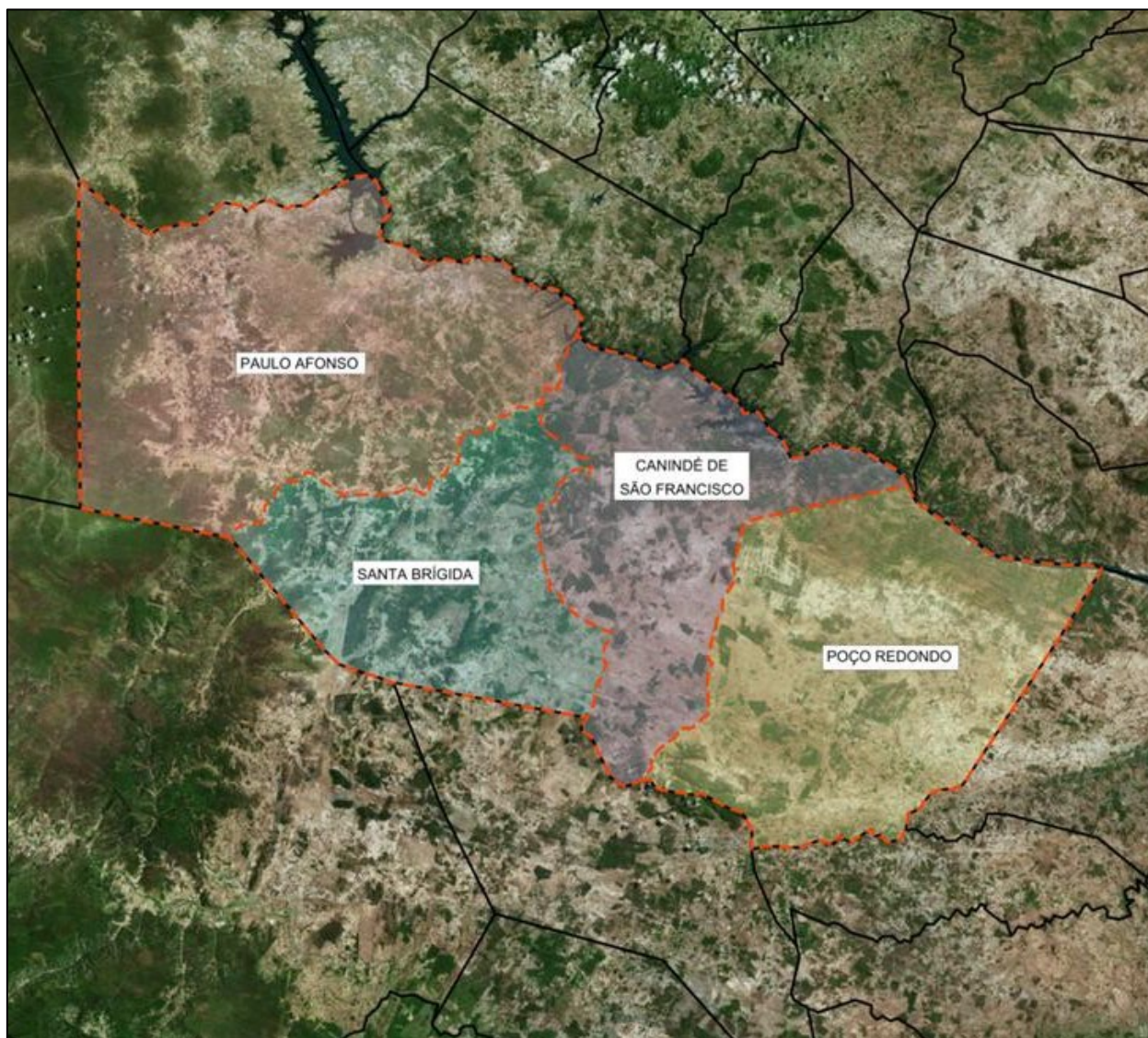
Nas **Figuras 1.1 a 1.4** estão apresentados os municípios cortados pelo Canal de Xingó – Fase I e Fases II a IV, os municípios onde será implantado Canal do Xingó – Fase 1, seu desenvolvimento em planta, com ênfase Fase 1 – Lote I e, de forma esquemática, as estruturas que compõe o sistema adutor no Lote I, respectivamente.



**Figura 1.1: Municípios Cortados Pelo Canal de Xingó – Fase I e Fases II a IV**

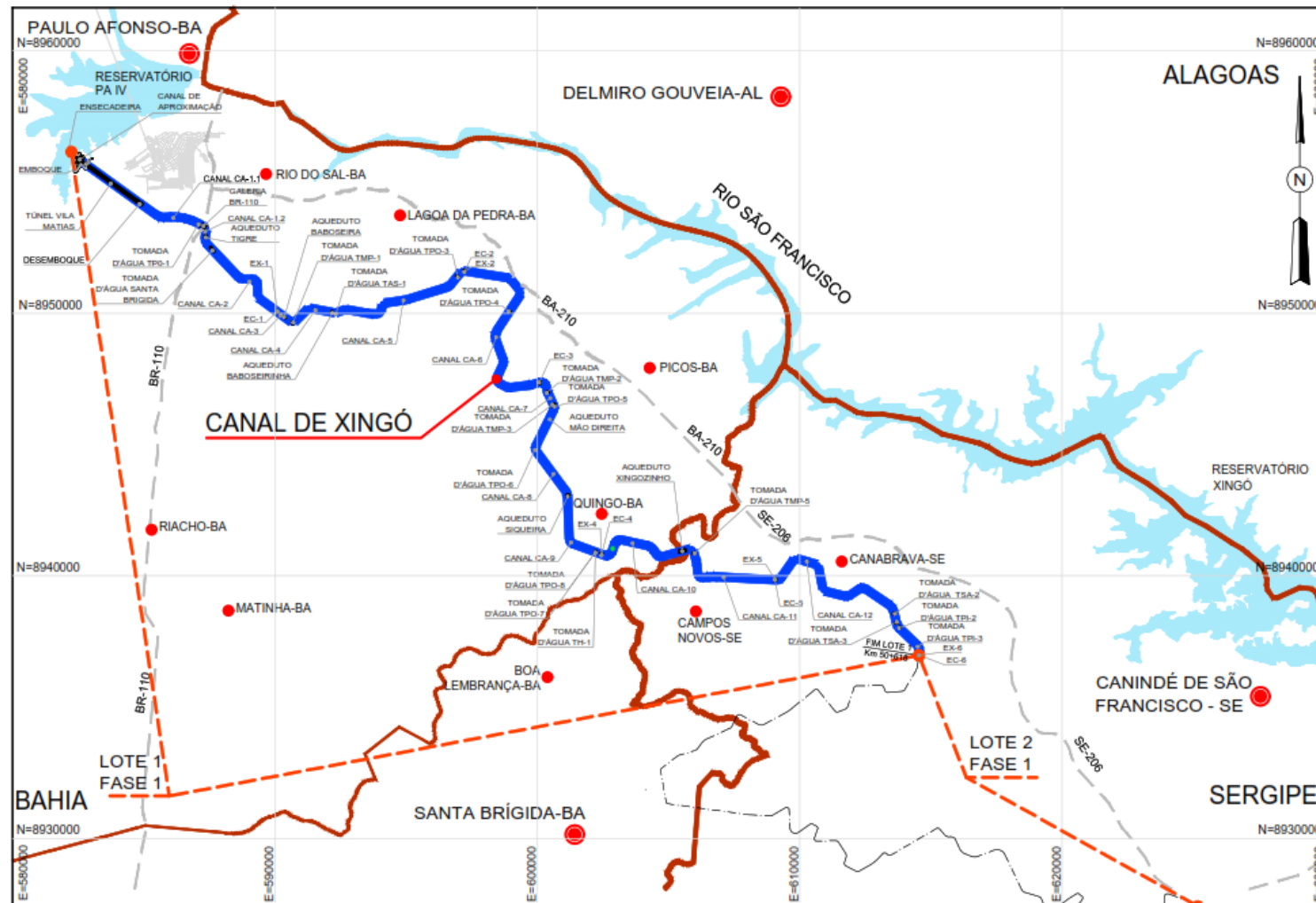


Fonte: Reproduzido do Documento 1377-CDF-00-GL-RT-0021-R05 – Projeto Básico do Canal de Xingó – Relatório Final do Projeto Básico do Lote I – Volume 1 – Relatório de Projeto – ENGECORPS-TPF

**Figura 1.2: Municípios Onde Será Implantado o Canal do Xingó – Fase 1**

Fonte: Reproduzido do Documento 1377-CDF-00-GL-RT-0021-R05 – Projeto Básico do Canal de Xingó – Relatório Final do Projeto Básico do Lote I – Volume 1 – Relatório de Projeto – ENGECORPS-TPF

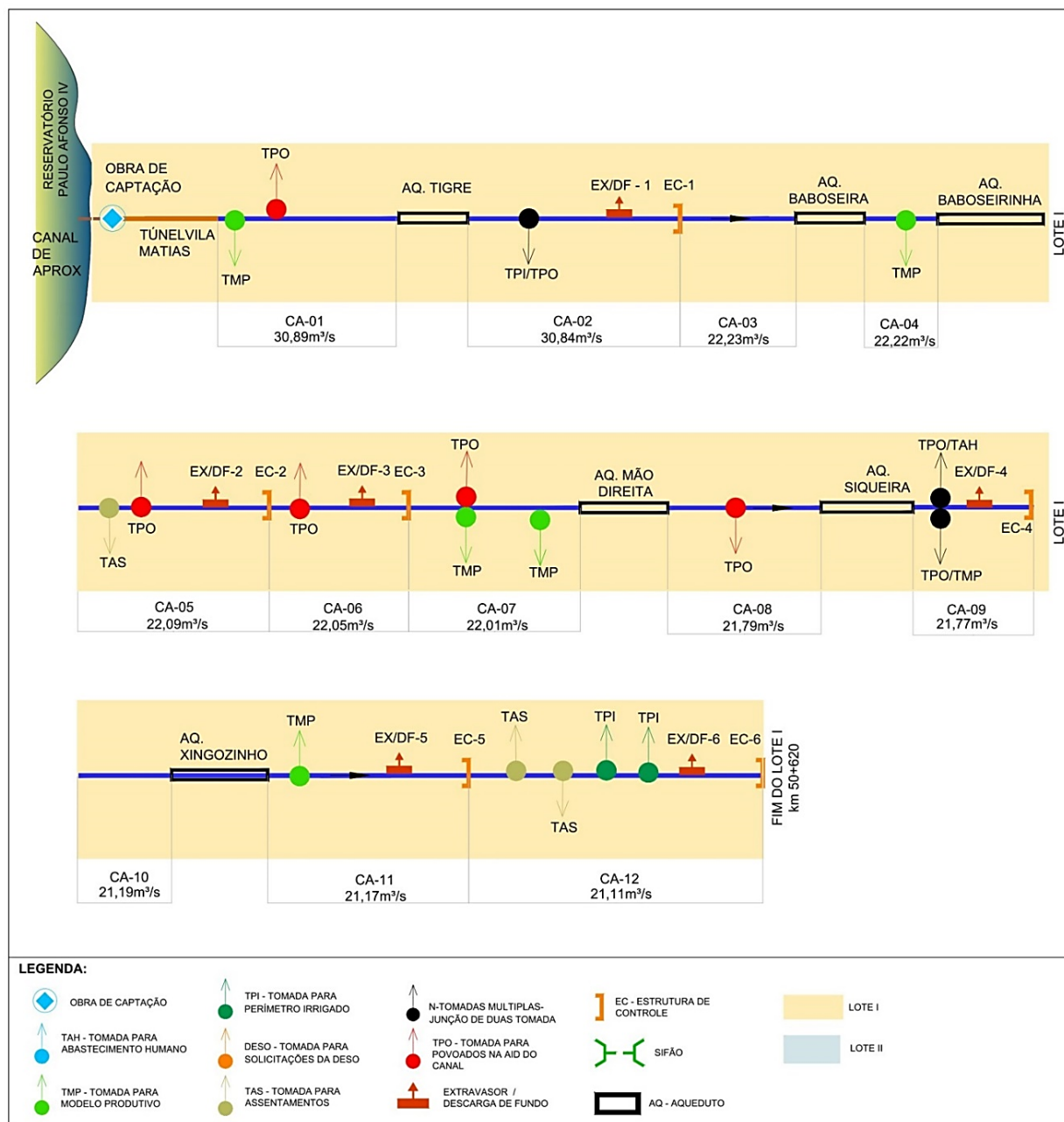
**Figura 1.3: Planta do Desenvolvimento do Canal de Xingó com Ênfase na Fase 1 – Lote I**



Fonte: Consórcio TECHNE – ENGECONSULT (2021)



Figura 1.4: Infraestrutura do Lote I, com Detalhe na Disposição das Estruturas



Fonte: Reproduzido do Documento 1377-CDF-00-GL-RT-0021-R05 – Projeto Básico do Canal de Xingó – Relatório Final do Projeto Básico do Lote I – Volume 1 – Relatório de Projeto – ENGECORPS-TPF



MINISTÉRIO DO  
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



Projeto Executivo do  
Canal de Xingó, Fase I, Lote I

## 2. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO



## 2 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

Como é de conhecimento, o eixo estruturante do Canal do Xingó está localizado nos estados da Bahia e de Sergipe, com passagens pelos municípios de Paulo Afonso, Santa Brígida, Canindé do São Francisco e Poço Redondo.

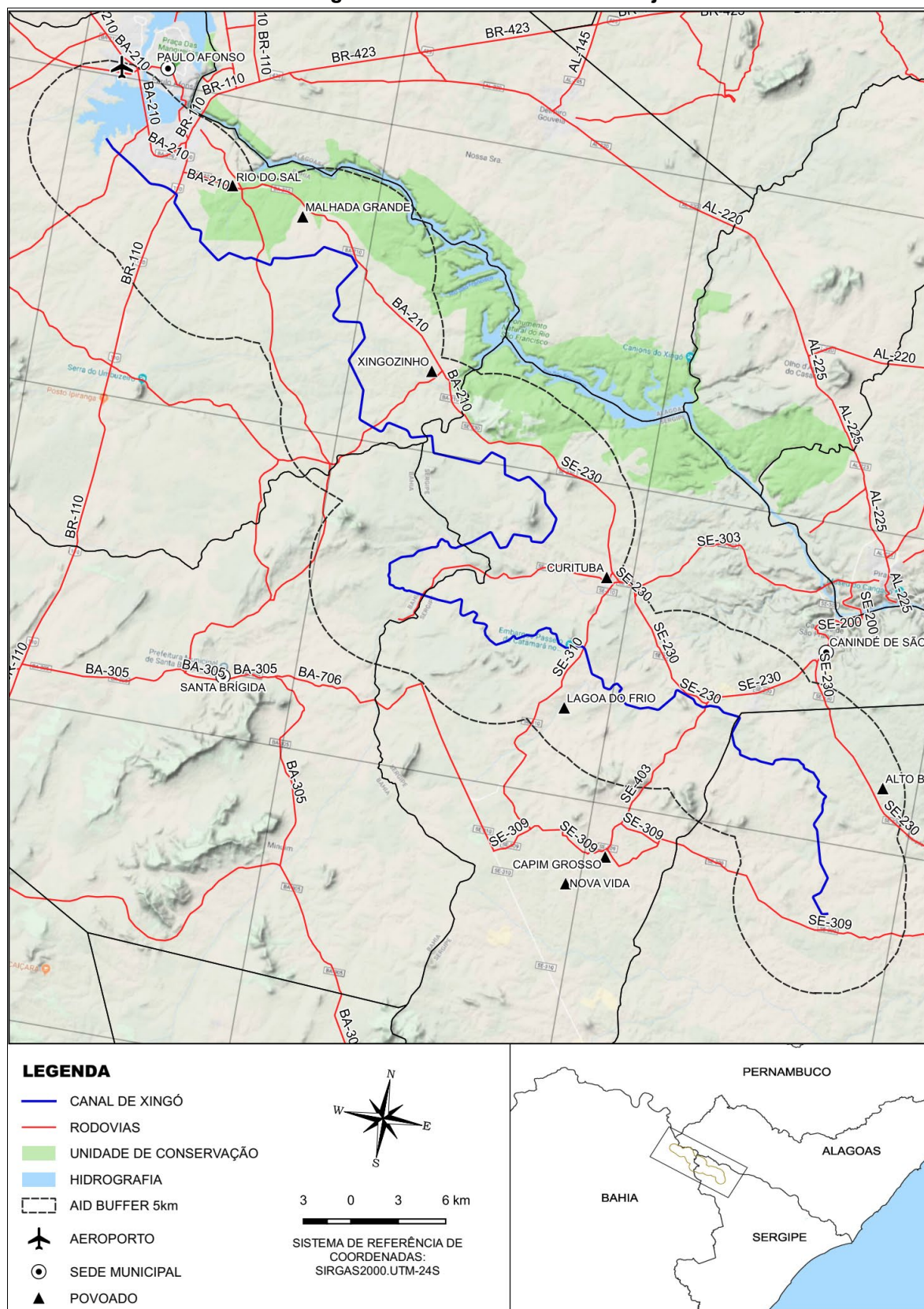
Existem dois acessos rodoviários a área. O primeiro pode ser realizado através da cidade de Aracaju (SE), pelas rodovias BR-235, SE-175 e SE-230. Pelas duas últimas pode-se cruzar os municípios de Poço Redondo e Canindé de São Francisco. Pela rodovia SE-230, adentra-se o território baiano, e toma-se a BA-210, dando acesso a Paulo Afonso.

O segundo acesso tem início na cidade de Salvador (BA) através das rodovias BR-324, BR-110 e BA-210, até se chegar ao município de Paulo Afonso.

Uma opção alternativa seria por via aérea, com o pouso ocorrendo no aeroporto de Paulo Afonso (BA)

Na **Figura 2.1** está apresentada a malha viária da região onde será implantado o Canal de Xingó onde podem ser observados os possíveis acessos rodoviário e aeroviário à área do empreendimento.

Figura 2.1: Acessos à Área do Projeto



Fonte: Reproduzido do Documento 1377-CDF-00-GL-RT-0021-R05 – Projeto Básico do Canal de Xingó – Relatório Final do Projeto Básico do Lote I – Volume 1 – Relatório de Projeto – ENGECORPS-TPF



MINISTÉRIO DO  
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



Projeto Executivo do  
Canal de Xingó, Fase I, Lote I

### **3. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS E GEOLÓGICAS**

### 3 CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS E GEOLÓGICAS

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

Na área de implantação do túnel Vila Matias predomina localmente um padrão dendrítico fruto do modelamento de rochas granito-gnáissicas e metassedimentares. Como resultado, na porção oeste apresenta uma geometria retangular característica de regiões sedimentares.

Algumas feições são comuns no relevo, como a cachoeira de Paulo Afonso, em migmatitos pré-cambrianos e a Serra do Umbuzeiro. Uma das feições mais significativas concerne a parte do Raso da Catarina, além dos cânions esculpidos ao longo dos anos pelo Rio São Francisco.

A drenagem está representada em sua maioria por fluxos fluviais temporários, como os riachos da Morena, da Seriema, da Gangorra, do Tigre, Baixa do Trinchete, da Malhada Grande, Cascavel, do Mandu, do Tará, Poção e da Baboseira.

Em regime fluvial perene, ocorre a nordeste da área, o rio São Francisco, o principal da região, e a área do município está inserida na sua bacia hidrográfica.

Na porção leste, ocorre o favorecimento do acúmulo de águas superficiais, devido a baixa taxa de infiltração do solo. Já na porção oeste, ocorre o inverso, com a constante alimentação dos cursos de rios subterrâneos, área inserida próximo ao domínio da Bacia Sedimentar do Tucano Jatobá.

Em relação aos domínios hidrogeológicos subterrâneos, podem ser destacados os seguintes (**Figura 3.1**):

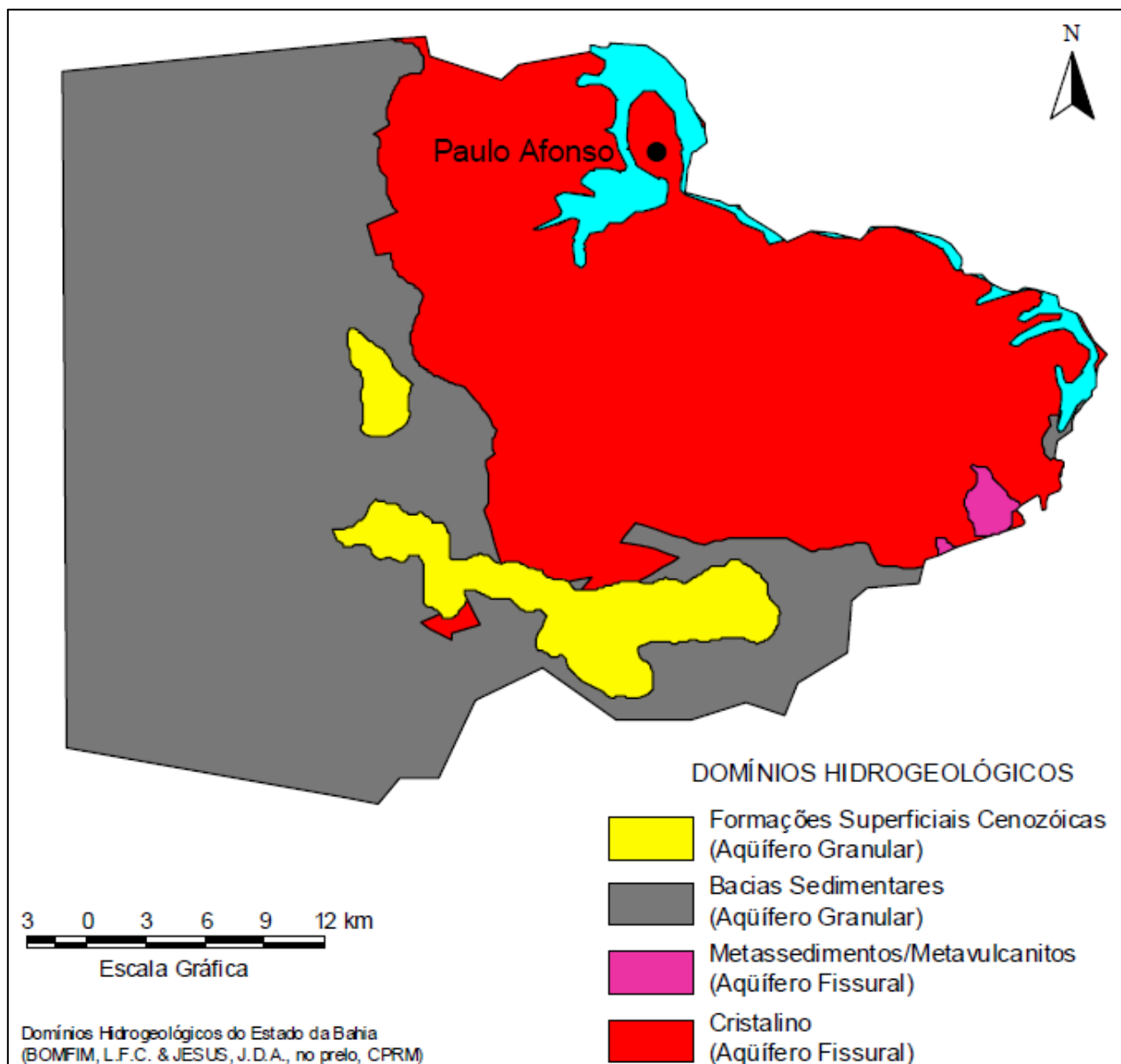
- Formações superficiais Cenozóicas;
- Bacias sedimentares;
- Metassedimentos/metavulcanitos;
- Maciço Cristalino.

Os aquíferos granulares estão comumente representados pelas camadas de rochas sedimentares de diversos litotipos, os quais recobrem o maciço mais antigo. Estas camadas de idade Cenozóica, possuem uma porosidade primária, com alta permeabilidade, com boa infiltração e fornecimento de água.

A área no entorno do município, predominam os depósitos relacionados temporalmente a idade quaternária, composta por depósitos aluvionares recentes e de idade Terciário-Quaternário, representado por depósitos colúvio-eluviais, coberturas detrítico-lateríticas, coberturas detriticas indiferenciadas de idade Terciário, representada pelo grupo Barreiras.

Os maciços rochosos comumente representam os domínios hidrogeológicos dos reservatórios com disposição fissural.

Figura 3.1: Domínios Hidrogeológicos com Destaque para a Delimitação dos Limites dos Aquíferos



Fonte: CPRM, 2002.

### 3.2 GEOLOGIA DA ÁREA

A área fica situada regionalmente no contexto Geológico do Cráton São Francisco. Na região local de Paulo Afonso, predominam as rochas do Complexo Canindé, de idade mesoproterozóica, com composição metavulcânica, filitos e mármore. A este complexo, também podem estar associados gabros, metassomatitos e agmatitos. Estas rochas foram associadas por Silva Filho *et al.* (1977-1979) ao magmatismo ofiolítico da Faixa de Dobramentos Sergipana.

De maneira secundária, ocorre contato com a Formação Tacaratu, representado por arenitos intercalados com conglomerados, e formação Santa Brígida (arenitos intercalados com folhelhos, siltitos e dolomitos) estratos de idade Paleozóica, mais antiga da bacia sedimentar Tucano-Jatobá.

De idade Neoproterozóica, ocorrem granitoides tardi a pós orogênicos, representado pelas Suítes Shoshonítica Salgueiro-Terra Nova e Pelaluminosa Xingó.

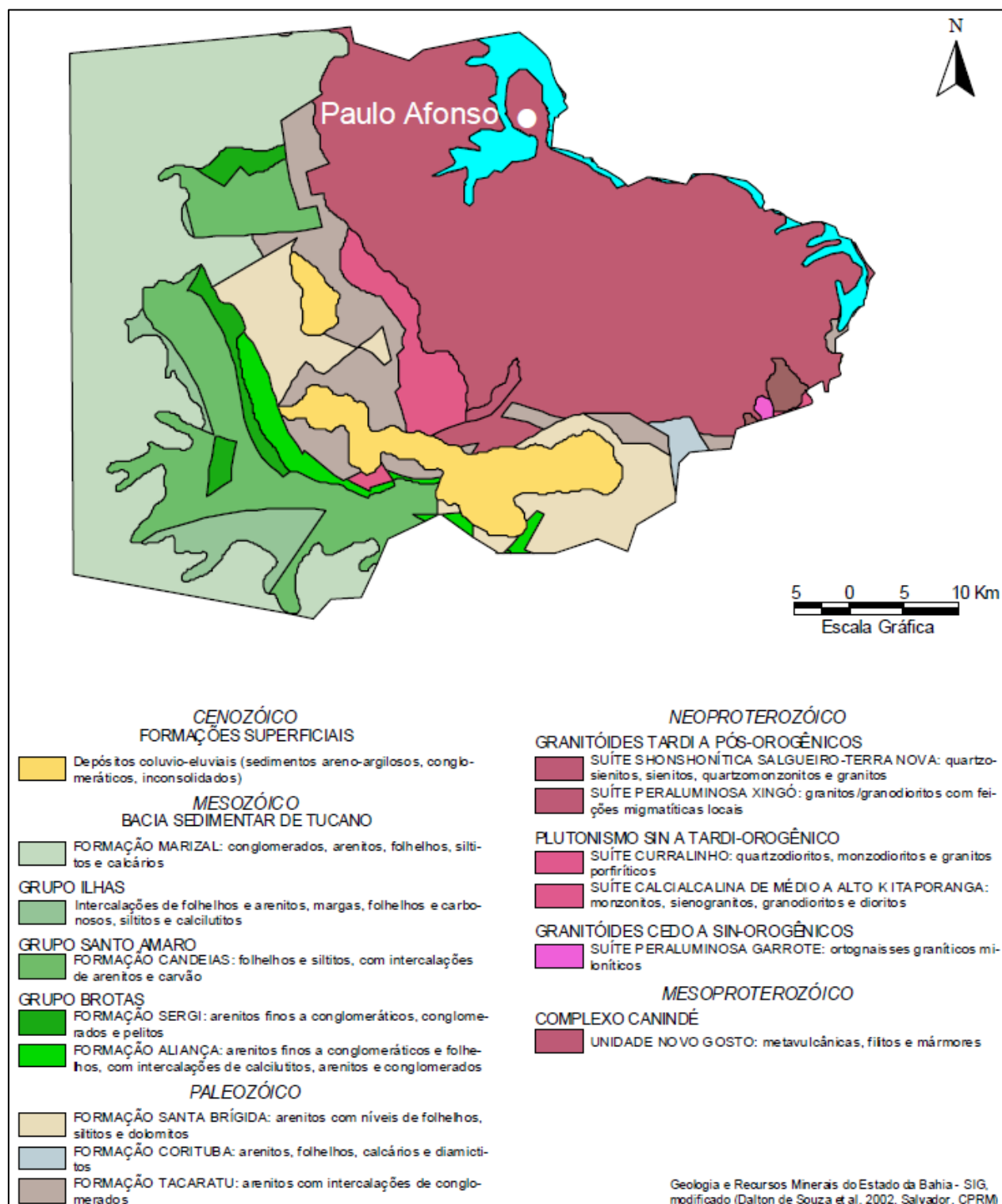
Na região da cidade de Santa Brígida, ocorrem afloramentos também dos complexos Canindé (unidade Novo Gosto), Marancó, e Migmatítico de Poço Redondo, todos de idade Mesoproterozóico. Associam a estes também, os granitóides cedo a pós-orogênicos de idade Neoproterozóico.

De forma subordinada ocorrem afloramentos das formações Tacaratu, Curituba e Santa Brígida, de idade Paleozóico, todos componentes da Bacia Tucano-Jatobá.

Em profundidade, as rochas cristalinas possuem propensão a formação de aquíferos fissurais, enquanto que as rochas de formação sedimentar possuem a característica de formarem aquíferos porosos.



**Figura 3.2: Mapa da Geologia Regional do Município de Paulo Afonso (BA), com Detalhe para a Divisão das Unidades Litoestratigráficas**



Fonte: CPRM, 2002.

Os perfis geológicos apresentados nas fases de Anteprojeto e Projeto básico, mostraram a ocorrência de zonas de falhas e trechos com demasiado recobrimento de solos. Estas características podem ser observadas através das sondagens e da sísmica de refração executados ao longo do trecho de locação da estrutura.

Este contexto, demonstra que a abertura da escavação subterrânea precisará de um aporte nos tratamentos, além de escavação cuidadosa. Atrelado a isso, essa obra passa por baixo de dois conjuntos habitacionais nas proximidades do bairro Tancredo Neves (localizado no município de Paulo Afonso – BA).

Ao longo do eixo do Túnel Vila Matias, foram executadas 12 sondagens mistas na fase de Anteprojeto, acrescido de Geofísica de refração ao longo de toda a estrutura. Posteriormente, na fase de Projeto Básico, foram executadas mais 4 sondagens nas regiões do emboque e desemboque do túnel.

Na década de 70, foram desenvolvidos vários estudos em obras subterrâneas visando o melhor direcionamento das escavações, sobretudo no que concerne a estabilidade do maciço rochoso (Azevedo e Marques, 2002).

Neste sentido, dois sistemas de classificação geomecânica de maciços rochosos tem destaque no cenário nacional, que são o RMR, desenvolvido por Bieniawski (1989) e o Q, estabelecido por Barton, Lien e Lunde (1974).

Os dois sistemas utilizam vários parâmetros geomecânicos do maciço rochoso, como grau de fraturamento, alterabilidade, condição das descontinuidades, presença de argila, água intersticial, rugosidade, RQD, etc., para se obter uma classificação. Dessa maneira, a qualidade do maciço é estabelecida através de um somatório ou valor de referência que setorizará o maciço em alguma classe.

As classes variam em I, II, III, IV e V, de acordo com as características pontuais do maciço rochoso. Como são utilizados parâmetros de sondagens, como o RQD, o uso desse parâmetro ocorre com a análise da sondagem mais próxima executada ao ponto desejado. É importante frisar que a classificação do maciço na fase construtiva, é realizada por avanço, uma vez que os tratamentos propostos são distintos para cada classe de maciço rochoso.

No caso do Túnel Vila Matias, foram executadas 12 sondagens numa extensão de 2.440 m, acrescida da geofísica de refração, tendo, portanto, uma proporção de 1 sondagem/203,00 m aproximadamente.

Neste aspecto, para a concepção do Projeto Executivo, as investigações de subsolo e estudos realizados nas fases anteriores são consideradas suficientes para a continuidade e detalhamento do serviço.



Tabela 3.1: Sondagens Mistas do Túnel Vila Matias

Sondagem	Local/Estaca	Profundidade (m)	Material Perfurado
SM-CET-001	Túnel- Emboque / 0+170,00	0,00-1,62 m	Silte arenoso com argila arenosa e areia argilosa, com presença de pedregulhos, de coloração marrom. NSPT = 22.
		1,62-4,67 m	Areia argilosa, com pedregulhos, de coloração marrom. NSPT = 44.
		4,67-10,25 m	Granito de composição quartzo, feldspato, anfíbólio, de textura fina a grossa, e coloração cinza e branco. RQD = 0-99%.
SM-CET-002	Túnel- Emboque / 0+200,00	0,00-1,64 m	Areia argilosa e argila arenosa, com pedregulhos finos a médios, de coloração avermelhada. NSPT = 5.
		1,64-3,52 m	Areia siltosa, com pedregulhos finos, de coloração marrom acinzentada. NSPT = 19.
		3,52-9,32 m	Granito de composição quartzo, feldspato, anfíbólio, de textura fina a grossa, e coloração cinza e branco. RQD = 62-99%.
SM-03	Túnel- Emboque / 0+640,00	0,00-1,45 m	Alteração de rocha (A4), cor cinza.
		1,45-3,30 m	Rocha quartzo com fraturas (F4), cor cinza. – Recuperação de 15 a 40%.
		3,30-19,80 m	Rocha quartzo-feldspática de mineralogia muito grossa, cor cinza – RQD = 20 -75%
SM-04	Túnel / 1+134,00	0,00-0,80 m	Argila siltosa de coloração cinza, rija - N <sub>SPT</sub> = 15.
		0,80-4,00 m	Areia média siltosa de coloração cinza variegada com mica medianamente compacto a compacto - N <sub>SPT</sub> = 27.
		4,00-14,80 m	Rocha ígnea de coloração cinza variegada composta por quartzo, feldspato e micas – RQD = 72 – 99%.
SM-05	Túnel / 1+690,00	0,00-0,80 m	Silte argiloso, arenoso, de coloração marrom claro, rijo - N <sub>SPT</sub> = 20.
		0,80-5,50 m	Areia fina a média, siltosa, com mica de coloração variegada compacto a muito compacto - N <sub>SPT</sub> = 47.
		5,50-21,76 m	Rocha ígnea de coloração cinza escuro composta por quartzo, feldspato e micas - N <sub>SPT</sub> = 18.
SM-06	Túnel / 2+176,00	0,00-2,80 m	Silte arenoso de coloração cinza, medianamente compacto - N <sub>SPT</sub> = 15.
		2,80-7,90 m	Silte arenoso médio de coloração amarelo, compacto a medianamente compacto - N <sub>SPT</sub> = 15.
		7,90-13,20 m	Silte arenoso fino a médio de coloração variegada com mica, medianamente compacto a muito compacto - N <sub>SPT</sub> = 28.
		13,20-20,10 m	Migmatito composto por quartzo, feldspato e micas.
SM-CET-004	Túnel - Desemboque / 2+470,00	0,00-1,00	Argila arenosa, com pedregulhos finos, marrom, muito compacta. NSPT = 50/25.
		1,00-2,00	Areia fina a grossa, pouco siltosa, com pedregulhos finos, marrom, muito compacta. NSPT = 50/25.
		2,00-3,00	Matacão.
		3,00-5,20	Areia fina a grossa, pouco siltosa, com pedregulhos finos, marrom, muito compacta. NSPT = 30/10.
		5,20-20,30	Gnaiss de composição quartzo, feldspato, anfíbólio, de textura fina a grossa, e coloração cinza e branco A3/A4 com porções de A2. RQD = 0-87%.
SM-CET-003	Túnel - Desemboque / 2+500,00	0,00-1,00	Argila arenosa, com pedregulhos finos, marrom, dura. NSPT = 26.
		1,00-2,50	Areia fina a grossa, marrom, muito compacta. NSPT = 30/10.
		2,50-17,00	Granito de composição quartzo, feldspato, anfíbólio, de textura fina a grossa, e coloração cinza e branco A3/A4. RQD = 0-53%.
		17,00-21,50	Granito de composição quartzo, feldspato, anfíbólio, de textura fina a grossa, e coloração cinza e branco, A2/A3. RQD = 13-80%.
SM-8A	Túnel / 2+580,00	0,00-0,80 m	Silte arenoso argiloso de coloração amarelo escuro.
		0,80-1,90 m	Silte arenoso argiloso de coloração amarelo claro.
		1,90-3,80 m	Silte arenoso de coloração variegada com mica.
		3,80-9,50 m	Fragmentos de rocha de coloração variegada – recuperação de 13 a 21%.
		9,50-13,00 m	Granito composto por quartzo, feldspato e micas.
SM-07	Túnel - Desemboque / 2+886,00	0,00-1,00 m	Silte argiloso de coloração marrom claro rijo - N <sub>SPT</sub> = 17.
		1,00-3,76 m	Silte arenoso fino de coloração cinza claro compacto a muito compacto - N <sub>SPT</sub> = 41.
		3,76-5,80 m	Areia fina siltosa de coloração marrom escuro com mica, muito compacto - N <sub>SPT</sub> = 50.
		5,80-6,70 m	Areia média a grossa pouco siltosa de coloração variegada com mica, muito compacto - N <sub>SPT</sub> = 55.
		6,70-16,60 m	Granito composto por quartzo, feldspato e micas – RQD = 15 – 69%.
SM-9A	TúnelL depois do Desemboque / 3+020,00	0,00-0,50 m	Silte arenoso de coloração marrom compacto - N <sub>SPT</sub> = 20.
		0,50-5,00 m	Silte arenoso fino, de coloração cinza variegada com mica, medianamente compacto a compacto - N <sub>SPT</sub> = 42.
		5,00-12,00 m	Granito de coloração cinza composto por quartzo, feldspato e micas – RQD = 61 – 99%.



MINISTÉRIO DO  
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



Projeto Executivo do  
Canal de Xingó, Fase I, Lote I

## 4. TÚNEL VILA MATIAS

## 4 TÚNEL VILA MATIAS

O detalhamento do túnel Vila Matias foi elaborado conforme concepção e parâmetros estabelecidos no Projeto Básico.

O túnel Vila Matias está situado a jusante da estrutura de controle EC-0. Inicia no km 0+200,00, coordenadas UTM N:8.955.639,730 e E:582.843,326 (piso acabado cota 244,220m) e finaliza no km 2+600,00, coordenadas UTM N:8.954.239,504 e E:584.792,253 (piso acabado cota 243,720m), resultando em 2.400m de extensão com declive médio de 0,0625%.

A seção hidráulica transversal do túnel, dimensionada para uma vazão máxima de 30,89m<sup>3</sup>/s, prevê uma seção tipo “arco-retângulo”, com paredes laterais revestidas de concreto projetado e piso revestido de concreto simples as quais variam em espessura e geometria, em relação à seção hidráulica, conforme o tipo de maciço a ser escavado.

Nas **Figuras 4.1 e 4.2** estão apresentadas, respectivamente, a seção hidráulica do túnel e a planta com a localização do seu desenvolvimento.

**Figura 4.1: Seção em Arco Retângulo do Túnel Vila Matias.**

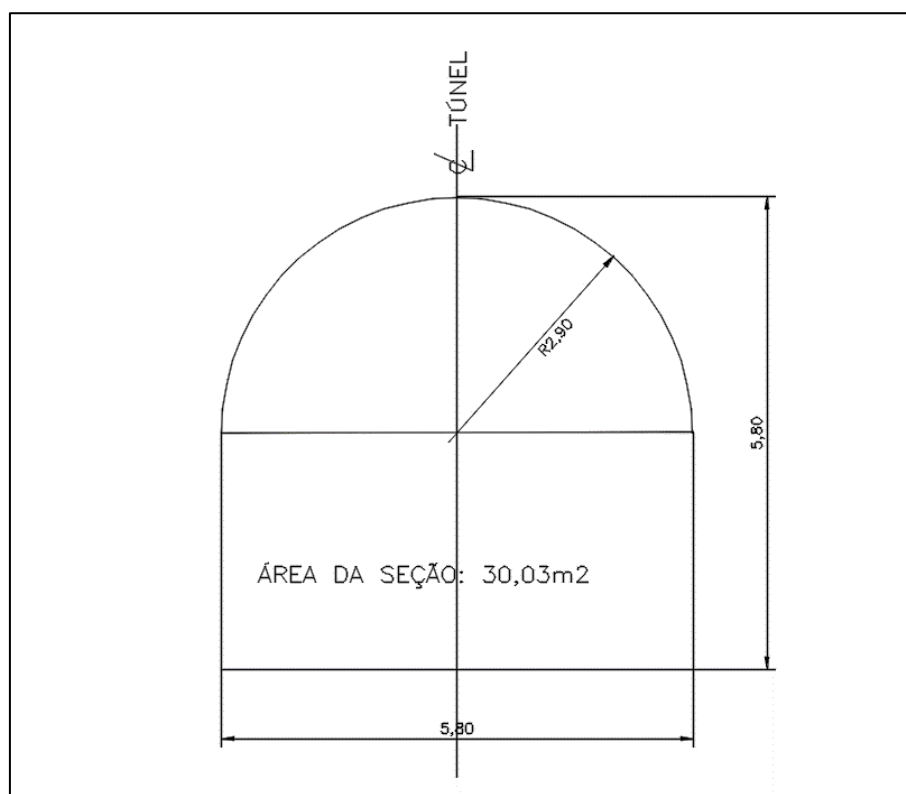
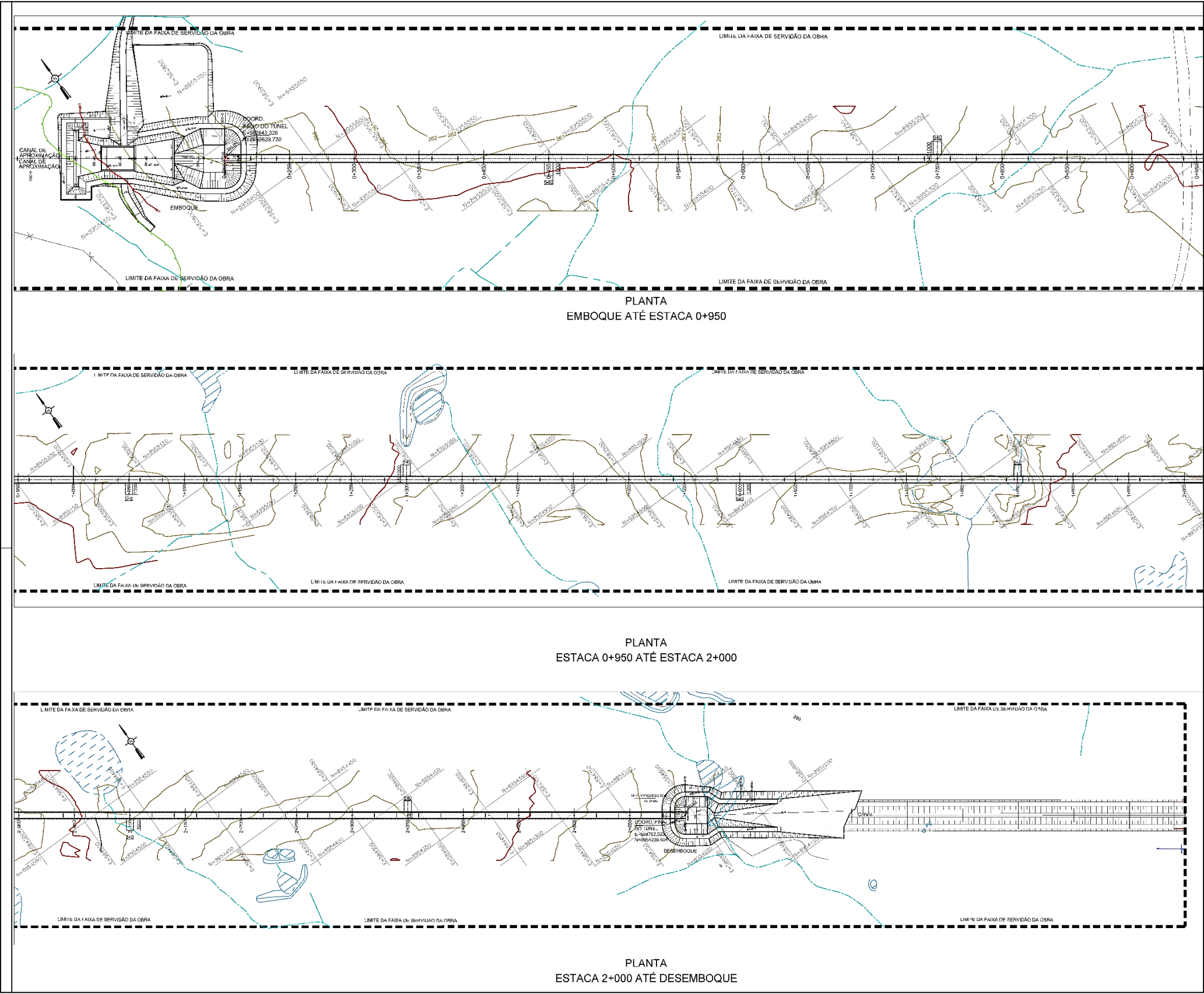


Figura 4.2: Planta de Situação do Túnel Vila Matias.

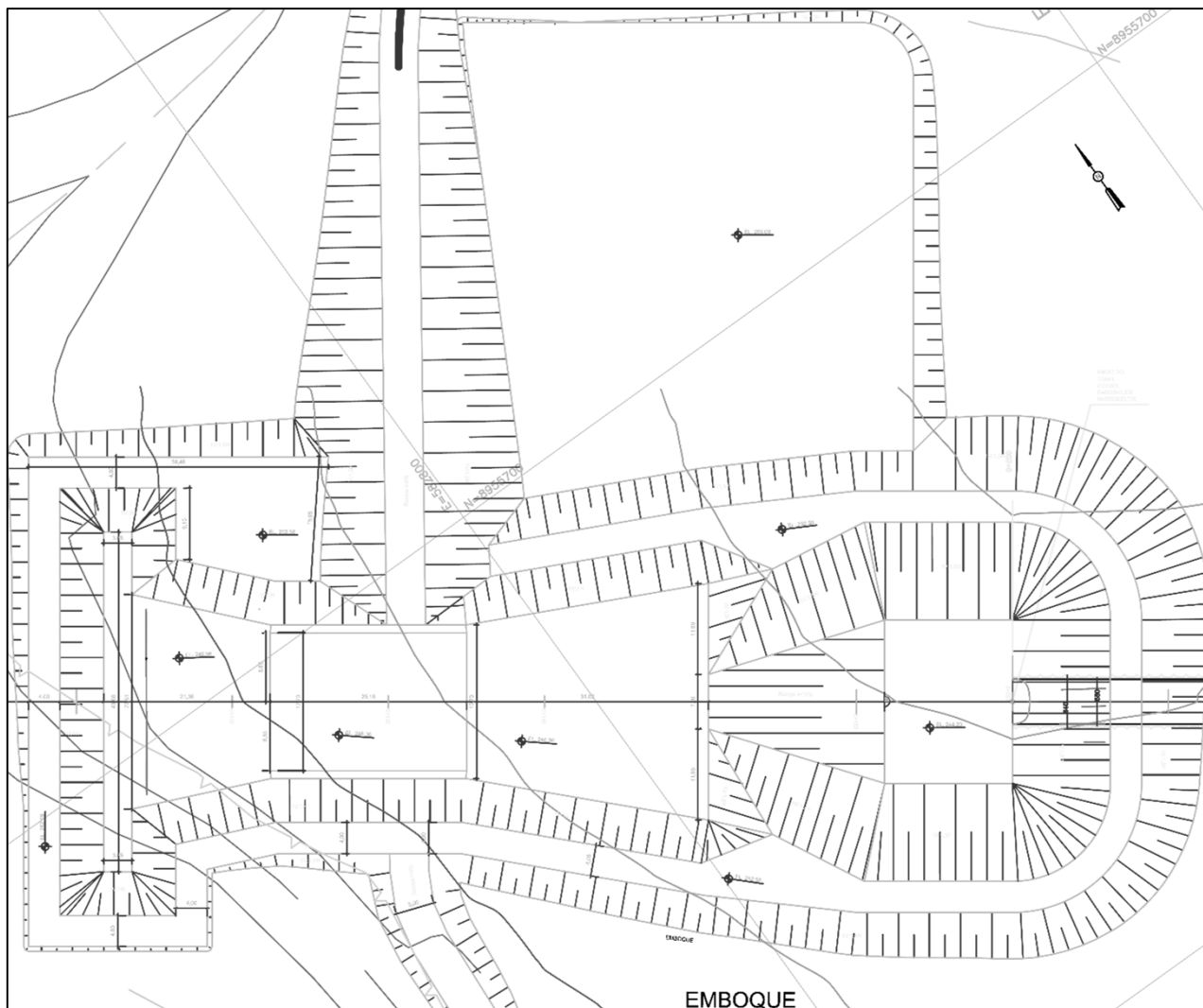


Fonte: Consórcio TECHNE – ENGECONSULT (2021)

#### 4.1 EMBOQUE – ESCAVAÇÃO A CÉU ABERTO

O emboque será a primeira estrutura a ser escavada e está localizado logo após a estrutura de controle EC-0, entre as estacas 0+160,00 e 0+200,00, possuindo acesso na lateral esquerda do sistema adutor, conforme **Figura 4.3**.

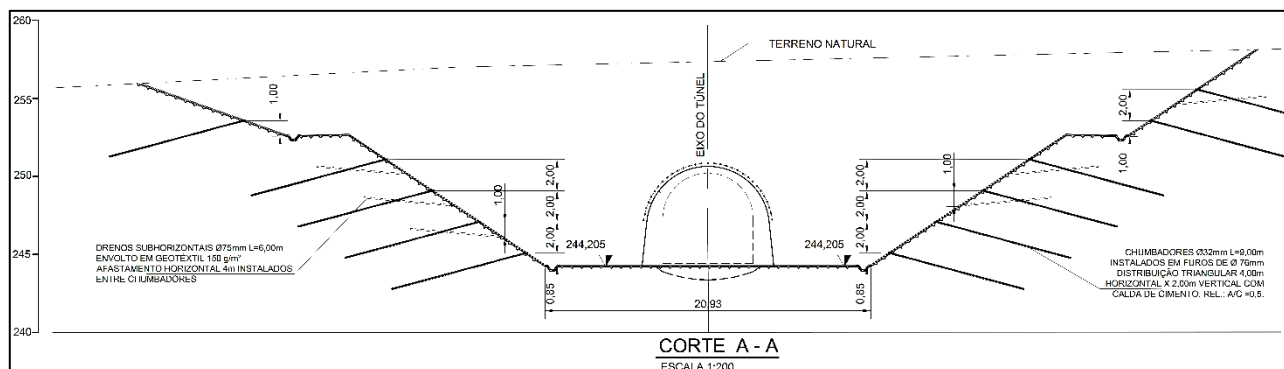
**Figura 4.3: Detalhe da Geometria de Escavação do Emboque do Túnel Vila Matias.**



Fonte: Projeto Executivo – Consórcio Techne/Engeconsult (2021)

Para a execução do emboque está prevista a escavação a frio em solos arenoso silto argilosos de coloração marrom, com inclinação de 1,0V:1,5H. Na porção basal, será necessária escavação a fogo de rocha granítica.

Em relação a estabilização dos taludes externos está prevista a execução de chumbadores numa malha de 4,00m x 4,00m, e utilização de tela metálica, recoberta por concreto projetado de 30MPa. Também estão previstos drenos DHP, de alívio para as possíveis percolações que possam ocorrer no maciço. A seção tipo dos tratamentos está representada na **Figura 4.4**.

**Figura 4.4: Seção Tipo dos Tratamentos Previstos no Emboque do Túnel Vila Matias.**

Fonte: Projeto Executivo – Consórcio Techne/Engeconsult (2021)

Os tratamentos externos deverão ser finalizados antes do início de abertura subterrânea do túnel, a fim de garantir a estabilização da escavação.

Para o início da escavação subterrânea ocorrerá a execução da linha em arco das enfilagens e da cambota treliçada, para compor a estabilização do maciço a ser perfurado inicialmente.

#### 4.2 DESEMBOQUE – ESCAVAÇÃO A CÉU ABERTO

O desemboque concerne ao segundo ponto de abertura do túnel, tendo interligação com o Canal CA-1.1. Está localizado entre as estacas 2+600,00 e 2+640,00, possuindo acesso no sentido do canal, conforme **Figura 4.5**.

**Figura 4.5: Detalhe da Geometria de Escavação do Desemboque do Túnel Vila Matias**

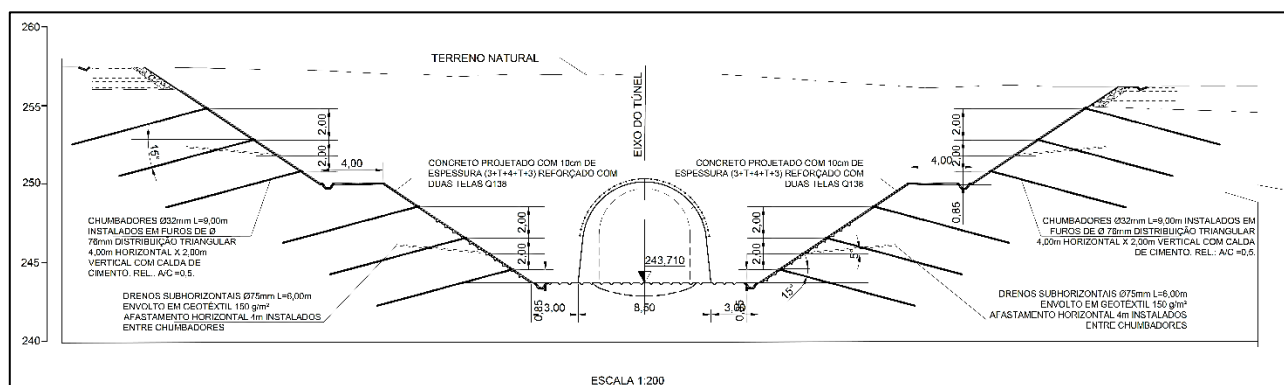
Fonte: Projeto Executivo – Consórcio Techne/Engeconsult (2021)



Para a execução do emboque está prevista a escavação a frio em solos argilo arenosos de coloração marrom, com inclinação de 1,0V:1,5H. Na porção basal, será necessária escavação a fogo de rocha gnáissica.

Em relação a estabilização dos taludes externos está prevista a execução de chumbadores numa malha de 4,00m x 4,00m, e utilização de tela metálica, recoberta por concreto projetado de 30Mpa. Também estão previstos drenos DHP, de alívio para as possíveis percolações que possam ocorrer no maciço. A seção tipo dos tratamentos está representada na **Figura 4.6**.

**Figura 4.6: Seção Tipo dos Tratamentos Previstos no Emboque do Túnel Vila Matias.**

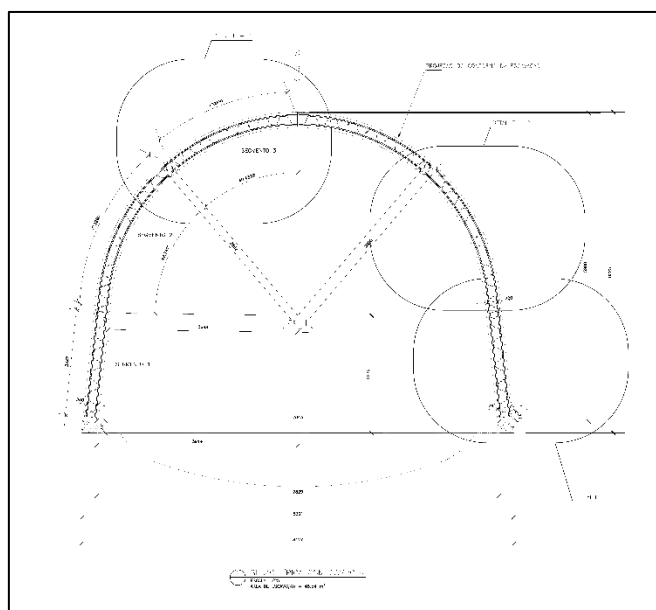


Fonte: Projeto Executivo – Consórcio Techne/Engeconsult (2021)

Da mesma forma, os tratamentos externos deverão ser finalizados antes do início de abertura subterrânea do túnel, a fim de garantir a estabilização da escavação.

Para o início da escavação subterrânea ocorrerá a execução da linha em arco das enfilagens e da cambota treliçada, para compor a estabilização do maciço a ser perfurado. Na **Figura 4.7** está apresentada a seção tipo da cambota treliçada.

**Figura 4.7: Seção Tipo da Cambota Treliçada**



Fonte: Projeto Executivo – Consórcio Techne/Engeconsult (2021)

### 4.3 ESCAVAÇÃO SUBTERRÂNEA - METODOLOGIA EXECUTIVA

A natureza da obra deve ser entendida como “túnel a baixa profundidade” em zonas ou regiões geológicas estáveis, monótonas, com litologias conhecidas e sem variabilidade extrema, que exige condições de aplicabilidade de métodos de escavação como NATM.

A pouca profundidade da obra, medida com relação à cota do teto do túnel, varia desde poucos metros até 18-18 m que medido com relação à maior altura de escavação do túnel (7,27 m = diâmetro) resulta em aproximadamente dois diâmetros, ou seja, está no limite da autoportabilidade, precisando de revestimento mais espesso, para compensar as pressões do maciço do entorno.

Para a escavação subterrânea do túnel, é proposta seguir as etapas (consecutivas ou não) a seguir:

1. Escavação a céu aberto do emboque com tratamento dos taludes para estabilização;
2. Construção de cambota treliçada para acesso ao túnel no emboque;
3. Escavação a céu aberto do desemboque com tratamento de taludes para estabilização;
4. Construção de cambota treliçada para acesso ao túnel no desemboque;
5. Escavação de 2.440m de túnel pelo método NATM em quatro tipos geotécnicos de material escavado e quatro seções geométricas, conforme o tipo de material;
6. Revestimento interno do túnel conforme o tipo de material encontrado e condições geotécnicas mapeadas;
7. Execução de obras de drenagem de superfície;
8. Execução de obras de drenagem interna (na escavação subterrânea);
9. Carregamento e transporte do material escavado a céu aberto e disposição em aterro controlado (bota-fora ou bota espera);
10. Carregamento e transporte do material escavado na porção subterrânea e disposição em aterro controlado (bota-fora ou bota espera).

A implantação do túnel no contexto do projeto foi elaborada a partir de informações topográficas, projeto geométrico, investigações geológico-geotécnicas, compostas por sondagens mistas e levantamentos e interpretação geofísica. O túnel possui seção hidráulica mínima de 30,03m<sup>2</sup>.

A metodologia executiva de escavação escolhida para execução do túnel é o NATM, método muito empregado no Brasil e no mundo pela sua flexibilidade e rapidez de execução, além de custo competitivo, podendo ser aplicado em solos e rochas.

O método NATM (New Austrian Tunnelling Method) foi implementado entre os anos de 1957 e 1965 por Pacher e Rabcewicz, os quais reivindicaram as inovações tecnológicas do concreto projetado e criaram um método para execução de túneis.

O referido método tem como diretriz a execução do projeto e da construção baseada em critérios específicos na observação. Como princípio basilar, tem-se o sistema de classificação qualitativa dos maciços rochosos, de acordo com BALAGUER, 2014.

Os dois sistemas de classificação geomecânica de maciços rochosos que tem destaque no cenário nacional, são o RMR, desenvolvido por Bieniawski (1989) e o Q, estabelecido por Barton, Lien e Lunde (1974).



Os dois sistemas utilizam vários parâmetros geomecânicos do maciço rochoso, como grau de fraturamento, alterabilidade, condição das descontinuidades, presença de argila, água intersticial, rugosidade, RQD, etc., para se obter uma classificação. Dessa maneira, a qualidade do maciço é estabelecida através de um somatório ou valor de referência que setorizará o maciço em alguma classe.

As classes variam em I, II, III, IV e V, de acordo com as características pontuais do maciço rochoso. Como são utilizados parâmetros de sondagens, como o RQD, o uso desse parâmetro ocorre com a análise da sondagem mais próxima executada ao ponto desejado. É importante frisar que a classificação do maciço na fase construtiva, é realizada por avanço, uma vez que os tratamentos propostos são distintos para cada classe de maciço rochoso.

Um dos mais importantes conceitos do NATM consiste no princípio da estabilização pelo alívio controlado das tensões do maciço. Este alívio dá ao maciço a condição de atuar como suporte da estrutura e não apenas como carregamento. Por este princípio, cada maciço possui um tempo de auto sustentação, e que irá definir o momento ideal para a aplicação dos elementos de suporte como o concreto projetado e tirantes. Estes elementos de sustentação e proteção precisam ser executados após uma acomodação inicial do maciço.

A partir da utilização do método nas escavações, e verificando a sua consistência, segue hoje como um dos métodos mais utilizados em todo o mundo.

O NATM (New Austrian Tunneling Method) foi implantado no Brasil por volta de 1970, para a execução da Ferrovia do Aço localizado entre as cidades de Belo Horizonte e Rio de Janeiro, e até a presente data, é um dos métodos mais utilizados em obras subterrâneas no Brasil.

Todos os serviços comuns às obras civis em geral (concretagens, formas, armações, acabamentos, etc.) seguirão as determinações constantes nas Normas Brasileiras vigentes e Memoriais Descritivos do Projeto Básico fornecido pela CODEVASF.

**Figura 4.8: Imagem Ilustrativa de Escavação Subterrânea Executada pelo Método NATM.**



#### 4.4 ANÁLISE DAS INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICAS-GEOTÉCNICAS

As investigações geológicas-geotécnicas compreenderam a execução de 12 sondagens mistas, destas, 8 foram na fase de Anteprojeto e 4 na fase de projeto básico. Na última etapa, os furos novos executados no primeiro semestre do ano de 2020 pelo Projeto Básico, para detalhamento da região de emboque (SM-CET-01 e SM-CET-02) e do desemboque (SM-CET-03 e SM-CET-04), assim como os dados geofísicos oriundos dos levantamentos de sísmica de refração realizados no eixo de implantação da estrutura, pelo Anteprojeto.

Visando aprimorar este conhecimento geológico-geotécnico prévio do maciço, buscou-se uma calibração entre os dados disponíveis, de tal forma, que os dados sísmicos pudessem preencher as lacunas entre as investigações geológico-geotécnicas diretas, mantendo sempre a coerência geológica das interpretações, mediante todo o conjunto de informações disponibilizadas.

Além da sobreposição dos dados de sondagem e geofísica no perfil, foram também analisados elementos topográficos e geomorfológicos do entorno. Este aspecto apresenta relevância, pois os levantamentos da sísmica apontaram trechos do túnel com redução relativa na velocidade de propagação das ondas.

Destaca-se a presença de lineamentos estruturais observáveis principalmente nos modelos digitais do terreno e, subordinadamente, nas imagens de satélite, que consistem de feições comumente retilíneas, relativamente extensas, que marcam expressivamente o relevo e condicionam a orientação dos talwegues.

Embora estas feições de direção SW-NE, se apresentem de forma bastante sutil nas proximidades do traçado do túnel Vila Matias, é possível observá-las nas porções mais dissecadas do relevo a nordeste da área, em direção aos braços do reservatório de Paulo Afonso, e, cujos prolongamentos acabariam interceptando o traçado do túnel.

Esta análise acabou por corroborar algumas anomalias geofísicas que sugeriam zonas com maior probabilidade de ocorrência de rocha mais fraturada. As anomalias ocorrem de duas formas distintas: alteração na velocidade de propagação das ondas sísmicas, restritas às porções mais profundas do maciço, sem grandes influências nas porções mais rasas e alteração sistemática nas velocidades afetando todo o alcance vertical da seção sísmica. Estas últimas feições, em particular, representam fortes indícios de deterioração da qualidade do maciço rochoso, seja pela simples ocorrência de uma faixa de rochas mais fraturada, seja pelo simples rebaixamento do topo rochoso como consequência da estruturação da rocha, ou pela combinação destes dois aspectos.

Todas estas observações acima relatadas foram criteriosamente levadas em consideração para obtenção do perfil geológico-geotécnico original do Túnel Vila Matias.

A partir dessa seção atualizada foi realizada a compartimentação geomecânica do túnel, tendo como critério principal a cobertura rochosa estimada acima do teto projetado na escavação.

A seção escavada nos túneis de classes I a IV apresentam a mesma geometria e dimensões, diferenciando-se pelas tipologias, quantidades e espessuras dos sistemas de tratamento e suporte, resultando em seções acabadas com diferentes seções livres, respeitando-se, sempre, o mínimo requerido como seção hidráulica.

Eventualmente nas seções de classe IV, e na totalidade das seções em classe V, é prevista a execução de arco invertido a fim de melhorar as condições de estabilidade da seção

acabada. Deverão ser realizados enchimentos de concreto magro no piso, buscando eliminar degraus de elevadas dimensões que resultariam em perturbações ao escoamento.

Foram analisadas as condições apresentadas no Projeto Básico para execução do túnel projetado. A **Tabela 3.1**, apresentada no capítulo anterior, resume as principais características dos perfis e logs das sondagens mistas executadas.

Em seguida foram verificadas as projeções das sondagens no perfil geológico-geotécnico.

No perfil se mostram os furos executados, as litologias e a classificação do maciço conforme o método RMR (Rock Mass Rate) de Bieniawski apropriado para este tipo de obra.

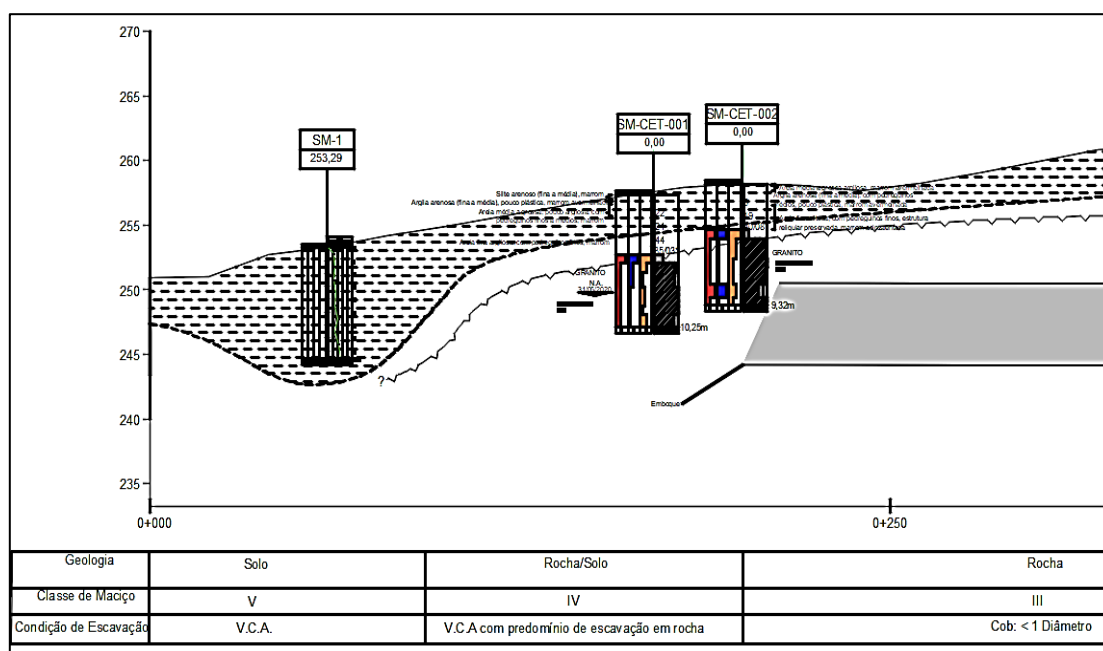
Foi verificado o espaçamento das sondagens e encontrado aceitável nesta fase de projeto básico. O maior espaçamento entre sondagens, 494m, se encontra entre SM-CET-003 e SM-4, sem, no entanto, inviabilizar o projeto do túnel, pois a geologia e as condições geotécnicas são aceitáveis. Conclui-se que as informações geológico-geotécnicas são suficientes pois não mudam o tipo de maciço a ser escavado.

#### 4.5 CLASSIFICAÇÃO DO TIPO DE MACIÇO E RESPECTIVOS TRATAMENTOS

Nos perfis apresentados nas **Figuras 4.9 a 4.13** pode-se verificar a classificação dos maciços de Classe V, IV, III e II que vem a resultar nas seções de tratamento ilustradas nas **Figuras 4.14 a 4.16**, típicas para cada tipo de rocha a ser escavada. Nas **Figuras 4.9 a 4.13** além da classe de maciço se indica a posição relativa do túnel com a espessura de cobertura em diâmetros de túnel, uma indicação da provável condição de estabilidade do maciço para escavação. Em geral, coberturas com espessura maior que 2 diâmetros são mais favoráveis para escavação e estabilidade pela condição autoportante do maciço.

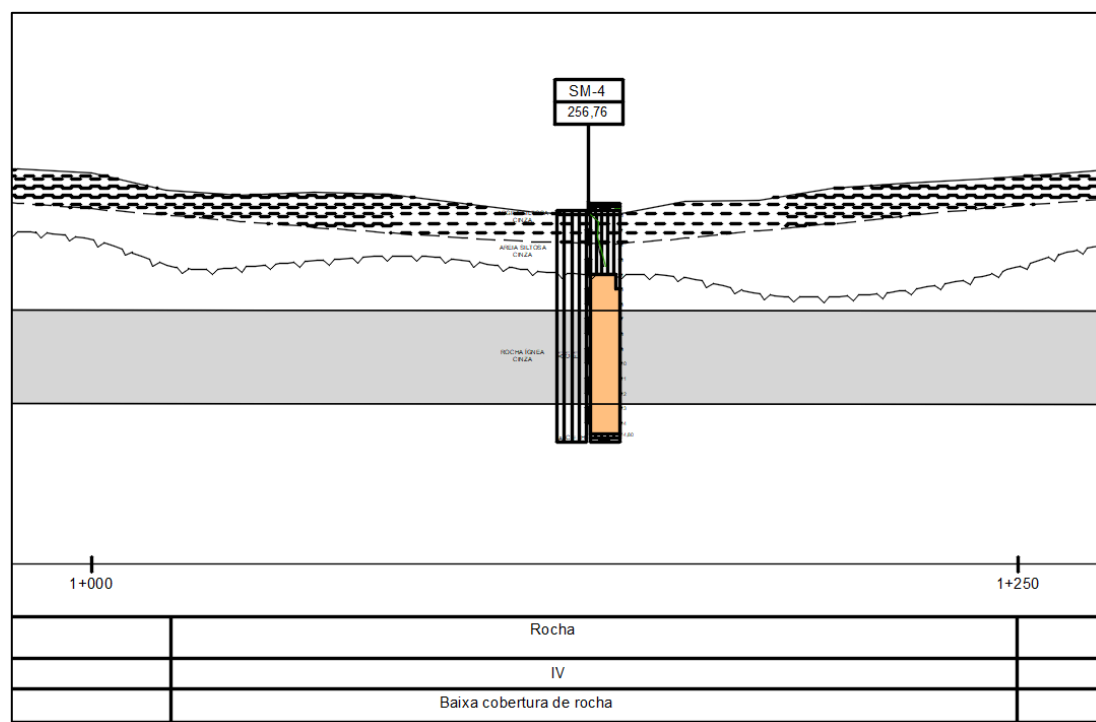
Nas **Tabela 4.1 e 4.2**, estão apresentados o resumo do tipo de tratamento com as classes de maciço indicadas no trecho especificado e a compartimentação geomecânica do túnel e na **Figura 4.18** as seções geométricas e de tratamento típicas.

**Figura 4.9: Sondagens SM-1, SM-CET-001 e SM-CET-002 e Classe de Maciço**



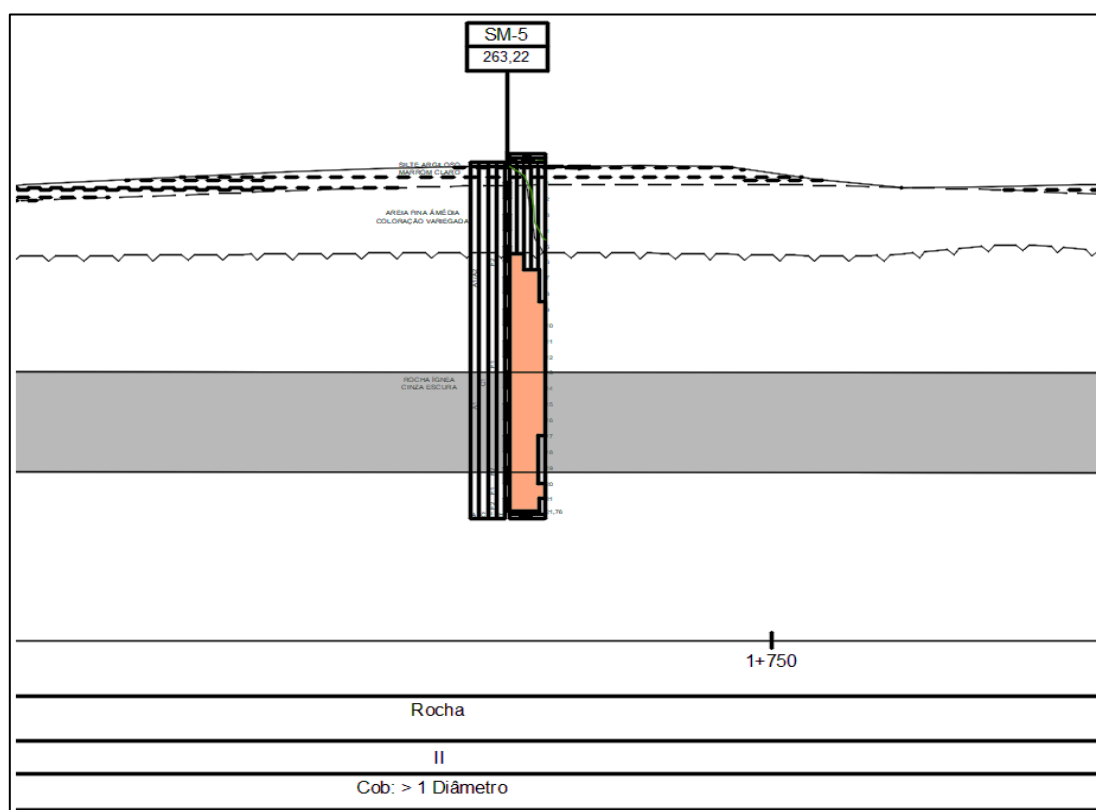
Fonte: Extraído do documento 1377-CDF-00-GE-DS-0033-R03

Figura 4.10: Sondagem SM-4 e Classe de Maciço



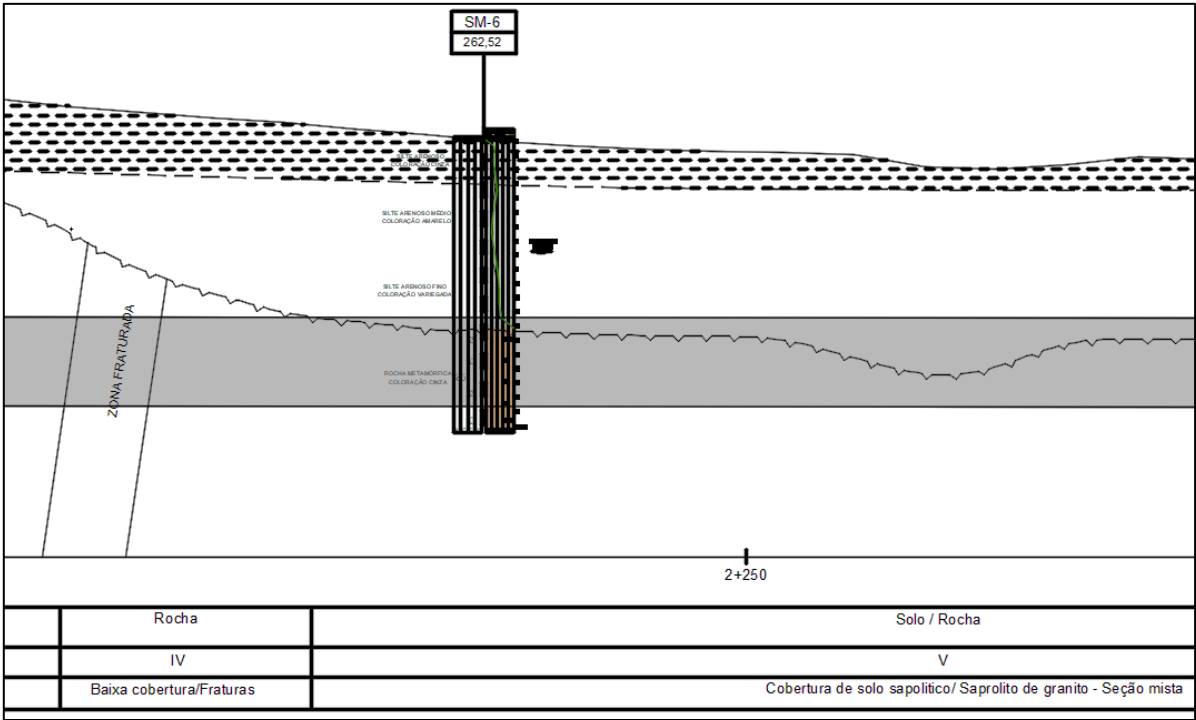
Fonte: Extraído do documento 1377-CDF-00-GE-DS-0033-R03

Figura 4.11: Sondagem SM-5 e Classe de Maciço



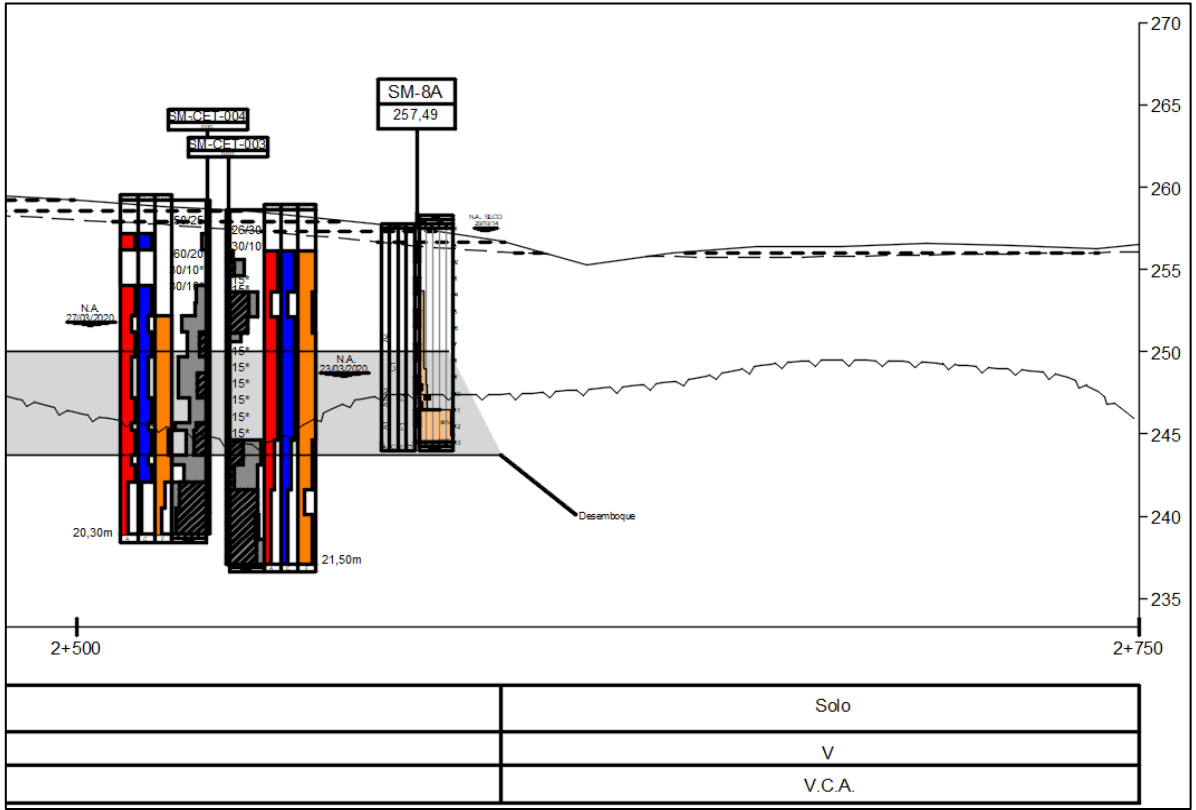
Fonte: Extraído do documento 1377-CDF-00-GE-DS-0033-R03

Figura 4.12: Sondagem SM-8 e Classe de Maciço



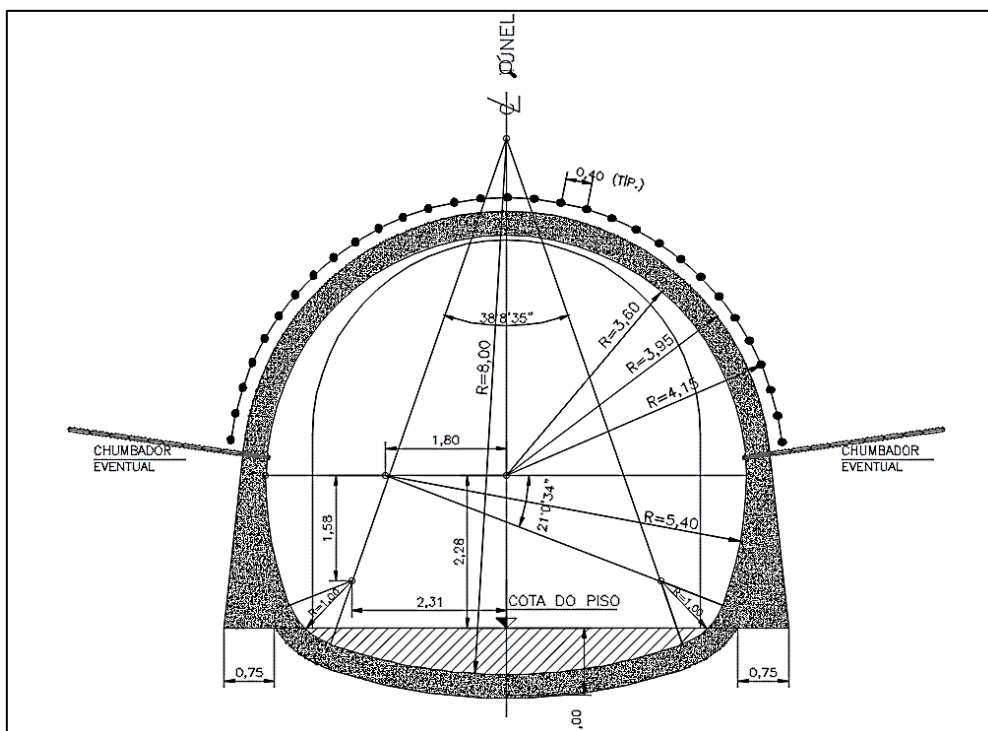
Fonte: Extraído do documento1377-CDF-00-GE-DS-0033-R03

Figura 4.13: Sondagens SM-CET-004, SM-CET-003, SM-8A e Classe de Maciço

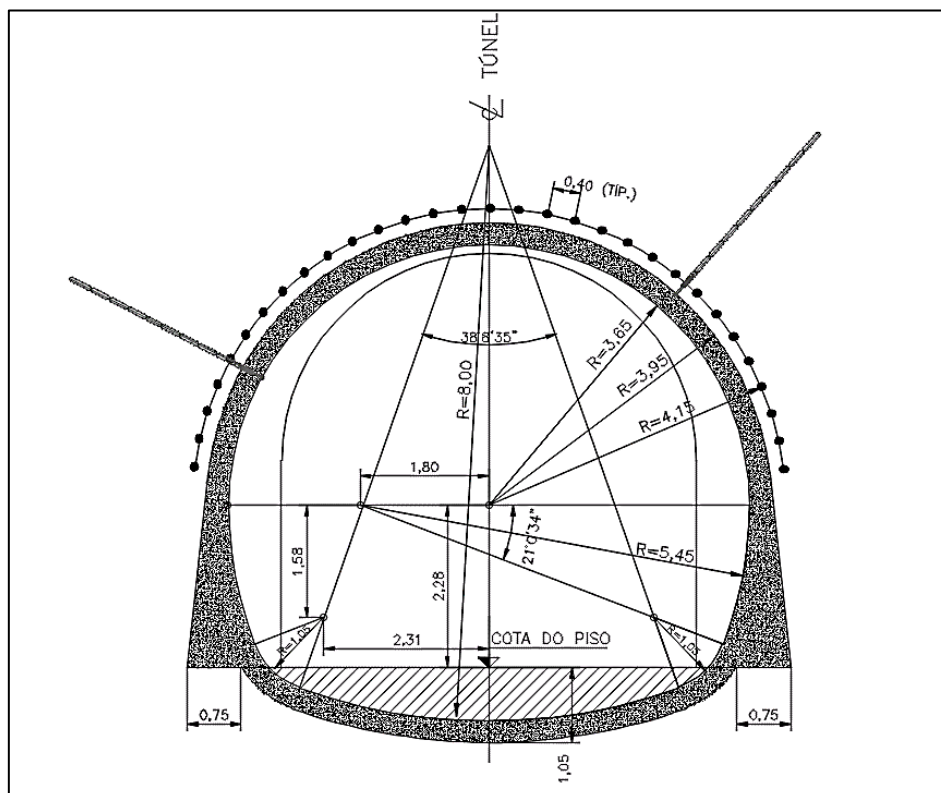


Fonte: Extraído do documento1377-CDF-00-GE-DS-0033-R03

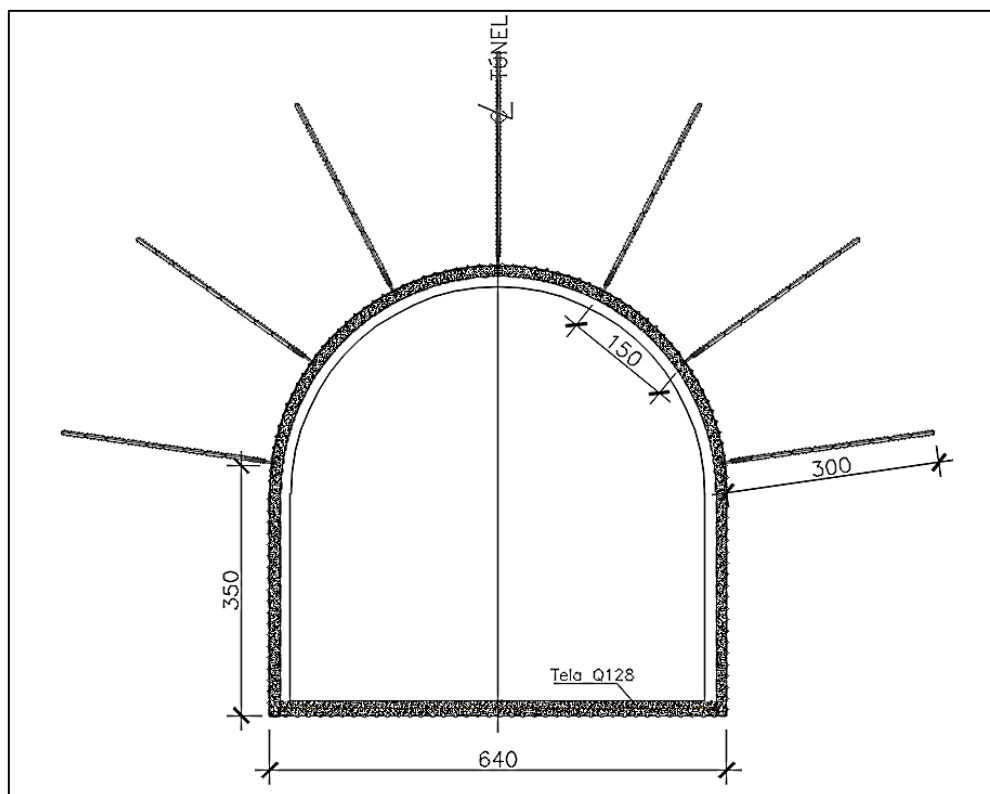


**Figura 4.14: Seção para Escavação e Tratamento de Túnel em Rocha Classe V**

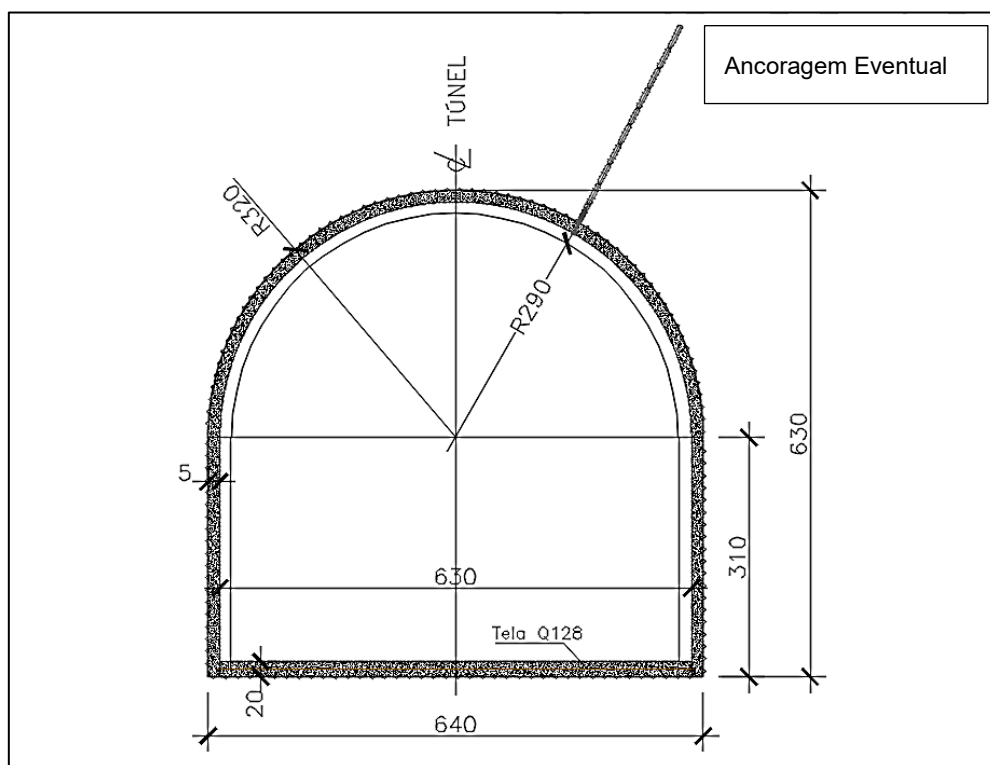
Fonte: Projeto Executivo – Consórcio Techne/Engeconsult (2021)

**Figura 4.15: Seção Para Escavação e Tratamento de Túnel em Rocha Classe IV**

Fonte: Projeto Executivo – Consórcio Techne/Engeconsult (2021)

**Figura 4.16: Seção para Escavação e Tratamento de Túnel em Rocha Classe III**

Fonte: Projeto Executivo – Consórcio Techne/Engeconsult (2021)

**Figura 4.17: Seção para Escavação e Tratamento de Túnel em Rocha Classe II**

Fonte: Projeto Executivo – Consórcio Techne/Engeconsult (2021)

**Tabela 4.1: Resumo dos Principais Tratamentos do Túnel de Acordo com a Classe de Maciço**

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DO MACIÇO (BIENIAWSKI - RMR) E TRATAMENTOS APLICÁVEIS									
Classe	RMR Index	Tratamento Tipo	Enfilagem	Tirante	Concreto Projetado	Cambota	Tela Metálica	Invert	Avanço
II - Boa	61-80	T-2	Não		fck > 30 Mpa (Parede e teto) - Fibra 45 kg/m3.	Não	Tela Eletrosoldada Q138 (2,20 kg/m2)	Não	Frente completa de 1,50 a 2,00 m
III- Rocha média	41-60	T-3	Não	Aço CA 50 com Resina $\phi$ 25 mm - L = 3,00 m x 7 = 21 m - Malha triangular 1,50 x 1,50 m - Carga de Trabalho (Ct) = 100 kN - Protensão (50% de Ct) = 50 KN.	fck > 30 Mpa (Parede e teto) - Fibra 45 kg/m3.	Não	Tela Eletrosoldada Q138 (2,20 kg/m2)	Não	Frente completa de 1,00 a 1,50 m
IV- Rocha Pobre	21-40	T-4	31 Furos de 15 m $\phi$ 100 mm espaçados a cada 0,40 m.	Tirante eventual Aço CA 50 com Resina $\phi$ 25 mm - L = 3,00 m.	fck > 30 Mpa (Parede e teto) - Fibra 45 kg/m3.	Sistemática treliçada aço CA-50 $\phi$ 20 mm espaçada a cada 0,80 m.	Não	Sistemático espaçado a cada 0,80 m com concreto de enchimento de fck = 30 Mpa	Frente completa de 1,00 m
V- Solo	<20	T-5	31 Furos de 15 m $\phi$ 100 mm espaçados a cada 0,40 m.	Tirante eventual Aço CA 50 com Resina $\phi$ 25 mm - L = 3,00 m.	fck > 30 Mpa (Parede e teto) - Fibra 45 kg/m3.	Sistemática treliçada aço CA-50 $\phi$ 20 mm espaçada a cada 0,80 m.	Não	Sistemático espaçado a cada 0,80 m com concreto de enchimento de fck = 30 Mpa	Frente completa de 1,00 m

Na **Tabela 4.2** está apresentada a compartimentação geomecânica identificada ao longo do desenvolvimento do túnel.

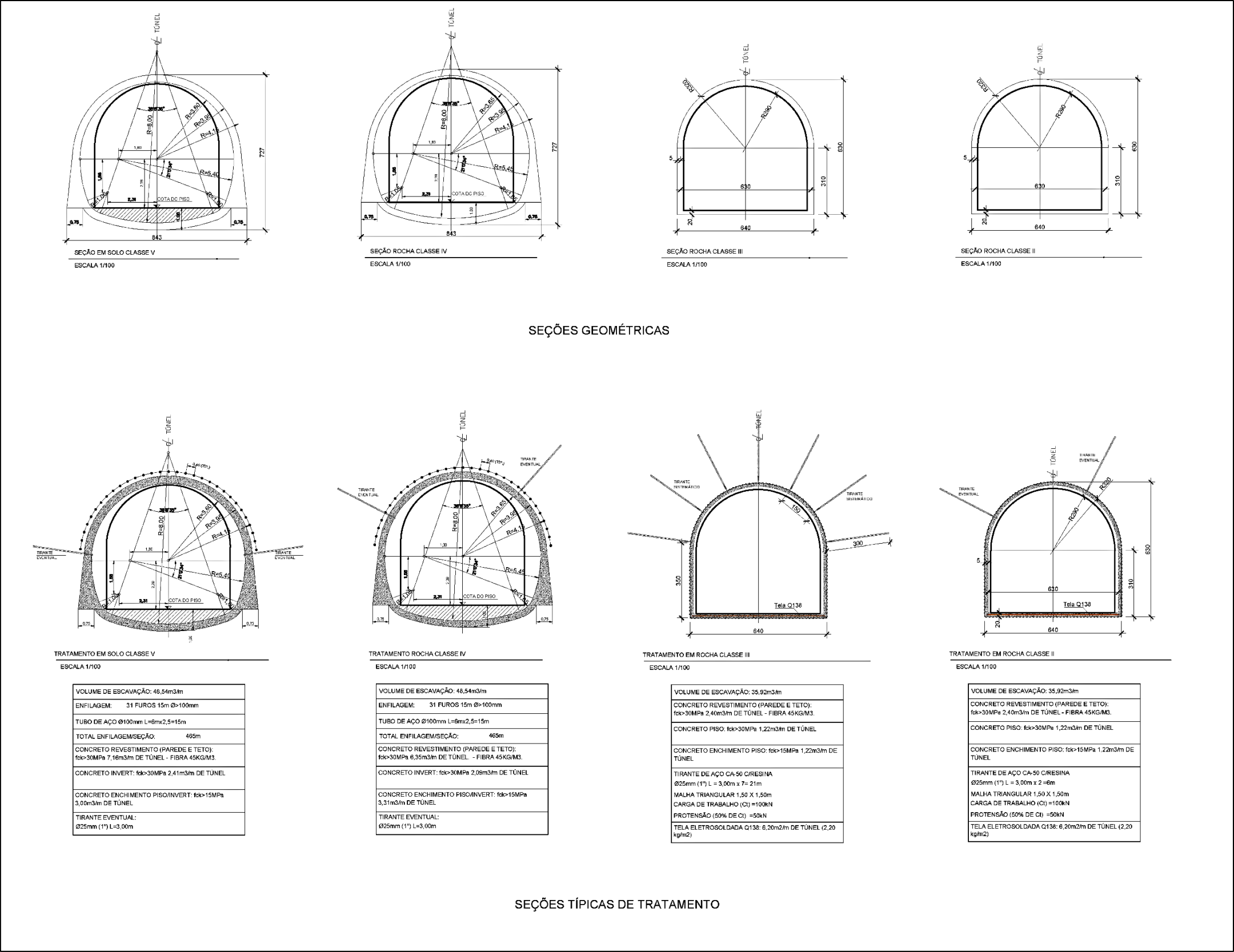
**Tabela 4.2: Compartimentação Geomecânica do Túnel**

Estaca (km)		Comprimento (m)	Classe do Maciço
Início	Fim		
0+200,00	0+298,80	98,80	V
0+298,80	0+499,80	201,00	IV
0+499,80	0+573,00	73,20	II
0+573,00	0+723,3	150,30	III
0+723,3	0+827,50	104,20	II
0+827,50	1+049,90	222,40	III
1+049,90	1+199,80	149,90	IV
1+199,80	1+850,00	650,20	III
1+850,00	1+950,00	100,00	II
1+950,00	2+400,00	450,00	IV
2+400,00	2+600,00	200,00	V
<b>Total</b>		<b>2400,00</b>	
Extensão por Classe do Maciço			
Classe II	Classe III	Classe IV	Classe V
277,40	1022,90	800,90	298,80

Fonte: Projeto Executivo – Consórcio Techne/Engeconsult (2021)



Figura 4.18: Seções Geométricas e de Tratamento Típicas



Fonte: Projeto Executivo – Consórcio Techne/Engeconsult (2021)

#### 4.6 INSTRUMENTAÇÃO E MONITORAMENTO DAS ESCAVAÇÕES

As escavações subterrâneas deverão ser monitoradas, pois durante sua execução o maciço rochoso pode apresentar deformabilidade e/ou movimentação, seja ela horizontal ou vertical. Neste sentido, foram previstos instrumentos internos, a serem instalados à medida que ocorre o avanço da escavação, e externos, podendo ser instalados antes mesmo do início das escavações.

Para a parte interna, está prevista a instalação de pinos de convergência, para a verificação das possíveis movimentações do maciço ao longo das escavações, sejam eles divergentes ou convergentes.

Na parte externa, estão previstos os seguintes instrumentos:

- Marcos Topográficos;
- Inclinômetros;
- Nível de Água;
- Piezômetros.

Além desses instrumentos, a escavação subterrânea deve ser executada com o acompanhamento sismográfico das ondas de detonação no maciço. O raio de abrangência desse monitoramento deve ser de no mínimo 500 metros do ponto central da detonação.

As casas e habitações no entorno desse raio, precisarão ser monitoradas periodicamente, a fim de assegurar a integridade das construções. Da mesma forma, os moradores locais, deverão ser deslocados para abrigo seguro no momento das detonações, caso haja a necessidade.

As especificações técnicas dos materiais e serviços necessários a implantação das obras estão apresentadas no documento **5001-REF-2001-00-04-001-R00 - Especificações Técnicas**.

## 4.7 FICHA TÉCNICA

Tabela 4.3: Ficha Técnica do Túnel Vila Matias

Início	km.:0+200,00
	UTM E=582.843,326; N=8.955.639,730
Fim	km.:2+600,00
	UTM E=584.792,523; N=8.954.239,504
Extensão	2.400,00m
Seção hidráulica	Arco Retângulo
Base	5,80m
Altura	5,80m
Escavação (seção geométrica)	
1ª categoria	148.250,50m <sup>3</sup>
2ª categoria	33.344,06
3ª categoria	65.128,84
Concreto	
Concreto projetado via úmida 30MPa	16.917,24
Concreto CCV 30MPa	3.135,89
Concreto para preenchimento 15MPa	5.629,65
Classe do Maciço	
Classe II	277,40m
Classe III	1022,90m
Classe IV	800,90m
Classe V	298,80m






MINISTÉRIO DO  
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



## 5. MAPA DE CUBAÇÃO

## 5 MAPA DE CUBAÇÃO

WBSP:	2405	EMBOQUE														
Título			PROJETISTA: 		VERIFICADO: 		APROVADO: 									
<b>MAPA DE CUBAÇÃO EMBOQUE</b>																
Número			ENG. CIVIL : Welton S. Simões de Oliveira CREA: 6770/TD-AL		ENG. CIVIL : Angela C. Ullmann CREA: 82-1-01611-4/D-RJ		ENG. CIVIL : Antônio C. A. Vidon CREA: 2724/D-DF		00      21/09/2021		Alexandre Nunes      B      ACU		Emissão Inicial			
<b>ANEXO I - MAPA DE CUBAÇÃO DESEMOQUE-R01</b>									Rev.      Data		Por      Em.      Apr.		Descrição			
<b>TIPO DE EMISSÃO</b>					<b>CONTRATO:</b>											
(A) Preliminar	(E) Para Construção		(I) de Trabalho		CT.0.169.00_2020 - PROJETO EXECUTIVO DO CANAL DE XINGÓ, FASE I, LOTE I, A SER IMPLANTADOS NOS ESTADOS DA BAHIA E DE SERGIPE											
(B) Para Aprovação	(F) Conforme Comprado		( )													
(C) Para Conhecimento	(G) Conforme Construído		( )													
(D) Para Cotação	(H) Cancelado		( )													
					<b>EMBOQUE</b>											
<b>Mapa de Cubação</b>																
Estaca	Corte 1º Cat		Corte 2º Cat		Corte 3º Cat											
	Área	Volume	Área	Volume	Área	Volume	Área	Volume	Área	Volume	Área	Volume	Área	Volume		
	( m² )	( m³ )	( m² )	( m³ )	( m² )	( m³ )	( m² )	( m³ )	( m² )	( m³ )	( m² )	( m³ )	( m² )	( m³ )		
0+71,18	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000										
0+80	195,11	860,790	0,00	0,000	0,00	0,000										
0+100	216,87	4119,850	64,18	641,810	0,00	0,000										
0+120	550,41	7672,840	228,70	2928,760	3,30	32,990										
0+140	261,46	8118,750	86,88	3155,780	36,66	399,610										
0+160	333,82	5952,800	47,16	1340,450	145,41	1820,770										
0+180	363,77	6975,850	51,11	982,740	255,62	4010,380										
0+200	228,51	5922,770	40,73	918,410	354,34	6099,610										
0+220	119,25	3477,560	4,78	455,050	0,00	3543,380										
0+225,18	0,00	308,780	0,00	12,370	0,00	0,000										
0+120,52	9,23	0,000														
0+140	1,18	101,440														
0+160	1,31	24,890														
0+180	0,00	13,060														
0+200	1,18	11,770														
0+220	2,19	33,650														
0+240	2,22	44,120														
0+260	1,05	32,770														
0+280	0,21	12,610														
0+300	0,22	4,310														
0+320	0,41	6,340														
0+340	0,36	7,760														
0+360	1,03	13,890														
0+371,17	3,15	23,310														
<b>Volume de Corte 1º Cat</b>										43.739,91 m³						
<b>Volume de Corte 2º Cat</b>										10.435,37 m³						
<b>Volume de Corte 3º Cat</b>										15.906,74 m³						
<b>Área de Limpeza Vegetal</b>										15.679,91 m²						
<b>Nota:</b>																
1º Fonte do empolamento, projeto Básico.																
2ª Utilização dos materiais provenientes das escavações obrigatórias, estará condicionada a realização dos ensaios geotécnicos de caracterização e da confirmação qualitativa dos solos a serem utilizados nos trechos em aterro. as especificações dos materiais a serem empregados nos aterros estarão contidas em documento a ser emitido após a realização das campanhas de investigações geológicas/geotécnicas e ensaios laboratoriais.																



MINISTÉRIO DO  
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



Projeto Executivo do Canal de Xingó, Fase I, Lote I

WBS: <b>2405</b>		<b>DESEMBOQUE</b>											
Título		PROJETISTA:		VERIFICADO:		APROVADO:							
MAPA DE CUBAÇÃO DESEMBOQUE													
Número		ENG. CIVIL : Welton S. Simões de Oliveira CREA: 6770/TD-AL		ENG. CIVIL : Angela C. Ullmann CREA: 82-1-01611-4/D-RJ		ENG. CIVIL : Antônio C. A. Vidon CREA: 2724/D-DF							
ANEXO I - MAPA DE CUBAÇÃO DESEMBOQUE-R01								00	22/09/2021	Alexandre Nunes	B	ACU	Emissão Inicial
								Rev.	Data	Por	Em.	Apr.	Descrição
TIPO DE EMISSÃO				CONTRATO:				Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba - CODEVASF					
(A) Preliminar		(E) Para Construção		(I) de Trabalho									
(B) Para Aprovação		(F) Conforme Comprado		( )									
(C) Para Conhecimento		(G) Conforme Construído		( )									
(D) Para Cotação		(H) Cancelado		( )									
<b>DESEMBOQUE</b>													
<b>Mapa de Cubação</b>													
Estaca	Corte 1º Cat		Corte 2º Cat		Corte 3º Cat								
	Área	Volume	Área	Volume	Área	Volume	Área	Volume	Área	Volume	Área	Volume	
	( m² )	( m³ )	( m² )	( m³ )	( m² )	( m³ )	( m² )	( m³ )	( m² )	( m³ )	( m² )	( m³ )	
2+579,056	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000							
2+580	19,36	9,130	0,00	0,000	0,00	0,000							
2+600	111,31	1306,710	307,62	3076,210	57,41	574,130							
2+620	71,36	1826,670	278,01	5856,340	57,01	1144,240							
2+640	91,30	1626,600	172,53	4505,430	11,34	683,530							
2+660	113,43	2047,300	150,31	3228,350	0,00	113,420							
2+680	126,27	2396,950	103,44	2537,480	0,00	0,000							
2+700	144,39	2706,630	32,11	1355,520	0,00	0,000							
2+720	110,00	2543,900	0,00	321,090	0,00	0,000							
2+740	32,87	1428,670	0,00	0,000	0,00	0,000							
2+758,974	0,00	311,840	0,00	0,000	0,00	0,000							
Volume de Corte 1º Cat									16.204,40 m³				
Volume de Corte 2º Cat									20.880,42 m³				
Volume de Corte 3º Cat									2.515,32 m³				
Área de Limpeza Vegetal									7.535,80 m²				
Notas:													
1º Fonte do empolamento, projeto Básico.													
2º A Utilização dos materiais provenientes das escavações obrigatórias, estará condicionada a realização dos ensaios geotécnicos de caracterização e da confirmação qualitativa dos solos a serem utilizados nos trechos em aterro. as especificações dos materiais a serem empregados nos aterros estarão contidas em documento a ser emitido após a realização das campanhas de investigações geológicas/geotécnicas e ensaios laboratoriais.													



MINISTÉRIO DO  
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



**MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL – MDR**  
**Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco**  
**e do Parnaíba – CODEVASF**

**Projeto Executivo do Canal de Xingó**  
**Fase I - Lote I**

***RELATÓRIO FINAL DO PROJETO EXECUTIVO***  
***TÚNEL VILA MATIAS***

***Memória de Cálculo***  
***Volume 1***  
***Tomo III – Parte 2***

5001-REF-2001-00-03-001-R00  
Setembro - 2021



**TECHNE**  
ENGENHEIROS CONSULTORES



**ENGECONSULT**  
Consultoria Técnica Ltda.



# ÍNDICE

## Índice da Parte 2

<b>A. Apresentação</b>	<b>47</b>
<b>A. APRESENTAÇÃO</b>	<b>48</b>
A.1 CRITÉRIOS ADOTADOS E DOCUMENTOS BASE	48
A.2 ESTRUTURAÇÃO DO RELATÓRIO	48
A.3 EQUIPE TÉCNICA	48
A.3.1 GEOLOGIA E GEOTECNIA	49
A.3.2 TÚNEL VILA MATIAS	49
A.3.3 QUANTITATIVOS, ORÇAMENTO E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	49
A.3.4 EQUIPE DE APOIO	49
A.3.5 TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO	49
<b>1. Túnel Vila Matias</b>	<b>50</b>
<b>1 TÚNEL VILA MATIAS</b>	<b>51</b>
1.1 DESCRIÇÃO	51
<b>2. Caracterização Geológico-Geotécnica</b>	<b>52</b>
<b>2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA</b>	<b>53</b>
2.1 GERAL	53
2.2 EMBOQUE	61
2.3 DESEMBOQUE	62
<b>3. DIMENSIONAMENTO</b>	<b>63</b>
<b>3 DIMENSIONAMENTO</b>	<b>64</b>
3.1 RMR INDEX - DESCRIÇÃO	64
3.2 DIMENSIONAMENTO DO TRATAMENTO	66
3.2.1 ESTACA 0+298 ATÉ 0+498,80 M	66
3.2.2 ESTACA 0+498,80 A 0+699,80 M	69
3.2.3 ESTACA 0+699,80 A 0+773,00 M	72
3.2.4 ESTACA 0+773,00 A 0+923,30 M	75
3.2.5 ESTACA 0+923,30 A 1+027,50 M	78
3.2.6 ESTACA 1+027,50 ATÉ 1+249,90 M	81
3.2.7 ESTACA 1+249,90 A 1+399,80 M	84
3.2.8 ESTACA 1+399,80 A 1+473,80 M	87
3.2.9 ESTACA 1+473,80 A 2+050,00 M	90
3.2.10 ESTACA 2+050,00 ATÉ 2+150,00 M	93
3.2.11 ESTACAS 0+200,00M ATÉ 0+298,80M E 2+150,00 ATÉ 2+600,00 M	96
<b>4. Análise do Estado de Tensões</b>	<b>99</b>
<b>4 ANÁLISE DO ESTADO DE TENSÕES</b>	<b>100</b>
4.1 MODELAMENTO	100



MINISTÉRIO DO  
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



Projeto Executivo do  
Canal de Xingó, Fase I, Lote I

4.1.1	ESTACA 0+298,80 ATÉ 0+498,80 M - MACIÇO CLASSE IV .....	101
4.1.2	ESTACA 0+498,80 ATÉ 0+699,80 M - MACIÇO CLASSE II .....	102
4.1.3	ESTACA 0+699,80 ATÉ 0+773,00 M - MACIÇO CLASSE III .....	104
4.1.4	ESTACA 0+773,00 A 0+923,30 M - MACIÇO CLASSE II .....	105
4.1.5	ESTACA 0+923,30 A 1+027,50 M - MACIÇO CLASSE III .....	107
4.1.6	ESTACA 1+027,50 A 1+249,90 M - MACIÇO CLASSE IV .....	108
4.1.7	ESTACA 1+249,90 A 1+399,80 M - MACIÇO CLASSE III .....	110
4.1.8	ESTACA 1+399,80 A 1+473,80 M - MACIÇO CLASSE III .....	112
4.1.9	ESTACA 1+473,80 A 2+050,00 M - MACIÇO CLASSE II .....	113
4.1.10	ESTACA 2+050,00 A 2+150,00 M - MACIÇO CLASSE IV .....	115
4.1.11	ESTACAS 0+200,0 ATÉ 0+298,80 M E 2+150,00 A 2+600,00 M - MACIÇO CLASSE V .....	117
4.2	INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS .....	119
4.3	CONCLUSÕES .....	119

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Sondagens SM-01, SM-CET-001, SM-CE-002. ....	54
Figura 2.2: Geometria da Seção do Emboque em Classe V.....	55
Figura 2.3: Tensões na Seção do Emboque em Classe V.....	55
Figura 2.4: Geometria da Seção do Emboque em Classe IV.....	56
Figura 2.5 – Tensões na seção do Emboque em classe IV.....	56
Figura 2.6: Geometria da Seção em Classe III.....	57
Figura 2.7: Tensões em seção de classe III. ....	57
Figura 2.8: Sondagem SM-04 entre Estacas 1+000 e 1+250m. ....	58
Figura 2.9: Sondagem SM-05 entre Estacas 1+000 e 1+250m. ....	58
Figura 2.10 – Geometria da Seção em Classe III.....	59
Figura 2.11 – Tensões em Seção de Classe III. ....	59
Figura 2.12: Sondagem SM-06 entre Estacas 2+150 e 2+250m. ....	60
Figura 2.13: Sondagens SM-CET-004, SM-003, SM-8A.....	60
Figura 2.14: Emboque - Planta. ....	61
Figura 2.15: Desemboque - Planta.....	62
Figura 3.1: Tratamento Estaca 0+298,80 até 0+498,80 RMR=37=Classe IV.....	68
Figura 3.2: Tratamento Estaca 0+498,80 até 0+699,80 RMR=65=Classe II. ....	71
Figura 3.3: Tratamento Estaca 0+699,80 até 0+773,00 RMR=42=Classe III. ....	74
Figura 3.4: Tratamento Estaca 0+773,00 até 0+923,30 RMR=65=Classe II. ....	77
Figura 3.5: Tratamento Estaca 0+923,30 até 1+027,50 RMR=42=Classe III. ....	80
Figura 3.6: Tratamento Estaca 1+027,50 até 1+249,90 RMR=37=Classe IV.....	83
Figura 3.7: Tratamento Estaca 1+249,90 a 1+399,80 RMR=42=Classe III.....	86
Figura 3.8: Tratamento Estaca 1+399,80 a 1+473,80 RMR=42=Classe III.....	89
Figura 3.9: Tratamento Estaca 1+473,80 a 2+050,00 RMR=65=Classe II.....	92
Figura 3.10: Tratamento Estaca 2+050,00 até 2+150 RMR=37=Classe IV. ....	95
Figura 3.11: Tratamento Estacas 0+200,00m até 0+298,80m 2+150,00 até 2+600,00 RMR=18=Classe V. ....	98
Figura 4.1: Sigma 1 – Estaca 0+200 até 0+498,80 m. ....	101
Figura 4.2: Deslocamento Horizontal – Estaca 0+200 até 0+498,80 m.....	101
Figura 4.3: Deslocamento Vertical – Estaca 0+200 até 0+498,80 m. ....	102
Figura 4.4: Sigma 1 – Estaca 0+498,80 até 0+699,80 m. ....	102
Figura 4.5: Sigma 3 – Estaca 0+498,80 até 0+699,80 m. ....	103
Figura 4.6: Strength Factor – Estaca 0+498,80 até 0+699,80 m. ....	103
Figura 4.7: Sigma 1 – Estaca 0+699,80 até 0+773,00 m. ....	104
Figura 4.8: Deslocamento Horizontal – Estaca 0+699,80 até 0+773,00 m.....	104
Figura 4.8A: Strength Factor – Estaca 0+699,80 até 0+773,00 m.....	105
Figura 4.9: Sigma 1 – Estaca 0+773,00 a 0+923,30 m. ....	105
Figura 4.10: Sigma 3 – Estaca 0+773,00 a 0+923,30 m. ....	106
Figura 4.11: Strength Factor – Estaca 0+773,00 a 0+923,30 m. ....	106
Figura 4.12: Sigma 1 – Estaca 0+923,30 a 1+027,50 m. ....	107
Figura 4.13: Sigma 3 – Estaca 0+923,30 a 1+027,50 m. ....	107
Figura 4.14: Strength Factor – Estaca 0+923,30 a 1+027,50 m. ....	108
Figura 4.15: Sigma 1 – Estaca 1+027,50 a 1+249,90 m. ....	108
Figura 4.16: Horizontal Displacement – Estaca 1+027,50 a 1+249,90 m. ....	109
Figura 4.17: Vertical Displacement – Estaca 1+027,50 a 1+249,90 m.....	109

Figura 4.18: Strength Factor – Estaca 1+027,50 a 1+249,90 m. ....	110
Figura 4.19: Sigma 1 – Estaca 1+249,90 a 1+399,80 m. ....	110
Figura 4.20: Sigma 3 – Estaca 1+249,90 a 1+399,80 m. ....	111
Figura 4.21: Strength Factor – Estaca 1+249,90 a 1+399,80 m. ....	111
Figura 4.22: Sigma 1 – Estaca 1+399,80 a 1+473,80 m. ....	112
Figura 4.23: Sigma 3 – Estaca 1+399,80 a 1+473,80 m. ....	112
Figura 4.24: Strength Factor – Estaca 1+399,80 a 1+473,80 m. ....	113
Figura 4.25: Sigma 1 – Estaca 1+473,80 a 2+050,00 m. ....	113
Figura 4.26: Sigma 3 – Estaca 1+473,80 a 2+050,00 m. ....	114
Figura 4.27: Strength Factor – Estaca 1+473,80 a 2+050,00 m. ....	114
Figura 4.28: Sigma 1 – Estaca 2+050,00 a 2+150,00 m. ....	115
Figura 4.29: Horizontal Displacement – Estaca 2+050,00 a 2+150,00 m. ....	115
Figura 4.30: Vertical Displacement – Estaca 2+050,00 a 2+150,00 m. ....	116
Figura 4.31: Strength Factor – Estaca 2+050,00 a 2+150,00 m. ....	116
Figura 4.32: Sigma 1 – Estaca 2+150,00 a 2+600,00 m. ....	117
Figura 4.33: Sigma Z – Estaca 2+150,00 a 2+600,00 m. ....	117
Figura 4.34: Horizontal Displacement – Estaca 2+150,00 a 2+600,00 m. ....	118
Figura 4.35: Vertical Displacement – Estaca 2+150,00 a 2+600,00 m. ....	118
Figura 4.36: Strength Factor – Estaca 2+150,00 a 2+600,00 m. ....	119

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Compartimentação Geomecânica do Túnel.....	54
Tabela 3.1 – Classificação Geomecânica - "Rock Mass Rating - RMR". .....	65
Tabela 3.2: Tratamento Estaca 0+298,80 até 0+498,80 RMR=37=Classe IV.....	66
Tabela 3.3: Estaca 0+298,80 até 0+498,80 (Cambotas + Concreto Projetado). .....	67
Tabela 3.4: Tratamento Estaca 0+498,80 até 0+699,80 RMR=65=Classe II. ....	69
Tabela 3.4A: Tratamento Estaca 0+498,80 até 0+699,80 RMR=65=Classe II (Tirantes e Concreto Projetado).....	70
Tabela 3.5: Tratamento Estaca 0+699,80 até 0+773,00 RMR=42=Classe III. ....	72
Tabela 3.6: Tratamento Estaca 0+699,80 até 0+773,00 RMR=42=Classe III (Tirantes e Concreto Projetado).....	73
Tabela 3.7: Tratamento Estaca 0+773,00 até 0+923,30 RMR=65=Classe II. ....	75
Tabela 3.8: Tratamento Estaca 0+773,00 até 0+923,30 RMR=65=Classe II (Tirantes e Concreto Projetado).....	76
Tabela 3.9: Tratamento Estaca 0+923,30 a 1+027,50 RMR=42=Classe III .....	78
Tabela 3.10: Tratamento Estaca 0+923,30 a 1+027,50 RMR=42=Classe III (Tirantes e Concreto Projetado).....	79
Tabela 3.11: Tratamento Estaca 1+027,50 até 1+249,90 RMR=37=Classe IV.....	81
Tabela 3.12: Estaca 1+027,50 até 1+249,90 (Cambotas + Concreto Projetado) .....	82
Tabela 3.13: Tratamento Estaca 1+249,90 a 1+399,80 RMR=42=Classe III. ....	84
Tabela 3.14: continuação –Tratamento Estaca 1+249,90 a 1+399,80 (Tirantes e Concreto Projetado).....	85
Tabela 3.15: Tratamento Estaca 1+399,80 a 1+473,80 RMR=42=Classe III. ....	87
Tabela 3.16: Tratamento Estaca 1+399,80 a 1+473,80 (Tirantes e Concreto Projetado) .....	88
Tabela 3.17: Tratamento Estaca 1+473,80 a 2+050,00 RMR=65=Classe II. ....	90
Tabela 3.18: Tratamento Estaca 1+473,80 a 2+050,00 (Tirantes e Concreto Projetado) .....	91
Tabela 3.19: Tratamento Estaca 2+050,00 até 2+150 RMR=37=Classe IV.....	93
Tabela 3.20: Estaca 2+050,00 até 2+150 (Cambotas + Concreto Projetado) .....	94
Tabela 3.21: Tratamento Estacas 0+200,00m até 0+298,80m 2+150,00 até 2+600,00 RMR=18=Classe V .....	96
Tabela 3.22: Estacas 0+200,00m até 0+298,80m 2+150,00 até 2+600,00 (Cambotas + Concreto Projetado).....	97



MINISTÉRIO DO  
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



Projeto Executivo do  
Canal de Xingó, Fase I, Lote I

## A. APRESENTAÇÃO



## A. APRESENTAÇÃO

No presente documento o Consórcio TECHNE/ENGECONSULT apresenta a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba - CODEVASF o **Relatório do Túnel Vila Matias - Memorial Descritivo e Memória de Cálculo**.

O referido relatório é parte integrante da documentação referente ao Contrato Administrativo 0.169.00/2020 firmado entre a CODEVASF e o Consórcio TECHNE/ENGECONSULT que tem como objeto os Serviços de Elaboração do Projeto Executivo do Canal de Xingó, Fase I, Lote I, a Ser Implantado nos Estados da Bahia e de Sergipe.

### A.4 CRITÉRIOS ADOTADOS E DOCUMENTOS BASE

A estrutura foco deste relatório foram detalhadas conforme concebidas no Projeto Básico e adequadas, quando necessário, objetivando o aproveitamento dos materiais de construção provenientes das escavações obrigatórias e os disponíveis na área onde será implantado o sistema adutor.

Os critérios e parâmetros adotados foram os consubstanciados nos documentos **5001-REL-2020-04-02-001-R04 - Relatório de Análise Crítica do Projeto Básico - Geologia e Geotecnia** e **5001-REL-2001-00-00-002-R01 - Análise Crítica do Projeto Básico e Definição de Parâmetros e Critérios de Projeto - Estruturas Componentes do Sistema Adutor** e nos estabelecidos no **Parecer Técnico nº 002/2021 – Origem 4ª/GRD/UEP-AD/GRD/GEP-AI/GEI – CODEFASF** emitido em 22/09/2021.

Os projetos tiveram como base a topografia fornecida pela CODEVASF.

### A.5 ESTRUTURAÇÃO DO RELATÓRIO

Este relatório, Parte 2, apresenta o memorial descritivo em 4 capítulos a saber:

- Capítulo 1: Túnel Vila Matias;
- Capítulo 2: Caracterização Geológico-Geotécnica;
- Capítulo 3: Dimensionamento;
- Capítulo 4: Análise do Estado de Tensões;

### A.6 EQUIPE TÉCNICA

Neste item estão relacionados os técnicos responsáveis pelo desenvolvimento do Projeto Executivo das estruturas objeto deste documento.

- Coordenação Geral: Antonio Carlos de Almeida Vidon
- Coordenação Adjunta: Maria Angela Capdeville Duarte Ullmann
- Coordenação Adjunta: Hélio Augusto Machado Pessoa
- Planejamento: Cristiana Couceiro de Freitas Cavalcanti

### **A.6.1 GEOLOGIA E GEOTECNIA**

- Hosana Emília Abrantes Sarmiento Leite
- Maiara de Araújo Porto
- Claudio Netto Lummertz
- João Silvino Oliveira Paiva da Silva

### **A.6.2 TÚNEL VILA MATIAS**

- Pedro Segundo Pino Veliz
- Maiara de Araújo Porto
- Claudio Netto Lummertz
- Tulio Martins de Lima

### **A.6.3 QUANTITATIVOS, ORÇAMENTO E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS**

- Hélio Augusto Machado Pessoa Filho
- Edina Pinto de Freitas
- Estanislau Fernandes Barros
- Leandro Antônio Cavalcanti da Silva
- Analice Marques de Sá Lima

### **A.6.4 EQUIPE DE APOIO**

- Luiz Felipe Meirelles Barbosa
- Alexandre Silva Nunes
- Paulo Rogério Oliveira Freitas
- Robervaldo José Lins
- Geraldo Monteiro de Sousa
- Vanuza Dantas Cavalcanti
- Maria Aparecida Menezes das Neves

### **A.6.5 TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO**

- Alex José Alcântara Oliveira



MINISTÉRIO DO  
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



Projeto Executivo do  
Canal de Xingó, Fase I, Lote I

## 1. TÚNEL VILA MATIAS

# 1 TÚNEL VILA MATIAS

## 1.1 DESCRIÇÃO

O túnel Vila Matias se inicia no km 0+200 (Piso acabado cota 244,220 m) e vai até o 2+600 (Piso acabado cota 243,720 m), resultando em 2.400 m de extensão com declive médio de 0,0625%.

O túnel foi dimensionado para uma vazão de 30,89 m<sup>3</sup>/s. Além do túnel principal o projeto inclui a escavação de oito (8) travessas de manobra de 10 m de comprimento x 6,40 m de largura que serão fechados (selados), antes da conclusão da obra, eliminando eventuais zonas de aumento de resistência ao fluxo da água.

A seção hidráulica transversal do túnel prevê uma seção tipo “arco-retângulo”, com paredes laterais revestidas de concreto projetado e piso revestido de concreto simples que varia em espessura e geometria, em relação à seção hidráulica, conforme o tipo de maciço a ser escavado.

Mantendo a seção hidráulica constante, o túnel terá as suas dimensões ajustadas “para fora”, de acordo com o tipo de revestimento, cuja espessura varia conforme o tipo de maciço a ser escavado. Esta dimensão máxima última é a seção de projeto a ser considerada na obra.



MINISTÉRIO DO  
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



Projeto Executivo do  
Canal de Xingó, Fase I, Lote I

---

## 2. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

---

## 2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

### 2.1 GERAL

As investigações geológico-geotécnicas incluíram principalmente sondagens mistas, incluindo quatro furos novos executados no primeiro semestre do ano de 2020, para detalhamento da região de emboque (SM-CET-01 e SM-CET-02) e desemboque (SM-CET-03 e SM-CET-04), assim como os dados geofísicos oriundos dos levantamentos de sísmica de refração realizados no eixo do túnel.

Visando aprimorar este conhecimento geológico-geotécnico prévio do maciço, buscou-se uma calibração entre os dados disponíveis, de tal forma, que os dados sísmicos pudessem preencher as lacunas entre as investigações geológico-geotécnicas diretas, mantendo sempre a coerência geológica das interpretações, mediante todo o conjunto de informações disponíveis.

Além da sobreposição dos dados de sondagem em geofísica em perfil, foram também analisados elementos topográficos e geomorfológicos do entorno. Este aspecto apresenta relevância uma vez que os levantamentos de sísmica apontaram trechos da seção, associados com redução relativa na velocidade de propagação das ondas.

Destaca-se a presença de lineamentos estruturais observáveis principalmente nos modelos digitais de terreno e, subordinadamente, nas imagens de satélite, que mostram alinhamento2 estruturais comumente retilíneos, relativamente extensas, que marcam expressivamente o relevo e condicionam a orientação da drenagem natural. Embora estas feições se apresentem de forma bastante sutil nas proximidades do traçado do túnel Vila Matias, é possível observá-las nas porções mais dissecadas do relevo a nordeste da área, em direção aos braços do reservatório de Paulo Afonso, e, cujos prolongamentos acabariam interceptando o traçado do túnel.

Estas feições estruturais foram confirmadas por algumas anomalias geofísicas que sugerem zonas com maior probabilidade de ocorrência de rocha mais fraturada.

As anomalias ocorrem de duas formas distintas: alteração na velocidade de propagação das ondas sísmicas, restritas às porções mais profundas do maciço, sem grandes influências nas porções mais rasas e alteração sistemática nas velocidades afetando todo o alcance vertical da seção sísmica.

Estas últimas feições, em particular, representam fortes indícios de deterioração da qualidade do maciço rochoso, seja pela simples ocorrência de uma faixa de rochas mais fraturadas, seja pelo simples rebaixamento do topo rochoso como consequência da estruturação da rocha, seja pela concomitância destes dois aspectos.

A partir do perfil geológico-geotécnico atualizado foi feita a compartimentação geomecânica do túnel, tendo como critério principal a cobertura rochosa estimada acima do teto projetado na escavação.

Os trechos de túnel escavado em maciços classes II e III (RMR) tem seção arco-retângulo, enquanto os trechos escavados em maciços classes IV e V sem a sua seção de arco invertido (“invert”). Conforme o tipo de maciço escavado e o tratamento aplicado variam os sistemas de tratamento e suporte, resultando em seções acabadas com diferentes seções livres, respeitando-se, sempre, o mínimo requerido como seção hidráulica.



A totalidade das seções em classe V consideram a execução de arco invertido de forma sistemática, para melhorar as condições de estabilidade da seção acabada. A classe IV considera também o uso de arco invertido, porém deixando aberta a possibilidade desse tratamento ser modificado se o maciço melhorar de qualidade para classe III. O acabamento da superfície interna do túnel deverá ser uniforme, sem irregularidades acentuadas ou escamas buscando eliminar degraus de elevadas dimensões que resultariam em perturbações ao escoamento.

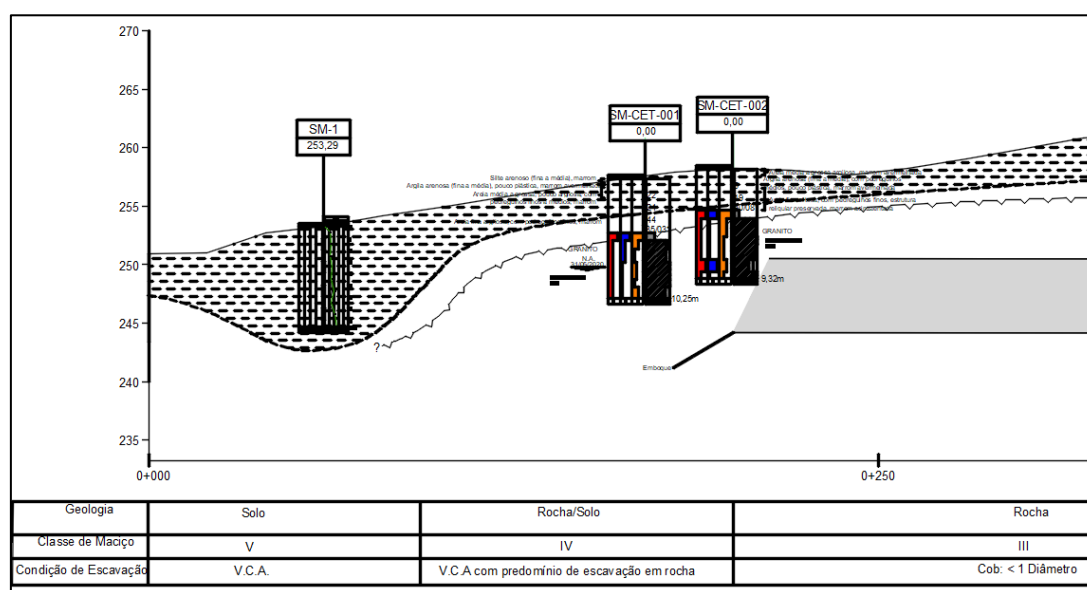
Na **Tabela 2.1** são apresentados os tipos de tratamento previstos para cada uma das categorias geomecânicas identificadas ao longo do desenvolvimento do túnel, sendo 3 (três) tipos correspondentes a seções em rocha e 1 (um) tipo único para seção em solo.

**Tabela 2.1 – Compartimentação Geomecânica do Túnel.**

Comprimento (m)	Classificação	Classe Maciço	Cobertura
298,8	Rocha	IV	Baixa Cobertura
201,0	Rocha	II	> 1 $\Phi$
73,2	Rocha	III	> 1 $\Phi$
150,3	Rocha	II	> 1 $\Phi$
104,2	Rocha	III	< 1 $\Phi$
222,4	Rocha	IV	> 0,5 $\Phi$
149,9	Rocha	III	< 1 $\Phi$
74,0	Rocha	III	< 1 $\Phi$
576,2	Rocha	II	> 1 $\Phi$
100,0	Rocha	IV	Baixa Cobertura
450,0	Saprolito	V	Cobertura de Solo Saprolítico / Saprolito de Granito

As investigações geotécnicas incluem os furos executados no local do emboque, conforme a **Figura 2.1**.

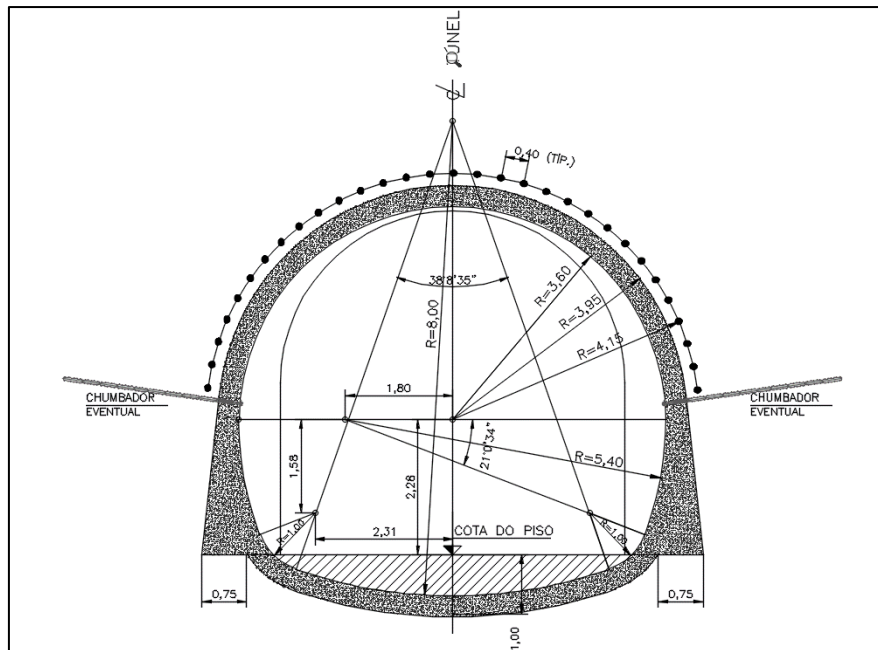
**Figura 2.1: Sondagens SM-01, SM-CET-001, SM-CE-002.**



No trecho inicial do túnel mostrado na **Figura 2.1** pode-se verificar a classificação dos maciços de Classe V, IV e III.

Importante condição oferecida pelo túnel Vila Matias é referida à sua posição relativa com a espessura de cobertura em diâmetros de túnel, uma indicação da provável condição de estabilidade do maciço para escavação. Em geral coberturas com espessura  $>2$  diâmetros são mais favoráveis para escavação e estabilidade pela condição autoportante do maciço. No caso do emboque a cobertura é menor que um diâmetro do túnel. Nas Figuras a seguir estão apresentadas a geometria, o tratamento pesado (enfilagens, cambotas e concreto projetado) e as análises de tensões com baixa cobertura.

**Figura 2.2: Geometria da Seção do Emboque em Classe V.**



**Figura 2.3: Tensões na Seção do Emboque em Classe V**

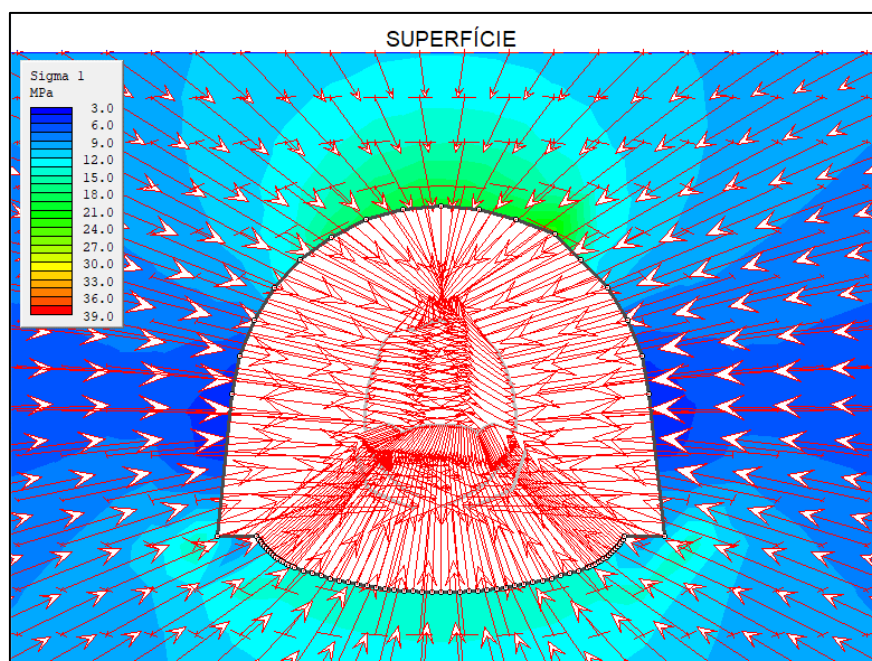


Figura 2.4: Geometria da Seção do Emboque em Classe IV.

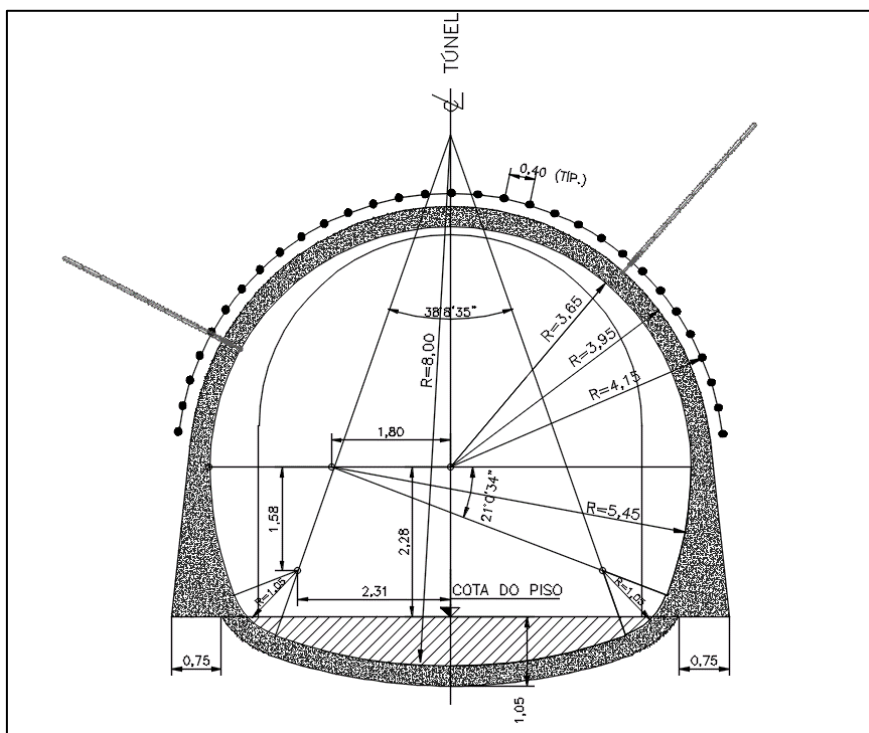
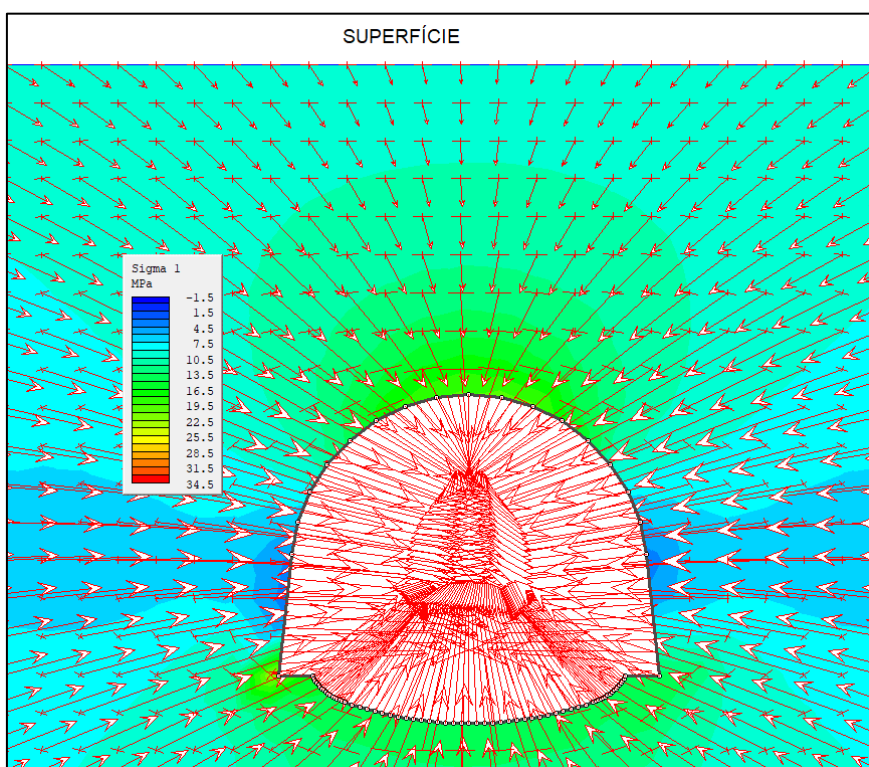


Figura 2.5 – Tensões na seção do Emboque em classe IV.



Note-se que a diferença entre as seções de classes V e IV estão somente na espessura do revestimento. A geometria externa é a mesma.

Figura 2.4: Geometria da Seção em Classe III.

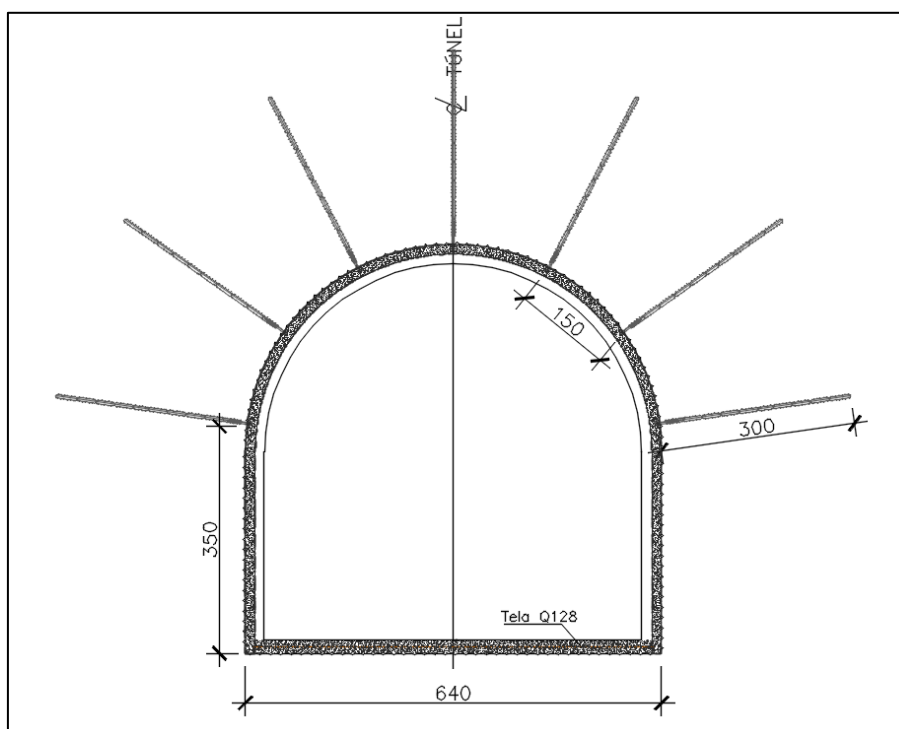


Figura 2.5: Tensões em seção de classe III.

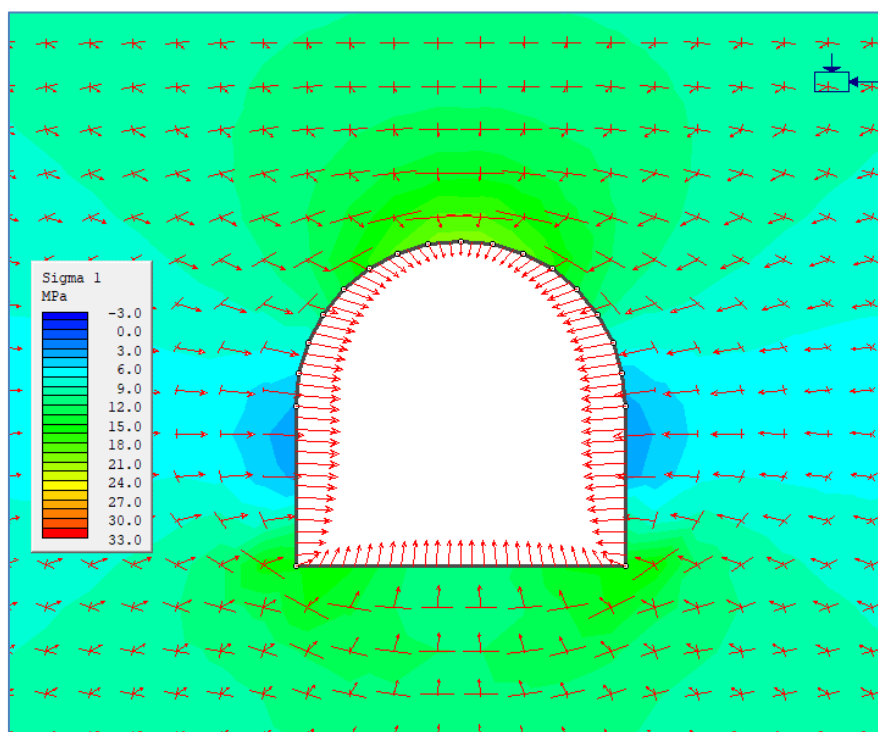


Figura 2.6: Sondagem SM-04 entre Estacas 1+000 e 1+250m.

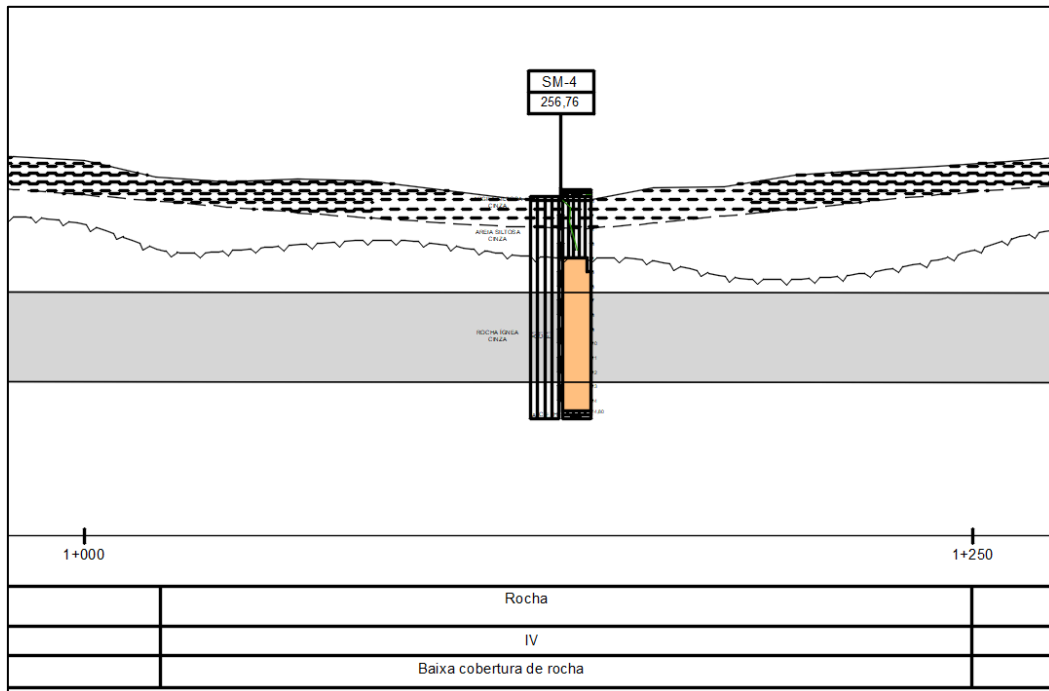


Figura 2.7: Sondagem SM-05 entre Estacas 1+000 e 1+250m.

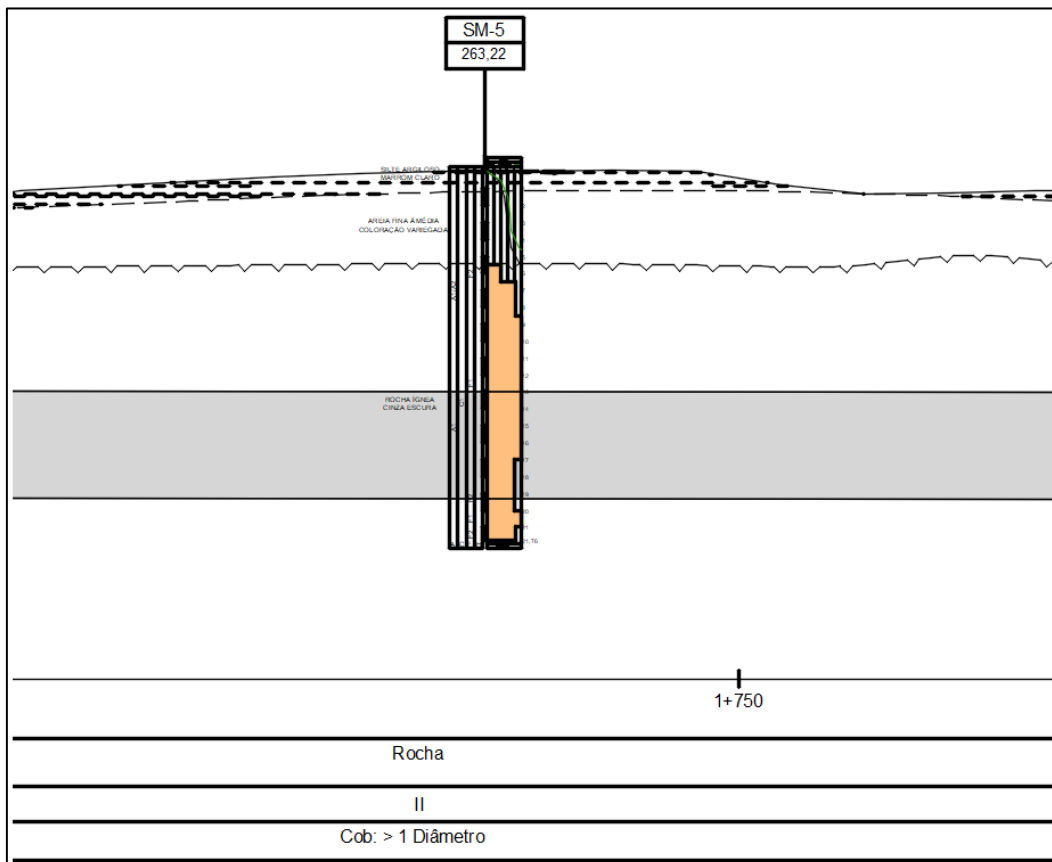


Figura 2.8 – Geometria da Seção em Classe III.

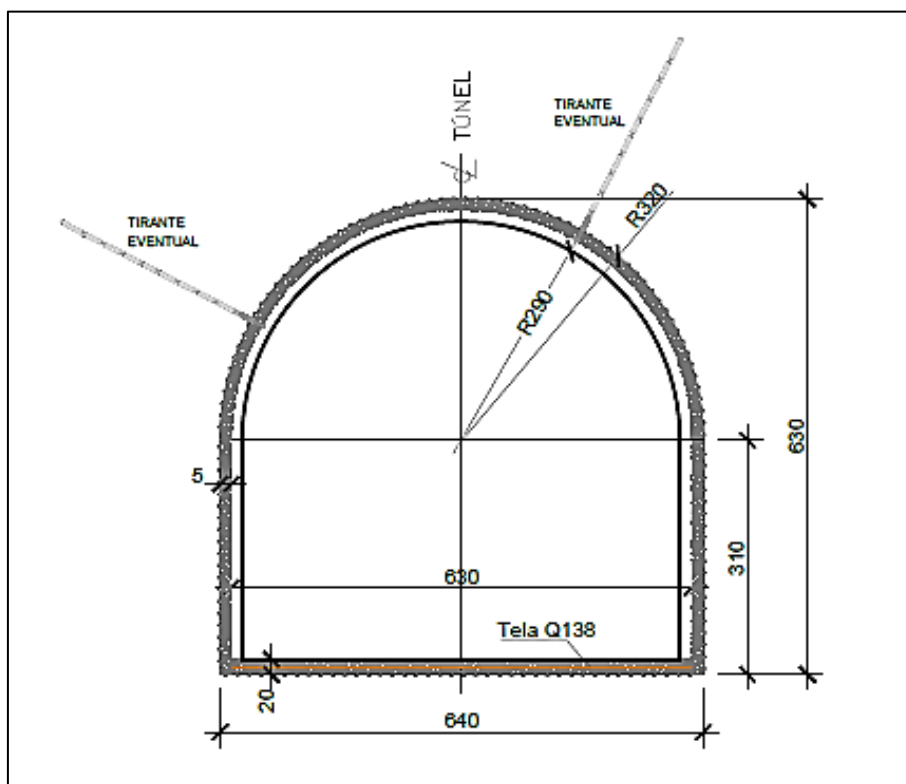


Figura 2.9 – Tensões em Seção de Classe III.

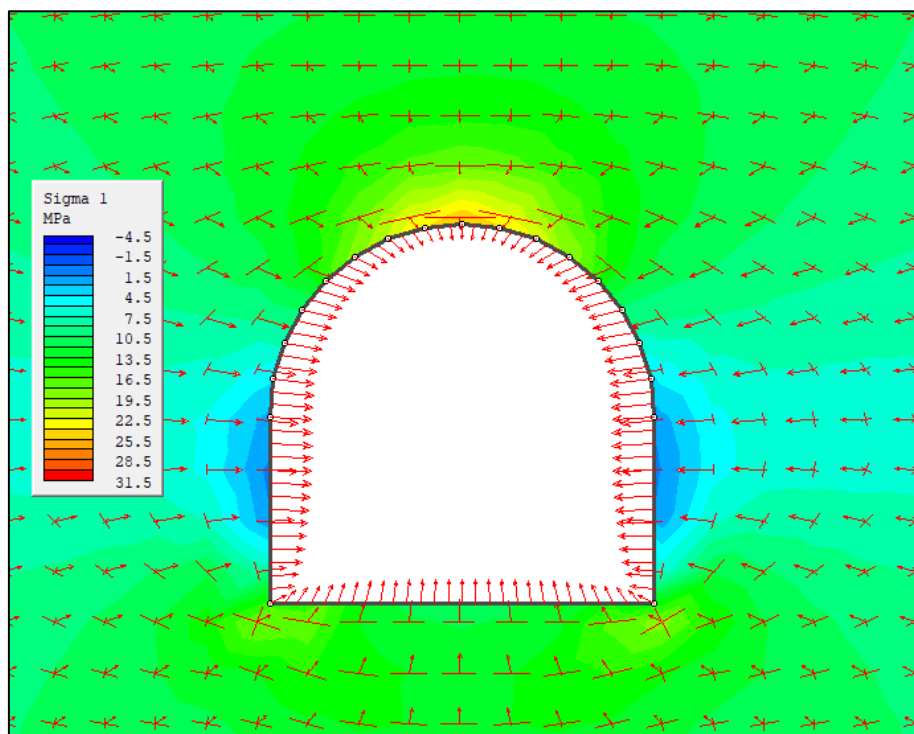


Figura 2.10: Sondagem SM-06 entre Estacas 2+150 e 2+250m.

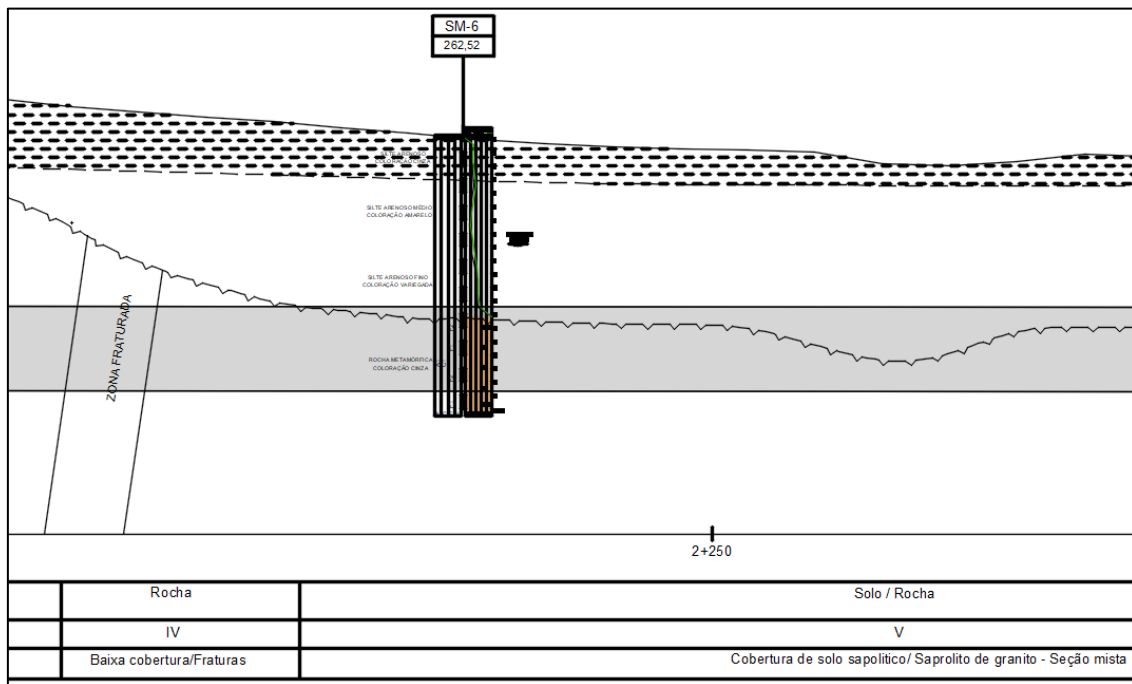
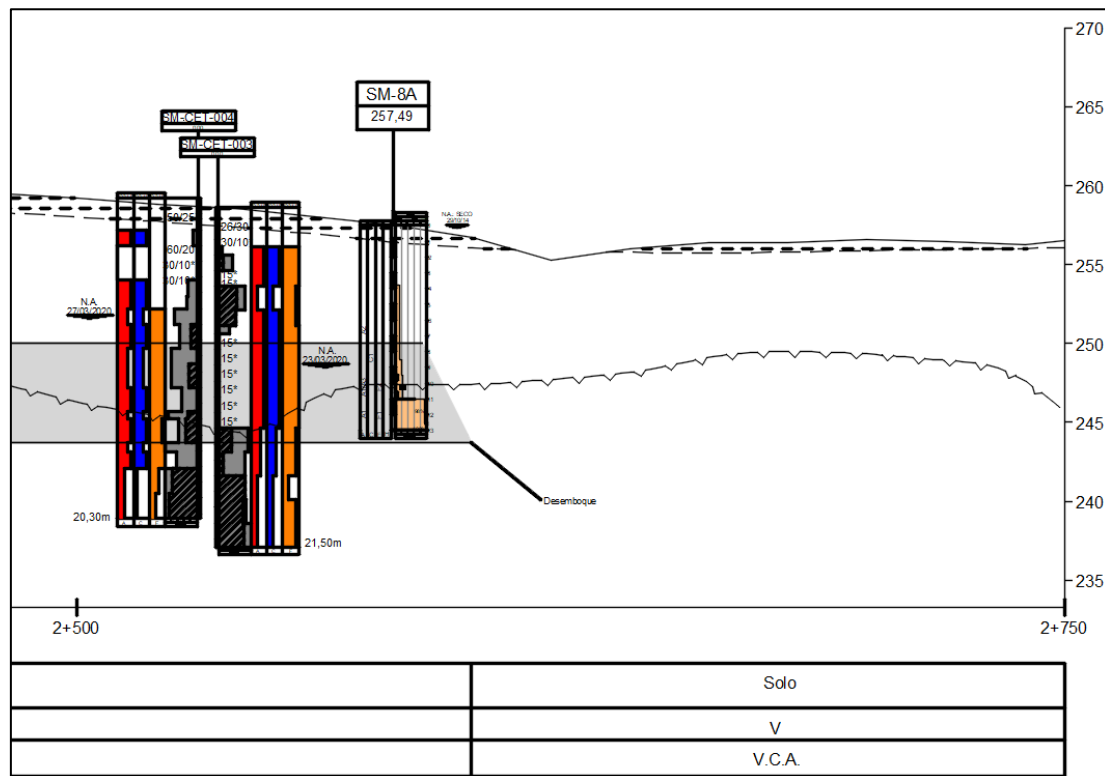


Figura 2.11: Sondagens SM-CET-004, SM-003, SM-8A.





## 2.2 EMBOQUE

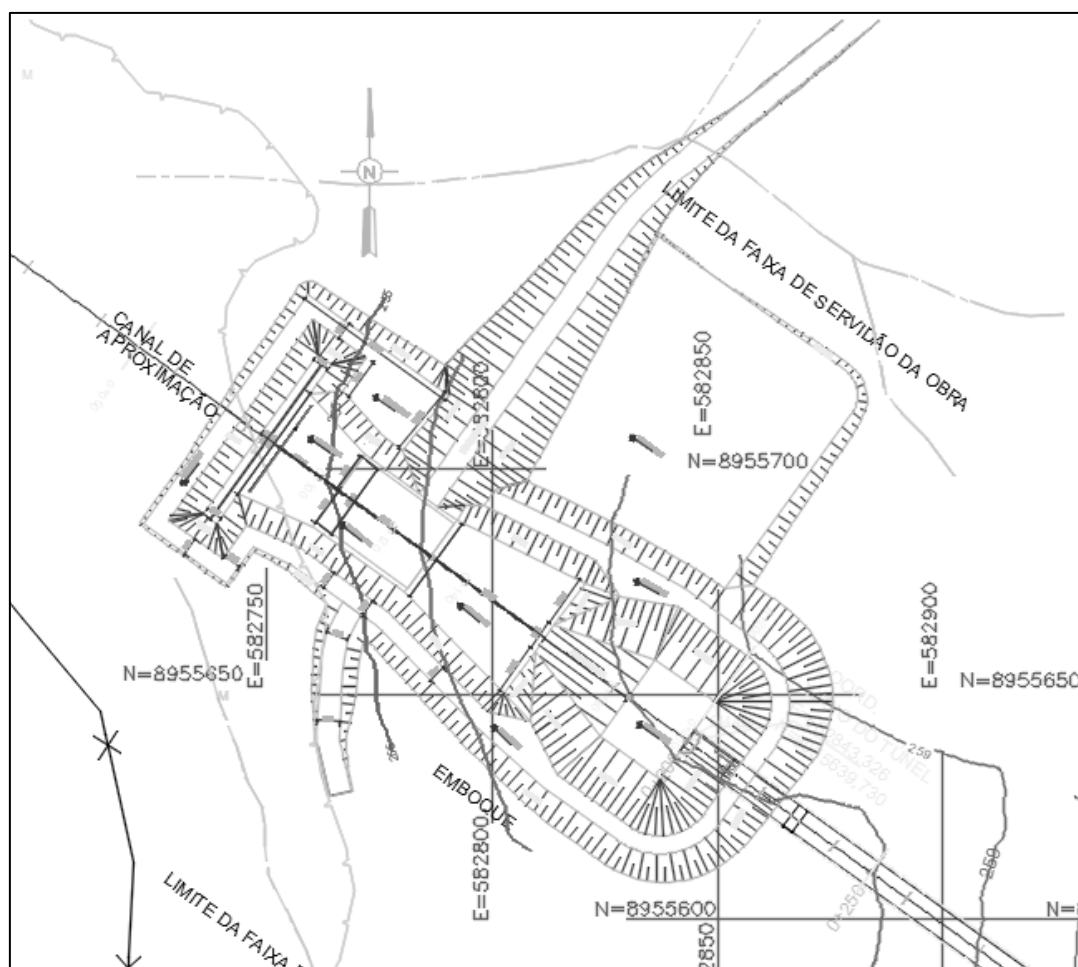
Pelo lado do emboque a terraplenagem a ser executada para permitir o acesso ao túnel será feita com maciço na base em rocha granítica/migmática (praticamente sem rocha no portal), e cobertura em saprólito areno-siltoso e solo silto-arenoso até a atual superfície. Materiais na sua maioria de 1ª e 2ª categoria.

A terraplenagem será realizada em bancadas de 5 m de altura com taludes de 1:1 no maciço rochoso e bermas de 3 m. Em solo o talude médio de cada parede deverá estar aproximadamente na relação 2H:1V resultando num talude transversal médio de 23°. O traçado dos acessos aos túneis foi projetado de forma que após alguns metros esteja fora do eixo do canal permitindo acesso livre das obras do canal.

As obras de estabilização com concreto projetado e tirantes serão realizadas somente nas áreas próximas aos portais dos túneis como indicado no projeto típico abaixo. Haverá necessidade de drenagem das bancadas e construção de um canal periférico de proteção das cristas das bancadas superiores.

As figuras a seguir ilustram o projeto de terraplenagem do emboque.

**Figura 2.12: Emboque - Planta.**

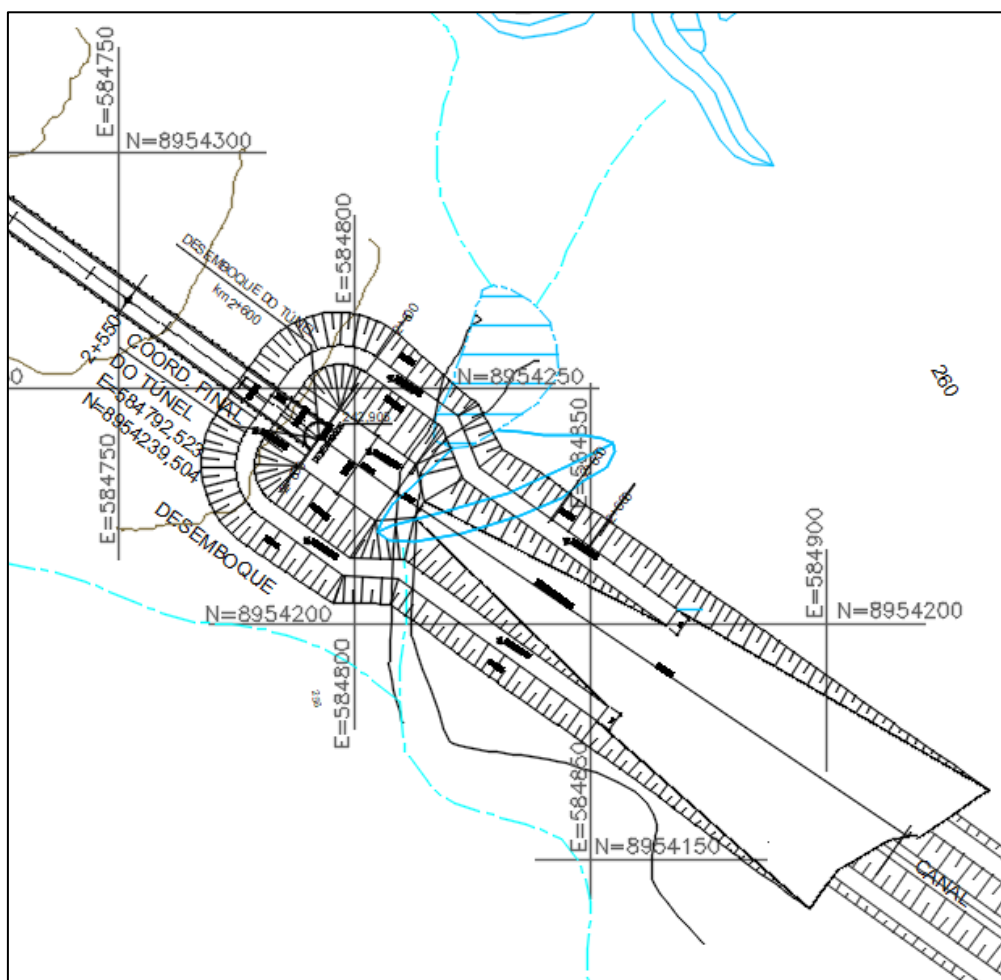


### 2.3 DESEMBOQUE

O desemboque será escavado com a seção do túnel totalmente rocha granítica/migmática e cobertura em saprólito areno-siltoso e solo silto-arenoso. Materiais na sua maioria de 1ª e 2ª categoria, com 4 a 5 m de espessura. Na parte do canal em material de 3ª categoria.

A terraplenagem será realizada em bancadas de 5 m de altura com taludes de 1:1 no maciço rochoso e bermas de 3 m. Em solo o talude médio de cada parede deverá estar aproximadamente na relação 2H:1V resultando num talude transversal médio de 24°. O traçado dos acessos aos túneis foi projetado de forma que após alguns metros esteja fora do eixo do canal permitindo acesso livre das obras do canal. As obras de estabilização com concreto projetado e tirantes serão realizadas somente nas áreas próximas aos portais dos túneis como indicado no projeto típico abaixo. Haverá necessidade de drenagem das bancadas e construção de um canal periférico de proteção das cristas das bancadas superiores. A **Figura 2.15** ilustra o projeto de terraplenagem do desemboque.

**Figura 2.13: Desemboque - Planta.**





MINISTÉRIO DO  
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



Projeto Executivo do  
Canal de Xingó, Fase I, Lote I

### 3. *DIMENSIONAMENTO*

### 3 DIMENSIONAMENTO

#### 3.1 RMR INDEX - DESCRIÇÃO

Bieniawski publicou esta classificação em 1976, tendo por base uma vasta experiência colhida em obras subterrâneas. A classificação de Bieniawski ou Sistema RMR (“Rock Mass Rating”) é, atualmente, muito divulgada e tem sido sucessivamente refinada à medida que são incluídos os resultados de análises de um maior número de casos práticos. Neste texto será apresentada a versão de 1989.

A classificação geomecânica é baseada no princípio da atribuição de pesos aos seis parâmetros que Bieniawski considerou contribuir mais significativamente para o comportamento dos maciços rochosos, tendo em atenção especial o caso das obras subterrâneas. O somatório dos pesos atribuídos a cada um destes parâmetros constitui um índice, usualmente designado por RMR, ao qual corresponde uma das cinco classes de qualidade de maciços, consideradas por Bieniawski. Os parâmetros utilizados são os seguintes:

- 1) Resistência à compressão uniaxial da rocha intacta;
- 2) RQD (“Rock Quality Designation”);
- 3) Espaçamento das descontinuidades;
- 4) Condição das descontinuidades;
- 5) Influência da água;
- 6) Orientação das descontinuidades.

A aplicação da classificação a um maciço rochoso implica a divisão deste em várias regiões estruturais (zonas) a serem classificadas separadamente. As fronteiras destas regiões coincidem usualmente com as estruturas geológicas principais, tais como falhas ou mudanças do tipo de rocha.

Em alguns casos, dentro do mesmo tipo de rocha, as mudanças significativas no espaçamento das descontinuidades, ou das características destas, podem obrigar à subdivisão do maciço rochoso num maior número de regiões estruturais de menor dimensão.

A **Tabela 3.1** permite determinar os pesos relativos a cinco das características (1 a 5). O peso relativo à condição descontinuidades (4) pode ser determinado se houver uma descrição mais detalhada das juntas.

Tabela 3.1 – Classificação Geomecânica - "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	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	< 60 mm		
	Pesos		20	15	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	Húmido	Escorrimentos	Entrada de água		
	Pesos		15	10	7	4	0		

## 3.2 DIMENSIONAMENTO DO TRATAMENTO

### 3.2.1 ESTACA 0+298 ATÉ 0+498,80 M

Tabela 2.2: Tratamento Estaca 0+298,80 até 0+498,80 RMR=37=Classe IV.

URM.5© - Underground Rock Mechanics - Evaluation Module Page 2/4  
[BACK](#)

DATE:  
PROJECT:  
SITE OF SURVEY: Trecho: Seção :  
ROCK TYPE:

**1 Rock Mass Classification/Classificação do Maciço**

**RMR Index = 37** **Description/Descrição**  
POOR ROCK\_Rocha pobre

**2 Rock Loads/Cargas do Maciço**

SUPPORT PRESSURE (based on RMR)/Pressão no Suporte, (baseado no RMR)  
 $ht = ((100 - RMR) / 100) * B$  = rock-load height in meters  
**P=g** B=Support load in MPa  
 where/onde:  
 B = Tunnel width in m  
 largura do túnel (m)  
 g = Rock density in kg/m3  
 densidade da rocha (kg/m3)

Inputs	Outputs
B = 6.40	ht = 4.03 m
g = 2600	P = 0.10 MPa, or 1.05 kg/cm2

**DIAGRAMATIC RESULTING PARAMETERS/Diagrama de Parâmetros Resultantes**

P max.	0.10 MPa	or	10483 kg/m2
P min.	0.05 MPa	or	5072 kg/m2

**Span Defined**  
Mspan possible unsupported

**Vão definido**  
Máximo vão sem suporte

**Key table for selection of ESR**

Note: The ESR is related to the use for which the excavation is intended and the degree of safety demanded.

Category	ESR	Select	Category	ESR
Temporary mine openings	4	0	Minor highway/railroad tunnels	1.3
Vertical shaft circular section	2.5	0	Surge chambers/access tunnels	1.3
Vertical shaft rectang/square	2	0	Power stations	1
Permanent mine openings	1.6	0	Major highway/railroad tunnels	1
Water tunnels for hydropower	1.6	1	Civil defense chambers	1
Pilot tunnels/drifts	1.6	0	Portals/intersections	1
Headings for large excavations	1.6	0	Nuclear power plants/factories	0.8
Storage room/water treat. plant	1.3	0	Railroad stations	0.8

**ESR SELECTION IS OK\_ SEE RECOMMENDED METHOD OF EXCAVATION**



Tabela 3.3: Estaca 0+298,80 até 0+498,80 (Cambotas + Concreto Projetado).

ESR SELECTION IS OK\_ SEE RECOMMENDED METHOD OF EXCAVATION

**4 Design Parameters for mechanical tensioned bolts- Dimensionamento de Tirantes  
(based on RMR)****Bolt Length (Comprimento do Tirante)= L**Bolt length (Comprimento do Tirante) =  $0.1972(\text{Span})+1.3306$  2.6 mBolt length (Comprimento do Tirante) =  $2.2415*\ln(\text{Span})-1.3619$  2.8 mBolt length (Comprimento do Tirante) =  $f(\text{Span}^{2/3})$  3.4 m**Bolt length Selected (Comprimento do Tirante Selecionado)** 3.0 m**Bolt Type CA-50 or Hard Steel 25mm diam. (1")**- Bolt Failure Load (Carga de Ruptura) -  $L_f$  (1") = 25335 kgf

- Bolt Spacing (Espaçamento dos Tirantes 1") - S = 1.50

- Effective Bolt Load (Carga efetiva de trabalho)  $E_l$  (1") = 17690 kgf- Bolt Tension (Protensão Tirantes 1") =  $T*0.6$  (60% of Effective Load) 10614 kgf

## URM.5ã - Underground Rock Mechanics - Evaluation Module

Page 5/11

Trecho: 0+400 Seção : 0 0+500

**RECOMMENDED EXCAVATION METHOD AND PROCEDURES ACCORDING TO RMR:****Métodologia de escavação e procedimentos conforme o Método RMR:**

ESCAVAÇÃO: Avanço em calota e bancada, 1 a 1.5m avanço. Instalar suporte concomitantemente com o avanço no máximo 2m da frente. Completar o suporte 6m da face.

SUPORTE: Atirantamento sistemático 25mm diam., totalmente resinados, 3m de comprimento espaçamento 1 a 1.5m na calota e paredes.

CONCRETO PROJETADO COM FIBRA: 150 a 200mm espessura no teto e 150 a 200 mm nas paredes. Eventualmente cambotas leves espaçadas 1 m onde requerido.

#

VOLUME DE ESCAVAÇÃO:	48,54m <sup>3</sup> /m
ENFILAGEM:	31 FUROS 15m Ø>100mm
TUBO DE AÇO Ø100mm L=6mx2,5=15m	
TOTAL ENFILAGEM/SEÇÃO:	465m
CONCRETO REVESTIMENTO (PAREDE E TETO): fck>30MPa 6,35m <sup>3</sup> /m DE TÚNEL. - FIBRA 45KG/M <sup>3</sup> .	
CONCRETO INVERT: fck>30MPa 2,09m <sup>3</sup> /m DE TÚNEL	
CONCRETO ENCHIMENTO PISO/INVERT: fck>15MPa 3,31m <sup>3</sup> /m DE TÚNEL	
TIRANTE EVENTUAL: Ø25mm (1") L=3,00m	





## 3.2.2 ESTACA 0+498,80 A 0+699,80 M

Tabela 3.4: Tratamento Estaca 0+498,80 até 0+699,80 RMR=65=Classe II.

## URM.5© - Underground Rock Mechanics - Evaluation Module

Page 2/4

[BACK](#)

DATE:

PROJECT:

SITE OF SURVEY:

Trecho:

Seção :

ROCK TYPE:

## 1 Rock Mass Classification/Classificação do Maciço

RMR Index =

65

Description/Descrição

GOOD ROCK\_Rocha boa

## 2 Rock Loads/Cargas do Maciço

SUPPORT PRESSURE (based on RMR)/Pressão no Suporte, (baseado no RMR)

 $ht = ((100 - RMR) / 100) * B$  = rock-load height in meters $P = g \cdot B$  = Support load in MPa

where/onde:

B = Tunnel width in m

largura do túnel (m)

g = Rock density in kg/m<sup>3</sup>densidade da rocha (kg/m<sup>3</sup>)

Inputs

B = 6.40

Outputs

ht = 2.24 m

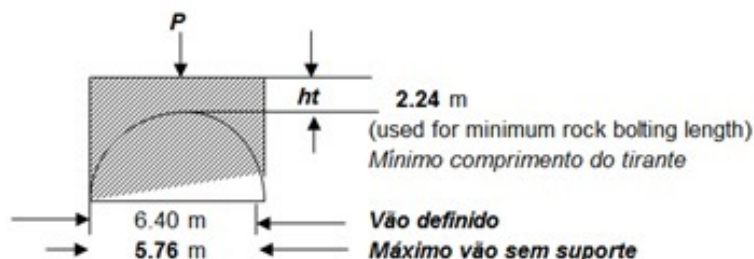
g = 2600

P = 0.06 MPa, or

0.58 kg/cm<sup>2</sup>

DIAGRAMATIC RESULTING PARAMETERS/Diagrama de Parâmetros Resultantes

P max. 0.06 MPa or 5824 kg/m<sup>2</sup>  
P min. 0.08 MPa or 8160 kg/m<sup>2</sup>



## Key table for selection of ESR

Note: The ESR is related to the use for which the excavation is intended and the degree of safety demanded.

Category	ESR	Select	Category	ESR
Temporary mine openings	4	0	Minor highway/railroad tunnels	1.3
Vertical shaft circular section	2.5	0	Surge chambers/access tunnels	1.3
Vertical shaft rectang/square	2	0	Power stations	1
Permanent mine openings	1.6	0	Major highway/railroad tunnels	1
Water tunnels for hydropower	1.6	1	Civil defense chambers	1
Pilot tunnels/drifts	1.6	0	Portals/intersections	1
Headings for large excavations	1.6	0	Nuclear power plants/factories	0.8
Storage room/water treat. plant	1.3	0	Railroad stations	0.8

ESR SELECTION IS OK\_ SEE RECOMMENDED METHOD OF EXCAVATION

**Tabela 3.4A: Tratamento Estaca 0+498,80 até 0+699,80 RMR=65=Classe II (Tirantes e Concreto Projetado)****4 Design Parameters for mechanical tensioned bolts- Dimensionamento de Tirantes (based on RMR)****Bolt Length (Comprimento do Tirante)= L**Bolt length (Comprimento do Tirante) =  $0.1972(\text{Span})+1.3306$  2.6 mBolt length (Comprimento do Tirante) =  $2.2415 \cdot \ln(\text{Span})-1.3619$  2.8 mBolt length (Comprimento do Tirante) =  $f(\text{Span}^{2/3})$  3.4 m**Bolt length Selected (Comprimento do Tirante Selecionado)** 3.0 m**Bolt Type CA-50 or Hard Steel 25mm diam. (1")**- Bolt Failure Load (Carga de Ruptura) -  $L_f$  (1") = 25335 kgf

- Bolt Spacing (Espaçamento dos Tirantes 1") - S = 1.50

- Effective Bolt Load (Carga efetiva de trabalho)  $E_l$  (1") = 17035 kgf- Bolt Tension (Protensão Tirantes 1") =  $T \cdot 0.6$  (60% of Effective Load) 10221 kgf

URM.5ã - Underground Rock Mechanics - Evaluation Module

Page 5/11

Trecho: 1+420 Seção: 0 2+050

**RECOMMENDED EXCAVATION METHOD AND PROCEDURES ACCORDING TO RMR:****Métodologia de escavação e procedimentos conforme o Método RMR:**

#

#

ESCAVAÇÃO: Frente completa em avanços de 1m até 3m.

SUPORTE: Localmente tirantes de 25mm diam., totalmente resinados (na calota), &gt;3,0m comprimento

Espaçamento 1.5 a 1.75m com tela. Completar o suporte até 10m da frente

CONCRETO PROJETADO: Espessura &gt;100mm

VOLUME DE ESCAVAÇÃO: 35,92m<sup>3</sup>/mCONCRETO REVESTIMENTO (PAREDE E TETO):  
fck>30MPa 2,40m<sup>3</sup>/m DE TÚNELCONCRETO PISO: fck>30MPa 1,22m<sup>3</sup>/m DE TÚNELCONCRETO ENCHIMENTO PISO: fck>15MPa 1,22m<sup>3</sup>/m DE TÚNEL

TIRANTE DE AÇO CA-50 C/RESINA

Ø25mm (1") L = 3,00m x 2 =6m

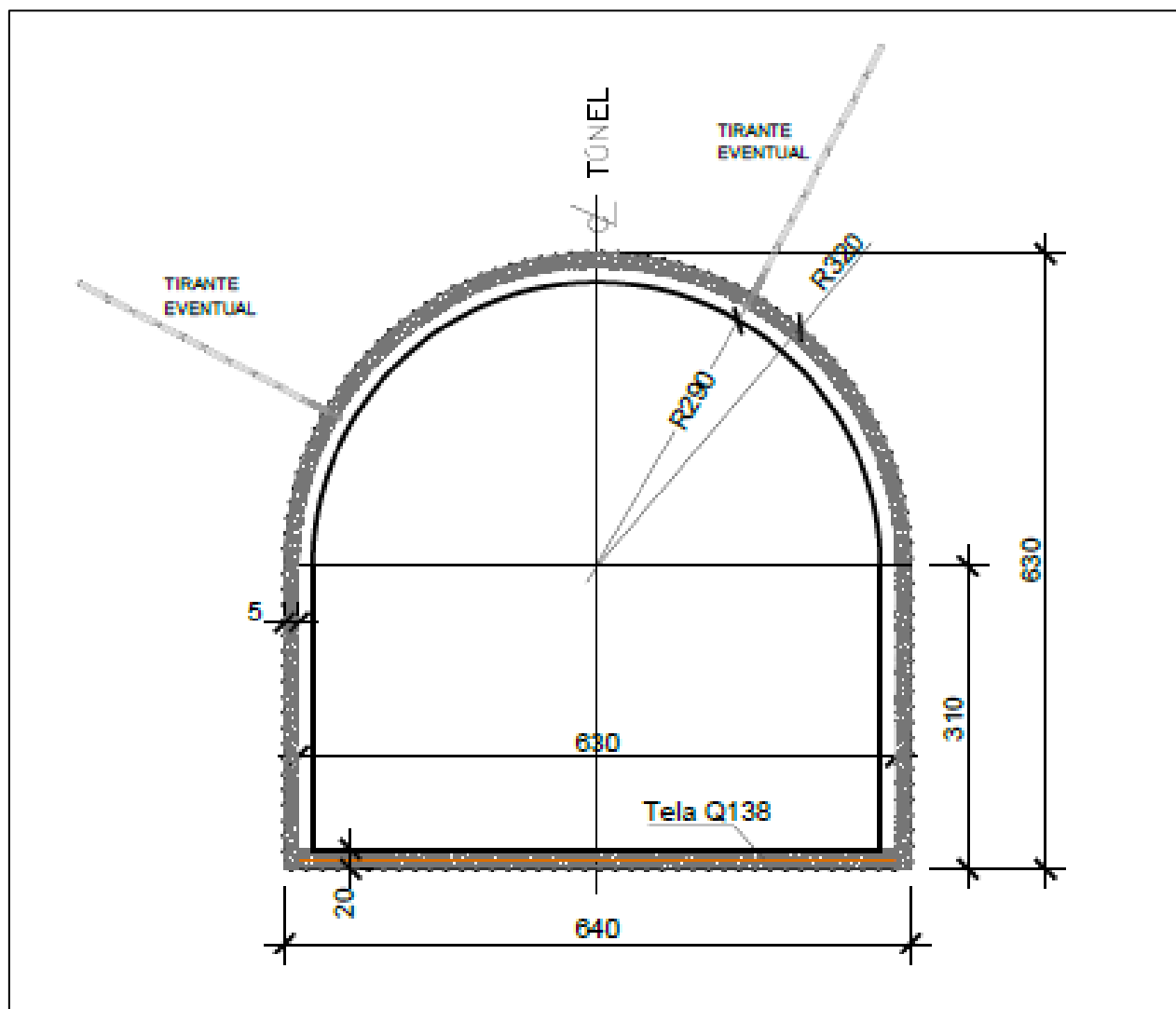
MALHA TRIANGULAR 1,50 X 1,50m

CARGA DE TRABALHO (Ct) =100kN

PROTENSÃO (50% DE Ct) =50kN

TELA ELETROSOLDADA Q138: 6,20m<sup>2</sup>/m DE TÚNEL (2,20 kg/m<sup>2</sup>)

Figura 3.2: Tratamento Estaca 0+498,80 até 0+699,80 RMR=65=Classe II.



## 3.2.3 ESTACA 0+699,80 A 0+773,00 M

Tabela 3.5: Tratamento Estaca 0+699,80 até 0+773,00 RMR=42=Classe III.

URM.5© - Underground Rock Mechanics - Evaluation Module Page 2/4  
[BACK](#)

DATE:  
PROJECT:  
SITE OF SURVEY: Trecho: Seção :  
ROCK TYPE:

**1 Rock Mass Classification/Classificação do Maciço**

**RMR Index = 42** *Description/Descrição*  
FAIR ROCK\_Rocha média

**2 Rock Loads/Cargas do Maciço**

SUPPORT PRESSURE (based on RMR)/Pressão no Suporte, (baseado no RMR)  
 $ht = ((100-RMR)/100) \cdot B$  = rock-load height in meters  
 $P = g \cdot B$  B=Support load in MPa  
 where/onde:  
 B = Tunnel width in m  
 largura do túnel (m)  
 g = Rock density in kg/m<sup>3</sup>  
 densidade da rocha (kg/m<sup>3</sup>)

Inputs	Outputs
B = 6.40	ht = 3.71 m
g = 2600	P = 0.09 MPa, or 0.97 kg/cm <sup>2</sup>

DIAGRAMATIC RESULTING PARAMETERS/Diagrama de Parâmetros Resultantes

P max.	0.09 MPa	or	9651 kg/m <sup>2</sup>
P min.	0.08 MPa	or	8545 kg/m <sup>2</sup>

**Key table for selection of ESR**  
 Note: The ESR is related to the use for which the excavation is intended and the degree of safety demanded.

Category	ESR	Select	Category	ESR
Temporary mine openings	4	0	Minor highway/railroad tunnels	1.3
Vertical shaft circular section	2.5	0	Surge chambers/access tunnels	1.3
Vertical shaft rectang/square	2	0	Power stations	1
Permanent mine openings	1.6	0	Major highway/railroad tunnels	1
Water tunnels for hydropower	1.6	1	Civil defense chambers	1
Pilot tunnels/drifts	1.6	0	Portals/intersections	1
Headings for large excavations	1.6	0	Nuclear power plants/factories	0.8
Storage room/water treat. plant	1.3	0	Railroad stations	0.8

**ESR SELECTION IS OK\_ SEE RECOMMENDED METHOD OF EXCAVATION**



**Tabela 3.6: Tratamento Estaca 0+699,80 até 0+773,00 RMR=42=Classe III (Tirantes e Concreto Projetado)****ESR SELECTION IS OK\_ SEE RECOMMENDED METHOD OF EXCAVATION****4 Design Parameters for mechanical tensioned bolts- Dimensionamento de Tirantes (based on RMR)****Bolt Length (Comprimento do Tirante)= L**Bolt length (Comprimento do Tirante) =  $0.1972(\text{Span})+1.3306$  2.6 mBolt length (Comprimento do Tirante) =  $2.2415*\ln(\text{Span})-1.3619$  2.8 mBolt length (Comprimento do Tirante) =  $f(\text{Span}^{2/3})$  3.4 m**Bolt length Selected (Comprimento do Tirante Selecionado)** 3.0 m**Bolt Type CA-50 or Hard Steel 25mm diam. (1")**- Bolt Failure Load (Carga de Ruptura) -  $L_f$  (1") = 25335 kgf

- Bolt Spacing (Espaçamento dos Tirantes 1") - S = 1.50

- Effective Bolt Load (Carga efetiva de trabalho)  $E_L$  (1") = 17372 kgf- Bolt Tension (Protensão Tirantes 1") =  $T*0.6$  (60% of Effective Load) 10423 kgf**URM.5ã - Underground Rock Mechanics - Evaluation Module**

Page 5/11

Trecho: 0+500 Seção: 0 0+700

**RECOMMENDED EXCAVATION METHOD AND PROCEDURES ACCORDING TO RMR:****Métodologia de escavação e procedimentos conforme o Método RMR:**

ESCAVAÇÃO: Avanço em calota e bancada, 1,5 a 3,0 m avanço. Instalar suporte concomitantemente com o avanço no máximo 6m da frente. Completar o suporte a 10m da face.

SUPORTE: Atirantamento sistemático 25mm diam., totalmente resinados, 3 m de comprimento espaçamento 1 a 1.5m na calota e paredes.

CONCRETO PROJETADO COM FIBRA: 100 a 150mm espessura no teto e 100 a 150 mm nas paredes

VOLUME DE ESCAVAÇÃO: 35,92m3/m

CONCRETO REVESTIMENTO (PAREDE E TETO):  
fck>30MPa 2,40m3/m DE TÚNEL

CONCRETO PISO: fck&gt;30MPa 1,22m3/m DE TÚNEL

CONCRETO ENCHIMENTO PISO: fck&gt;15MPa 1,22m3/m DE TÚNEL

TIRANTE DE AÇO CA-50 C/RESINA

Ø25mm (1") L = 3,00m x 7= 21m

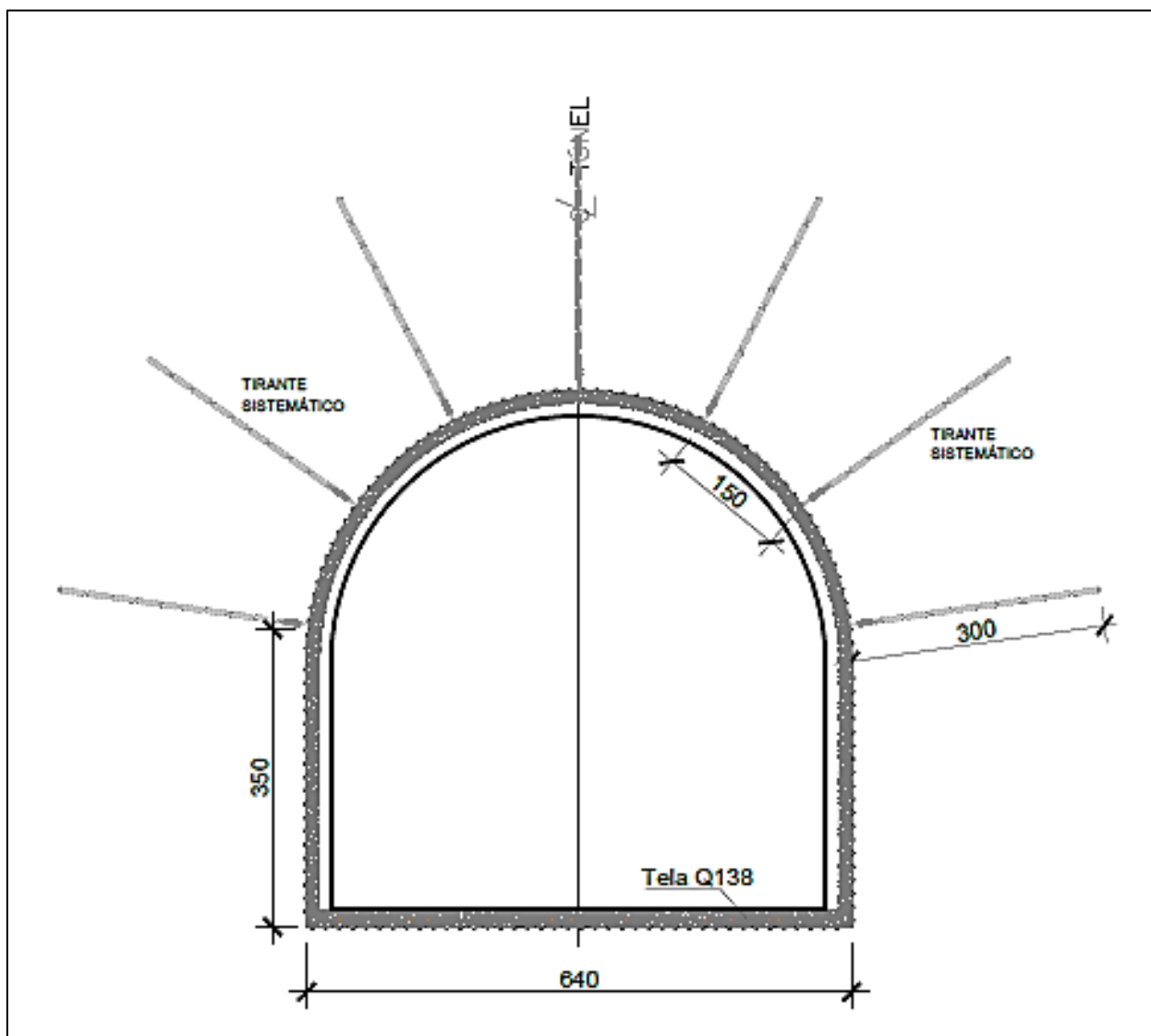
MALHA TRIANGULAR 1,50 X 1,50m

CARGA DE TRABALHO (Ct) =100kN

PROTENSÃO (50% DE Ct) =50kN

TELA ELETROSOLDADA Q138: 6,20m2/m DE TÚNEL (2,20 kg/m2)

Figura 3.3: Tratamento Estaca 0+699,80 até 0+773,00 RMR=42=Classe III.





## 3.2.4 ESTACA 0+773,00 A 0+923,30 M

Tabela 3.7: Tratamento Estaca 0+773,00 até 0+923,30 RMR=65=Classe II.

URM.5© - Underground Rock Mechanics - Evaluation Module Page 2/4  
[BACK](#)

DATE:  
PROJECT:  
SITE OF SURVEY: Trecho: Seção :  
ROCK TYPE:

**1 Rock Mass Classification/Classificação do Maciço**

**RMR Index = 65** **Description/Descrição**  
GOOD ROCK\_Rocha boa

**2 Rock Loads/Cargas do Maciço**

**SUPPORT PRESSURE (based on RMR)/Pressão no Suporte, (baseado no RMR)**  
 $ht = ((100-RMR)/100) * B$  = rock-load height in meters  
**P=g** B=Support load in MPa  
 where/onde:  
 B = Tunnel width in m  
 largura do túnel (m)  
 g = Rock density in kg/m3  
 densidade da rocha (kg/m3)

Inputs	Outputs
B = 6.40	ht = 2.24 m
g = 2600	P = 0.06 MPa, or 0.58 kg/cm2

**DIAGRAMATIC RESULTING PARAMETERS/Diagrama de Parâmetros Resultantes**

<b>P max.</b>	0.06 MPa	or	5824 kg/m2
<b>P min.</b>	0.08 MPa	or	8160 kg/m2

Span Defined  
Mspan possible unsupported

6.40 m  
5.76 m

Vão definido  
Máximo vão sem suporte

**Key table for selection of ESR**

Note: The ESR is related to the use for which the excavation is intended and the degree of safety demanded.

Category	ESR	Select	Category	ESR
Temporary mine openings	4	0	Minor highway/railroad tunnels	1.3
Vertical shaft circular section	2.5	0	Surge chambers/access tunnels	1.3
Vertical shaft rectang/square	2	0	Power stations	1
Permanent mine openings	1.6	0	Major highway/railroad tunnels	1
Water tunnels for hydropower	1.6	1	Civil defense chambers	1
Pilot tunnels/drifts	1.6	0	Portals/intersections	1
Headings for large excavations	1.6	0	Nuclear power plants/factories	0.8
Storage room/water treat. plant	1.3	0	Railroad stations	0.8

**ESR SELECTION IS OK\_ SEE RECOMMENDED METHOD OF EXCAVATION**

**Tabela 3.8: Tratamento Estaca 0+773,00 até 0+923,30 RMR=65=Classe II (Tirantes e Concreto Projetado)****4 Design Parameters for mechanical tensioned bolts- Dimensionamento de Tirantes (based on RMR)****Bolt Length (Comprimento do Tirante)= L**

Bolt length (Comprimento do Tirante) = 0.1972(Span)+1.3306 2.6 m

Bolt length (Comprimento do Tirante) = 2.2415\*Ln(Span)-1.3619 2.8 m

Bolt length (Comprimento do Tirante) = f(Span<sup>2/3</sup>) 3.4 m**Bolt length Selected (Comprimento do Tirante Selecionado) 3.0 m****Bolt Type CA-50 or Hard Steel 25mm diam. (1")**

- Bolt Failure Load (Carga de Ruptura) - Lf (1") = 25335 kgf

- Bolt Spacing (Espaçamento dos Tirantes 1") - S = 1.50

- Effective Bolt Load (Carga efetiva de trabalho) El(1") = 17035 kgf

- Bolt Tension (Protensão Tirantes 1") = T\*0.6 (60% of Effective Load) 10221 kgf

**URM.5ã - Underground Rock Mechanics - Evaluation Module**

Page 5/11

Trecho: 1+420 Seção : 0 2+050

**RECOMMENDED EXCAVATION METHOD AND PROCEDURES ACCORDING TO RMR:****Métodologia de escavação e procedimentos conforme o Método RMR:**

#

#

ESCAVAÇÃO: Frente completa em avanços de 1m até 3m.

SUPORTE: Localmente tirantes de 25mm diam., totalmente resinados (na calota), &gt;3,0m comprimento

Espaçamento 1.5 a 1.75m com tela. Completar o suporte até 10m da frente

CONCRETO PROJETADO: Espessura &gt;100mm

VOLUME DE ESCAVAÇÃO: 35,92m<sup>3</sup>/mCONCRETO REVESTIMENTO (PAREDE E TETO):  
fck>30MPa 2,40m<sup>3</sup>/m DE TÚNELCONCRETO PISO: fck>30MPa 1,22m<sup>3</sup>/m DE TÚNELCONCRETO ENCHIMENTO PISO: fck>15MPa 1,22m<sup>3</sup>/m DE TÚNEL

TIRANTE DE AÇO CA-50 C/RESINA

Ø25mm (1") L = 3,00m x 2 =6m

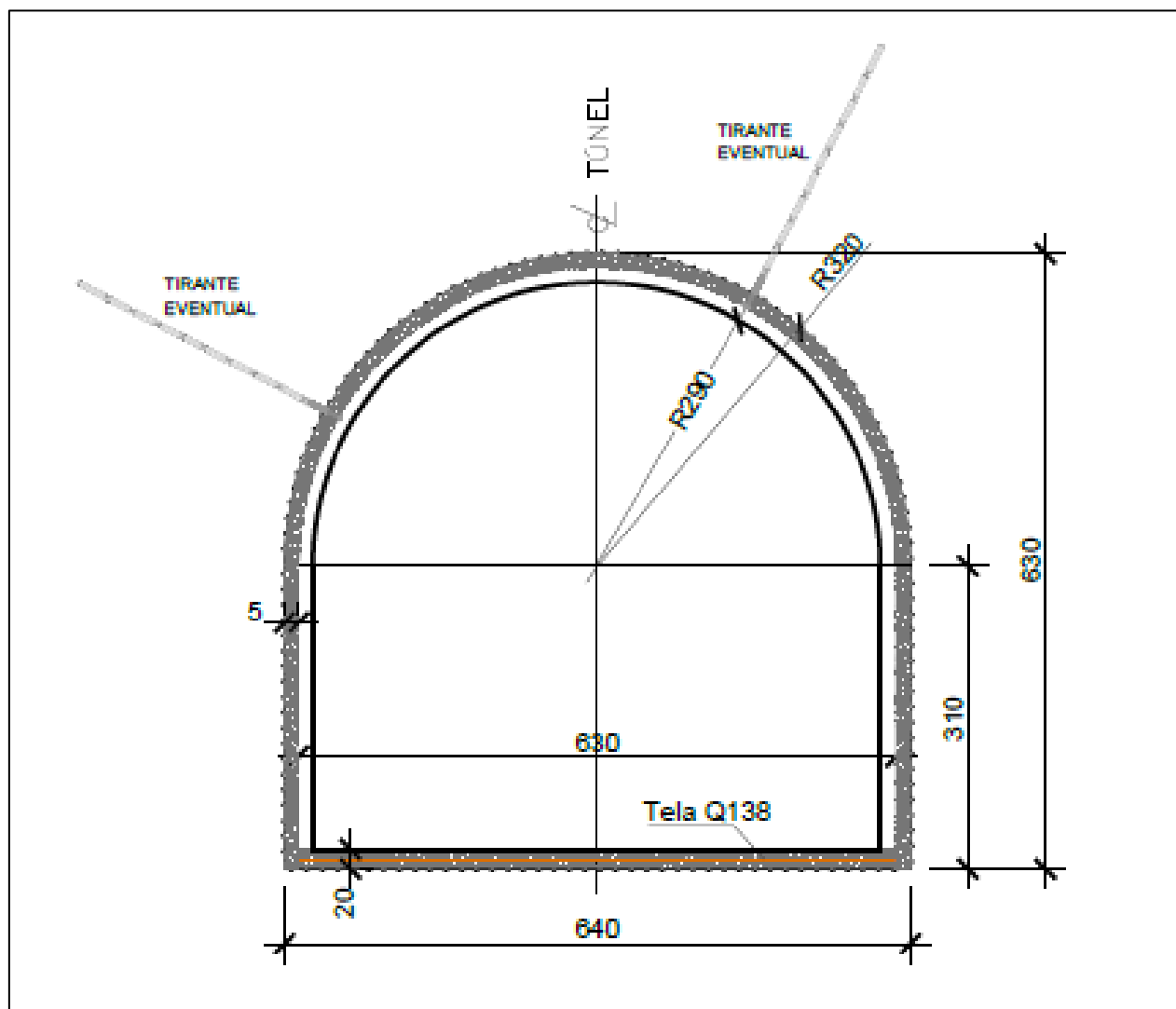
MALHA TRIANGULAR 1,50 X 1,50m

CARGA DE TRABALHO (Ct) =100kN

PROTENSÃO (50% DE Ct) =50kN

TELA ELETROSOLDADA Q138: 6,20m<sup>2</sup>/m DE TÚNEL (2,20 kg/m<sup>2</sup>)

Figura 3.4: Tratamento Estaca 0+773,00 até 0+923,30 RMR=65=Classe II.



## 3.2.5 ESTACA 0+923,30 A 1+027,50 M

Tabela 3.9: Tratamento Estaca 0+923,30 a 1+027,50 RMR=42=Classe III

## URM.5© - Underground Rock Mechanics - Evaluation Module

Page 2/4

[BACK](#)

DATE:

PROJECT:

SITE OF SURVEY:

Trecho:

Seção:

ROCK TYPE:

## 1 Rock Mass Classification/Classificação do Maciço

RMR Index =

42

Description/Descrição

FAIR ROCK\_Rocha média

## 2 Rock Loads/Cargas do Maciço

SUPPORT PRESSURE (based on RMR)/Pressão no Suporte, (baseado no RMR)

 $ht = ((100 - RMR) / 100) * B$  = rock-load height in meters $P = g \cdot B$  = Support load in MPa

where/onde:

B = Tunnel width in m

largura do túnel (m)

g = Rock density in kg/m<sup>3</sup>densidade da rocha (kg/m<sup>3</sup>)

Inputs

B = 6.40

g = 2600

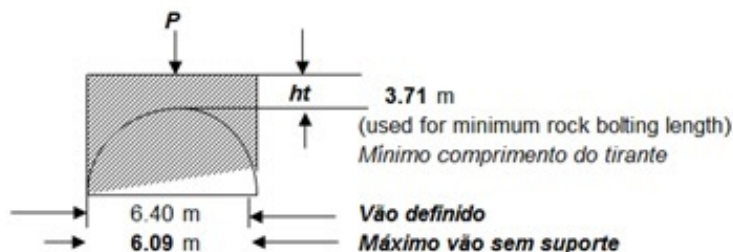
Outputs

ht = 3.71 m

P = 0.09 MPa, or 0.97 kg/cm<sup>2</sup>

DIAGRAMATIC RESULTING PARAMETERS/Diagrama de Parâmetros Resultantes

P max.	0.09 MPa	or	9651 kg/m <sup>2</sup>
P min.	0.08 MPa	or	8545 kg/m <sup>2</sup>



Span Defined

Mspan possible unsupported

Vão definido

Máximo vão sem suporte

## Key table for selection of ESR

Note: The ESR is related to the use for which the excavation is intended and the degree of safety demanded.

Category	ESR	Select	Category	ESR
Temporary mine openings	4	0	Minor highway/railroad tunnels	1.3
Vertical shaft circular section	2.5	0	Surge chambers/access tunnels	1.3
Vertical shaft rectang/square	2	0	Power stations	1
Permanent mine openings	1.6	0	Major highway/railroad tunnels	1
Water tunnels for hydropower	1.6	1	Civil defense chambers	1
Pilot tunnels/drifts	1.6	0	Portals/intersections	1
Headings for large excavations	1.6	0	Nuclear power plants/factories	0.8
Storage room/water treat. plant	1.3	0	Railroad stations	0.8

ESR SELECTION IS OK\_ SEE RECOMMENDED METHOD OF EXCAVATION

**Tabela 3.10: Tratamento Estaca 0+923,30 a 1+027,50 RMR=42=Classe III (Tirantes e Concreto Projetado)****ESR SELECTION IS OK\_ SEE RECOMMENDED METHOD OF EXCAVATION****4 Design Parameters for mechanical tensioned bolts- Dimensionamento de Tirantes (based on RMR)****Bolt Length (Comprimento do Tirante)= L**Bolt length (Comprimento do Tirante) =  $0.1972(\text{Span})+1.3306$  2.6 mBolt length (Comprimento do Tirante) =  $2.2415*\ln(\text{Span})-1.3619$  2.8 mBolt length (Comprimento do Tirante) =  $f(\text{Span}^{2/3})$  3.4 m**Bolt length Selected (Comprimento do Tirante Selecionado)** 3.0 m**Bolt Type CA-50 or Hard Steel 25mm diam. (1")**

- Bolt Failure Load (Carga de Ruptura) - Lf (1") = 25335 kgf

- Bolt Spacing (Espaçamento dos Tirantes 1") - S = 1.50

- Effective Bolt Load (Carga efetiva de trabalho) El(1") = 17372 kgf

- Bolt Tension (Protensão Tirantes 1") =  $T*0.6$  (60% of Effective Load) 10423 kgf**URM.5ã - Underground Rock Mechanics - Evaluation Module**

Page 5/11

Trecho: 0+500 Seção : 0 0+700

**RECOMMENDED EXCAVATION METHOD AND PROCEDURES ACCORDING TO RMR:****Métodologia de escavação e procedimentos conforme o Método RMR:**

ESCAVAÇÃO: Avanço em calota e bancada, 1,5 a 3,0 m avanço. Instalar suporte concomitantemente com o avanço no máximo 6m da frente. Completar o suporte a 10m da face.

SUPORTE: Atirantamento sistemático 25mm diam., totalmente resinados, 3 m de comprimento espaçamento 1 a 1.5m na calota e paredes.

CONCRETO PROJETADO COM FIBRA: 100 a 150mm espessura no teto e 100 a 150 mm nas paredes

VOLUME DE ESCAVAÇÃO: 35,92m3/m

CONCRETO REVESTIMENTO (PAREDE E TETO):  
fck>30MPa 2,40m3/m DE TÚNEL

CONCRETO PISO: fck&gt;30MPa 1,22m3/m DE TÚNEL

CONCRETO ENCHIMENTO PISO: fck&gt;15MPa 1,22m3/m DE TÚNEL

TIRANTE DE AÇO CA-50 C/RESINA

Ø25mm (1") L = 3,00m x 7= 21m

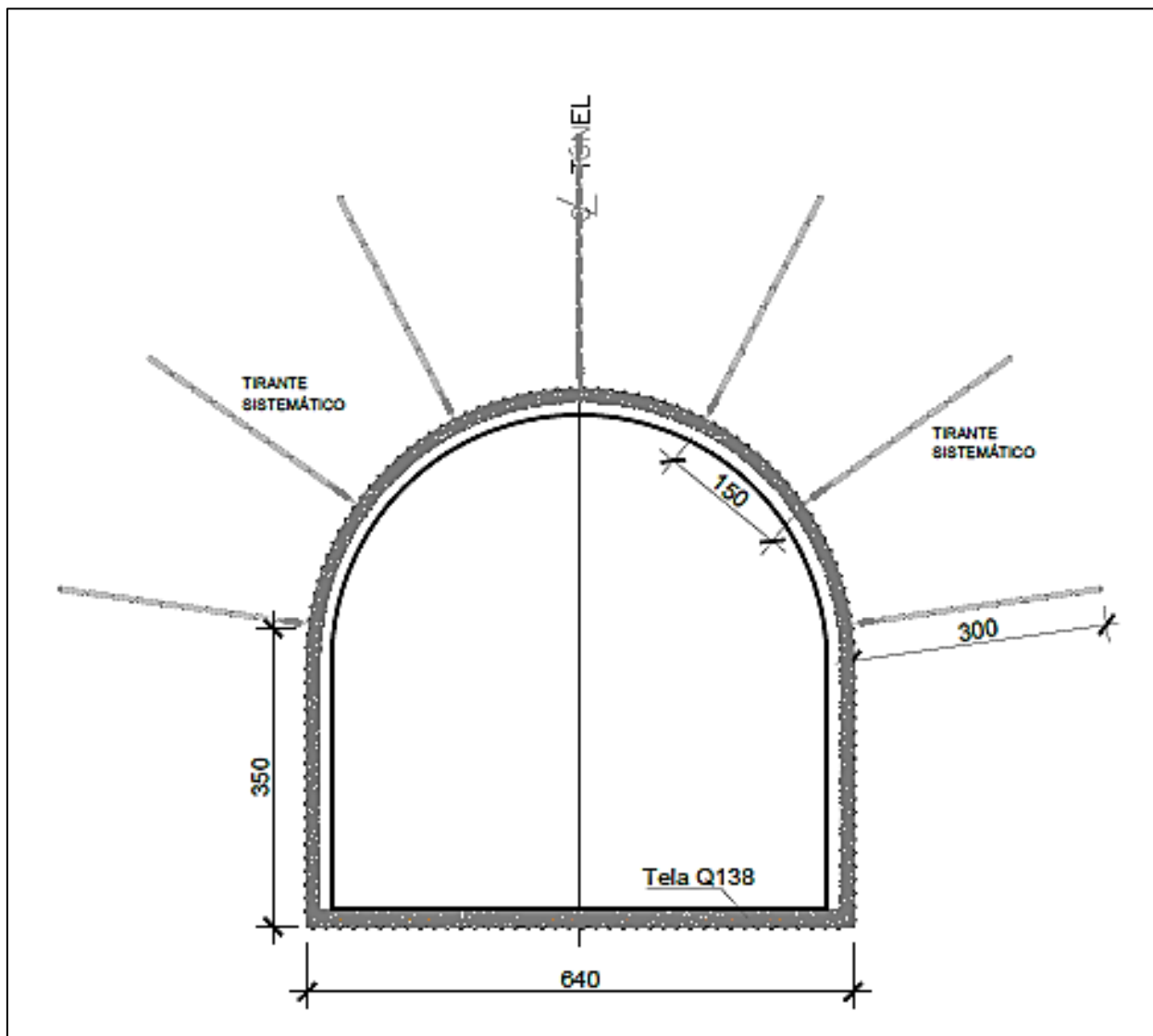
MALHA TRIANGULAR 1,50 X 1,50m

CARGA DE TRABALHO (Ct) =100kN

PROTENSÃO (50% DE Ct) =50kN

TELA ELETROSOLDADA Q138: 6,20m2/m DE TÚNEL (2,20 kg/m2)

Figura 3.5: Tratamento Estaca 0+923,30 até 1+027,50 RMR=42=Classe III.





## 3.2.6 ESTACA 1+027,50 ATÉ 1+249,90 M

Tabela 3.11: Tratamento Estaca 1+027,50 até 1+249,90 RMR=37=Classe IV

URM.5© - Underground Rock Mechanics - Evaluation Module Page 2/4  
[BACK](#)

DATE:  
PROJECT:  
SITE OF SURVEY: Trecho: Seção :  
ROCK TYPE:

**1 Rock Mass Classification/Classificação do Maciço**

**RMR Index = 37** **Description/Descrição**  
POOR ROCK\_Rocha pobre

**2 Rock Loads/Cargas do Maciço**

SUPPORT PRESSURE (based on RMR)/Pressão no Suporte. (baseado no RMR)  
 $ht = ((100-RMR)/100) \cdot B$  = rock-load height in meters  
 $P = g \cdot B$  = Support load in MPa  
 where/onde:  
 B = Tunnel width in m  
 largura do túnel (m)  
 g = Rock density in kg/m<sup>3</sup>  
 densidade da rocha (kg/m<sup>3</sup>)

Inputs	Outputs
B = 6.40	ht = 4.03 m
g = 2600	P = 0.10 MPa, or 1.05 kg/cm <sup>2</sup>

**DIAGRAMATIC RESULTING PARAMETERS/Diagrama de Parâmetros Resultantes**

P max.	0.10 MPa	or	10483 kg/m <sup>2</sup>
P min.	0.05 MPa	or	5072 kg/m <sup>2</sup>

**Span Defined**  
**Mspan possible unsupported**

**Key table for selection of ESR**

Note: The ESR is related to the use for which the excavation is intended and the degree of safety demanded.

Category	ESR	Select	Category	ESR
Temporary mine openings	4	0	Minor highway/railroad tunnels	1.3
Vertical shaft circular section	2.5	0	Surge chambers/access tunnels	1.3
Vertical shaft rectangular/square	2	0	Power stations	1
Permanent mine openings	1.6	0	Major highway/railroad tunnels	1
Water tunnels for hydropower	1.6	1	Civil defense chambers	1
Pilot tunnels/drifts	1.6	0	Portals/intersections	1
Headings for large excavations	1.6	0	Nuclear power plants/factories	0.8
Storage room/water treat. plant	1.3	0	Railroad stations	0.8

**ESR SELECTION IS OK\_ SEE RECOMMENDED METHOD OF EXCAVATION**



Tabela 3.12: Estaca 1+027,50 até 1+249,90 (Cambotas + Concreto Projetado)

ESR SELECTION IS OK\_ SEE RECOMMENDED METHOD OF EXCAVATION

**4 Design Parameters for mechanical tensioned bolts- Dimensionamento de Tirantes  
(based on RMR)****Bolt Length (Comprimento do Tirante)= L**

Bolt length (Comprimento do Tirante) = 0.1972(Span)+1.3306 2.6 m

Bolt length (Comprimento do Tirante) = 2.2415\*Ln(Span)-1.3619 2.8 m

Bolt length (Comprimento do Tirante) = f(Span<sup>2/3</sup>) 3.4 m**Bolt length Selected (Comprimento do Tirante Selecionado) 3.0 m****Bolt Type CA-50 or Hard Steel 25mm diam. (1")**

- Bolt Failure Load (Carga de Ruptura) - Lf (1") = 25335 kgf

- Bolt Spacing (Espaçamento dos Tirantes 1") - S = 1.50

- Effective Bolt Load (Carga efetiva de trabalho) El(1") = 17690 kgf

- Bolt Tension (Protensão Tirantes 1") = T\*0.6 (60% of Effective Load) 10614 kgf

**URM.5ã - Underground Rock Mechanics - Evaluation Module**

Page 5/11

Trecho: 0+400 Seção : 0 0+500

**RECOMMENDED EXCAVATION METHOD AND PROCEDURES ACCORDING TO RMR:****Métodologia de escavação e procedimentos conforme o Método RMR:**

ESCAVAÇÃO: Avanço em calota e bancada, 1 a 1.5m avanço. Instalar suporte concomitantemente com o avanço no máximo 2m da frente. Completar o suporte 6m da face.

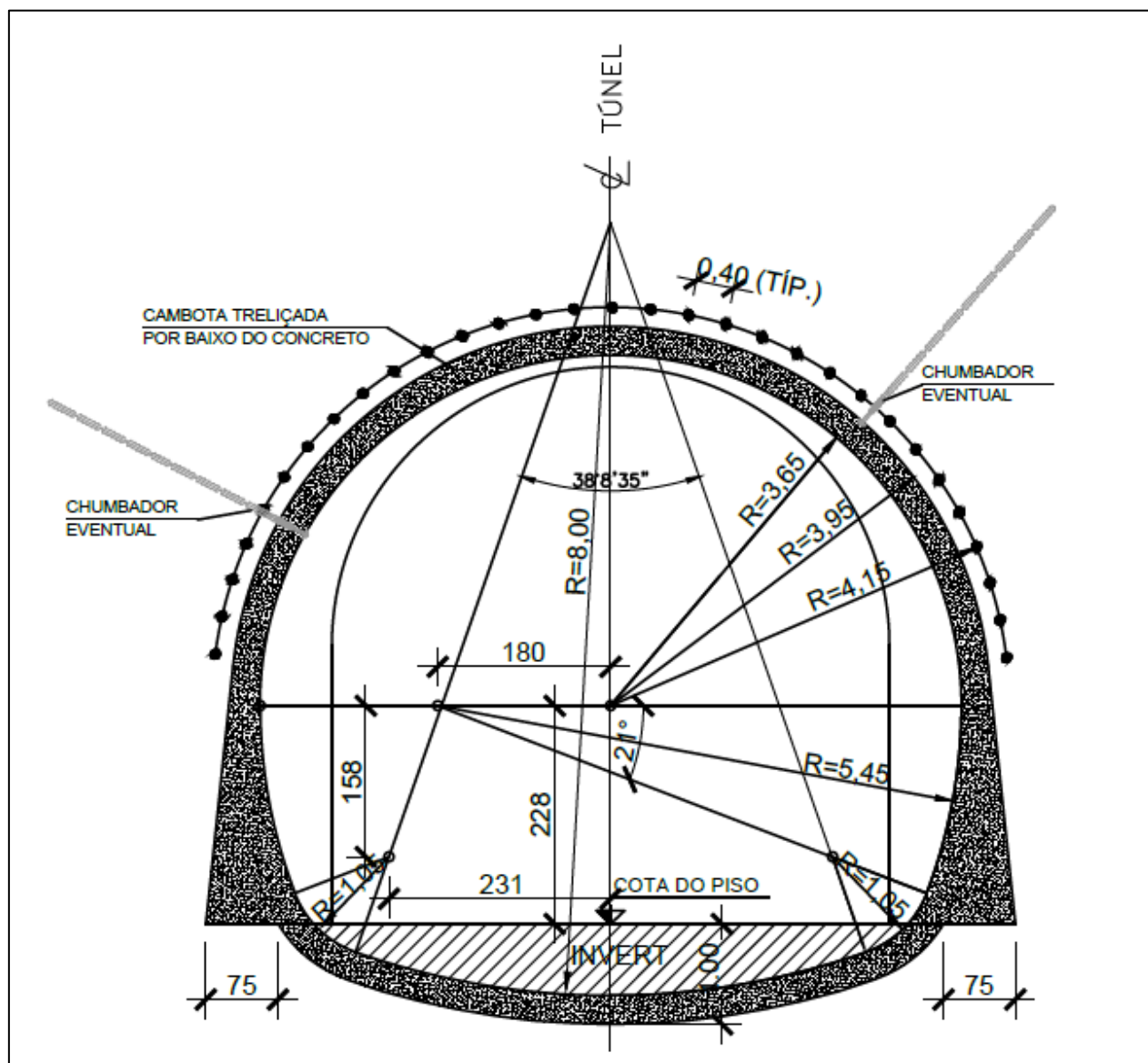
SUPORTE: Atirantamento sistemático 25mm diam., totalmente resinados, 3m de comprimento espaçamento 1 a 1.5m na calota e paredes.

CONCRETO PROJETADO COM FIBRA: 150 a 200mm espessura no teto e 150 a 200 mm nas paredes. Eventualmente cambotas leves espaçadas 1 m onde requerido.

#

VOLUME DE ESCAVAÇÃO: 48,54m3/m
ENFILAGEM: 31 FUROS 15m Ø>100mm
TUBO DE AÇO Ø100mm L=6mx2,5=15m
TOTAL ENFILAGEM/SEÇÃO: 465m
CONCRETO REVESTIMENTO (PAREDE E TETO): fck>30MPa 6,35m3/m DE TÚNEL. - FIBRA 45KG/M3.
CONCRETO INVERT: fck>30MPa 2,09m3/m DE TÚNEL
CONCRETO ENCHIMENTO PISO/INVERT: fck>15MPa 3,31m3/m DE TÚNEL
TIRANTE EVENTUAL: Ø25mm (1") L=3,00m

Figura 3.6: Tratamento Estaca 1+027,50 até 1+249,90 RMR=37=Classe IV.



## 3.2.7 ESTACA 1+249,90 A 1+399,80 M

Tabela 3.13: Tratamento Estaca 1+249,90 a 1+399,80 RMR=42=Classe III.

URM.5© - Underground Rock Mechanics - Evaluation Module Page 2/4  
[BACK](#)

DATE:  
PROJECT:  
SITE OF SURVEY: Trecho: Seção :  
ROCK TYPE:

**1 Rock Mass Classification/Classificação do Maciço**

**RMR Index = 42** **Description/Descrição**  
FAIR ROCK\_Rocha média

**2 Rock Loads/Cargas do Maciço**

SUPPORT PRESSURE (based on RMR)/Pressão no Suporte, (baseado no RMR)  
 $ht = ((100-RMR)/100) \cdot B$  = rock-load height in meters  
 $P = g \cdot B$  B=Support load in MPa  
 where/onde:  
 B = Tunnel width in m  
 largura do túnel (m)  
 g = Rock density in kg/m<sup>3</sup>  
 densidade da rocha (kg/m<sup>3</sup>)

Inputs	Outputs
B = 6.40	ht = 3.71 m
g = 2600	P = 0.09 MPa, or 0.97 kg/cm <sup>2</sup>

**DIAGRAMATIC RESULTING PARAMETERS/Diagrama de Parâmetros Resultantes**

P max.	0.09 MPa	or	9651 kg/m <sup>2</sup>
P min.	0.08 MPa	or	8545 kg/m <sup>2</sup>

Span Defined  
Mspan possible unsupported

Vão definido  
Máximo vão sem suporte

**Key table for selection of ESR**

Note: The ESR is related to the use for which the excavation is intended and the degree of safety demanded.

Category	ESR	Select	Category	ESR
Temporary mine openings	4	0	Minor highway/railroad tunnels	1.3
Vertical shaft circular section	2.5	0	Surge chambers/access tunnels	1.3
Vertical shaft rectang/square	2	0	Power stations	1
Permanent mine openings	1.6	0	Major highway/railroad tunnels	1
Water tunnels for hydropower	1.6	1	Civil defense chambers	1
Pilot tunnels/drifts	1.6	0	Portals/intersections	1
Headings for large excavations	1.6	0	Nuclear power plants/factories	0.8
Storage room/water treat. plant	1.3	0	Railroad stations	0.8

**ESR SELECTION IS OK\_ SEE RECOMMENDED METHOD OF EXCAVATION**

Tabela 3.14: continuação – Tratamento Estaca 1+249,90 a 1+399,80 (Tirantes e Concreto Projetado)

ESR SELECTION IS OK\_ SEE RECOMMENDED METHOD OF EXCAVATION

**4 Design Parameters for mechanical tensioned bolts- Dimensionamento de Tirantes  
(based on RMR)****Bolt Length (Comprimento do Tirante)= L**

Bolt length (Comprimento do Tirante) = 0.1972(Span)+1.3306 2.6 m

Bolt length (Comprimento do Tirante) = 2.2415\*Ln(Span)-1.3619 2.8 m

Bolt length (Comprimento do Tirante) = f(Span<sup>2/3</sup>) 3.4 m**Bolt length Selected (Comprimento do Tirante Selecionado) 3.0 m****Bolt Type CA-50 or Hard Steel 25mm diam. (1")**

- Bolt Failure Load (Carga de Ruptura) - Lf (1") = 25335 kgf

- Bolt Spacing (Espaçamento dos Tirantes 1") - S = 1.50

- Effective Bolt Load (Carga efetiva de trabalho) El(1") = 17372 kgf

- Bolt Tension (Protensão Tirantes 1") = T\*0.6 (60% of Effective Load) 10423 kgf

URM.5ã - Underground Rock Mechanics - Evaluation Module

Page 5/11

Trecho: 0+500 Seção : 0 0+700

**RECOMMENDED EXCAVATION METHOD AND PROCEDURES ACCORDING TO RMR:****Métodologia de escavação e procedimentos conforme o Método RMR:**

ESCAVAÇÃO: Avanço em calota e bancada, 1,5 a 3,0 m avanço. Instalar suporte concomitantemente com o avanço no máximo 6m da frente. Completar o suporte a 10m da face.

SUPORTE: Atirantamento sistemático 25mm diam., totalmente resinados, 3 m de comprimento espaçamento 1 a 1.5m na calota e paredes.

CONCRETO PROJETADO COM FIBRA: 100 a 150mm espessura no teto e 100 a 150 mm nas paredes

VOLUME DE ESCAVAÇÃO: 35,92m3/m

CONCRETO REVESTIMENTO (PAREDE E TETO):  
fck>30MPa 2,40m3/m DE TÚNEL

CONCRETO PISO: fck&gt;30MPa 1,22m3/m DE TÚNEL

CONCRETO ENCHIMENTO PISO: fck&gt;15MPa 1,22m3/m DE TÚNEL

TIRANTE DE AÇO CA-50 C/RESINA

Ø25mm (1") L = 3,00m x 7= 21m

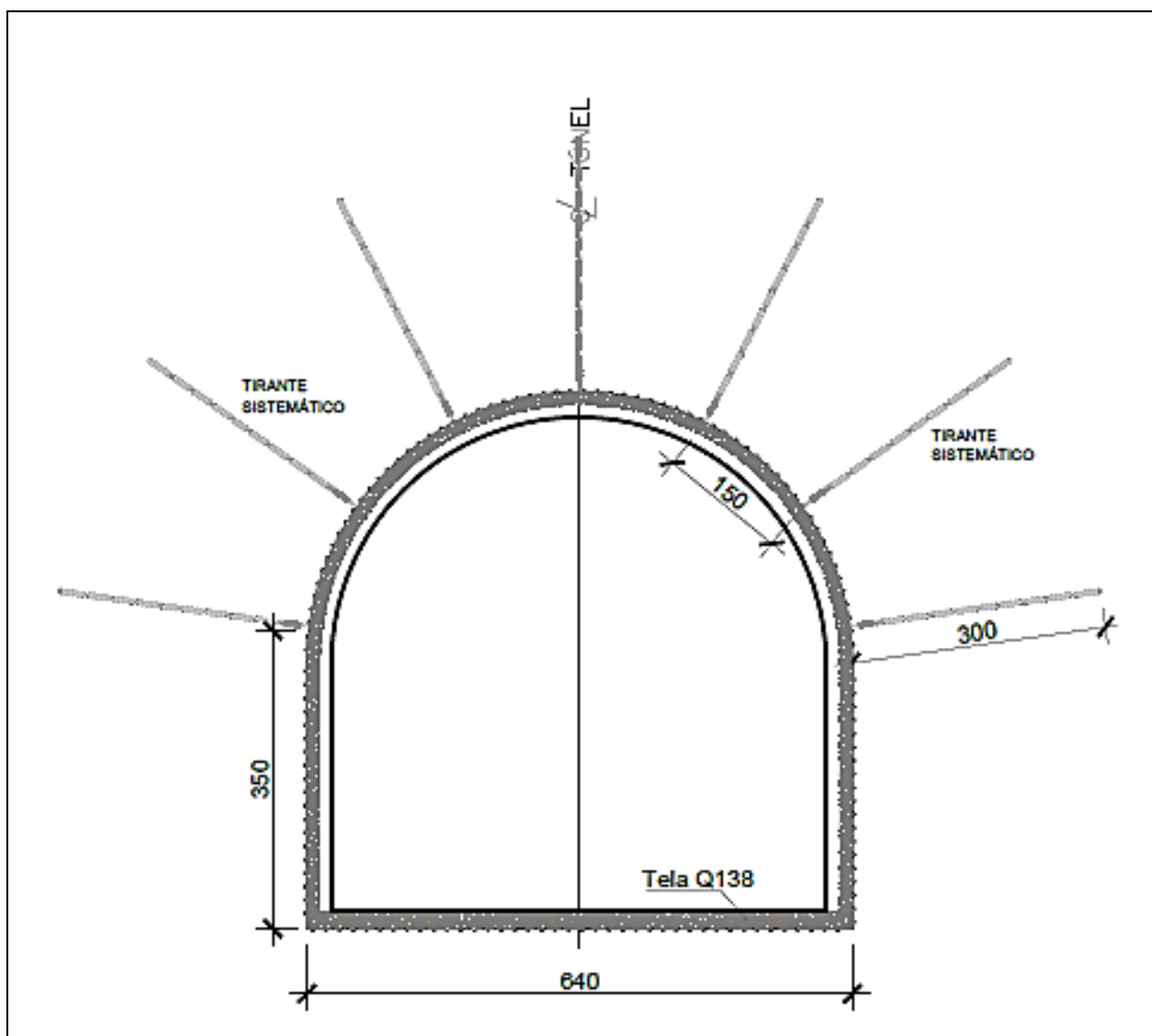
MALHA TRIANGULAR 1,50 X 1,50m

CARGA DE TRABALHO (Ct) =100kN

PROTENSÃO (50% DE Ct) =50kN

TELA ELETROSOLDADA Q138: 6,20m2/m DE TÚNEL (2,20 kg/m2)

Figura 3.7: Tratamento Estaca 1+249,90 a 1+399,80 RMR=42=Classe III.





## 3.2.8 ESTACA 1+399,80 A 1+473,80 M

Tabela 3.15: Tratamento Estaca 1+399,80 a 1+473,80 RMR=42=Classe III.

URM.5© - Underground Rock Mechanics - Evaluation Module Page 2/4  
[BACK](#)

DATE:  
PROJECT:  
SITE OF SURVEY: Trecho: Seção :  
ROCK TYPE:

**1 Rock Mass Classification/Classificação do Maciço**

**RMR Index = 42** **Description/Descrição**  
FAIR ROCK\_Rocha média

**2 Rock Loads/Cargas do Maciço**

SUPPORT PRESSURE (based on RMR)/Pressão no Suporte, (baseado no RMR)  
 $ht = ((100-RMR)/100) * B$  = rock-load height in meters  
 $P = g \cdot B$  B=Support load in MPa  
 where/onde:  
 B = Tunnel width in m  
 largura do túnel (m)  
 g = Rock density in kg/m3  
 densidade da rocha (kg/m3)

Inputs	Outputs
B = 6.40	ht = 3.71 m
g = 2600	P = 0.09 MPa, or 0.97 kg/cm2

**DIAGRAMATIC RESULTING PARAMETERS/Diagrama de Parâmetros Resultantes**

P max.	0.09 MPa	or	9651 kg/m2
P min.	0.08 MPa	or	8545 kg/m2

Span Defined  
Mspan possible unsupported

6.40 m  
6.09 m

Vão definido  
Máximo vão sem suporte

**Key table for selection of ESR**

Note: The ESR is related to the use for which the excavation is intended and the degree of safety demanded.

Category	ESR	Select	Category	ESR
Temporary mine openings	4	0	Minor highway/railroad tunnels	1.3
Vertical shaft circular section	2.5	0	Surge chambers/access tunnels	1.3
Vertical shaft rectang/square	2	0	Power stations	1
Permanent mine openings	1.6	0	Major highway/railroad tunnels	1
Water tunnels for hydropower	1.6	1	Civil defense chambers	1
Pilot tunnels/drifts	1.6	0	Portals/intersections	1
Headings for large excavations	1.6	0	Nuclear power plants/factories	0.8
Storage room/water treat. plant	1.3	0	Railroad stations	0.8

**ESR SELECTION IS OK\_ SEE RECOMMENDED METHOD OF EXCAVATION**

Tabela 3.16: Tratamento Estaca 1+399,80 a 1+473,80 (Tirantes e Concreto Projetado)

ESR SELECTION IS OK\_ SEE RECOMMENDED METHOD OF EXCAVATION

**4 Design Parameters for mechanical tensioned bolts- Dimensionamento de Tirantes  
(based on RMR)****Bolt Length (Comprimento do Tirante)= L**Bolt length (Comprimento do Tirante) =  $0.1972(\text{Span})+1.3306$  2.6 mBolt length (Comprimento do Tirante) =  $2.2415 \cdot \ln(\text{Span})-1.3619$  2.8 mBolt length (Comprimento do Tirante) =  $f(\text{Span}^{2/3})$  3.4 m**Bolt length Selected (Comprimento do Tirante Selecionado)** 3.0 m**Bolt Type CA-50 or Hard Steel 25mm diam. (1")**- Bolt Failure Load (Carga de Ruptura) -  $L_f$  (1") = 25335 kgf

- Bolt Spacing (Espaçamento dos Tirantes 1") - S = 1.50

- Effective Bolt Load (Carga efetiva de trabalho)  $E_l$  (1") = 17372 kgf- Bolt Tension (Protensão Tirantes 1") =  $T \cdot 0.6$  (60% of Effective Load) 10423 kgf

URM.5ã - Underground Rock Mechanics - Evaluation Module

Page 5/11

Trecho: 0+500 Seção: 0 0+700

**RECOMMENDED EXCAVATION METHOD AND PROCEDURES ACCORDING TO RMR:****Métodologia de escavação e procedimentos conforme o Método RMR:**

ESCAVAÇÃO: Avanço em calota e bancada, 1,5 a 3,0 m avanço. Instalar suporte concomitantemente com o avanço no máximo 6m da frente. Completar o suporte a 10m da face.

SUPORTE: Atirantamento sistemático 25mm diam., totalmente resinados, 3 m de comprimento espaçamento 1 a 1.5m na calota e paredes.

CONCRETO PROJETADO COM FIBRA: 100 a 150mm espessura no teto e 100 a 150 mm nas paredes

VOLUME DE ESCAVAÇÃO: 35,92m3/m

CONCRETO REVESTIMENTO (PAREDE E TETO):  
fck>30MPa 2,40m3/m DE TÚNEL

CONCRETO PISO: fck&gt;30MPa 1,22m3/m DE TÚNEL

CONCRETO ENCHIMENTO PISO: fck>15MPa 1,22m3/m DE  
TÚNEL

TIRANTE DE AÇO CA-50 C/RESINA

Ø25mm (1") L = 3,00m x 7= 21m

MALHA TRIANGULAR 1,50 X 1,50m

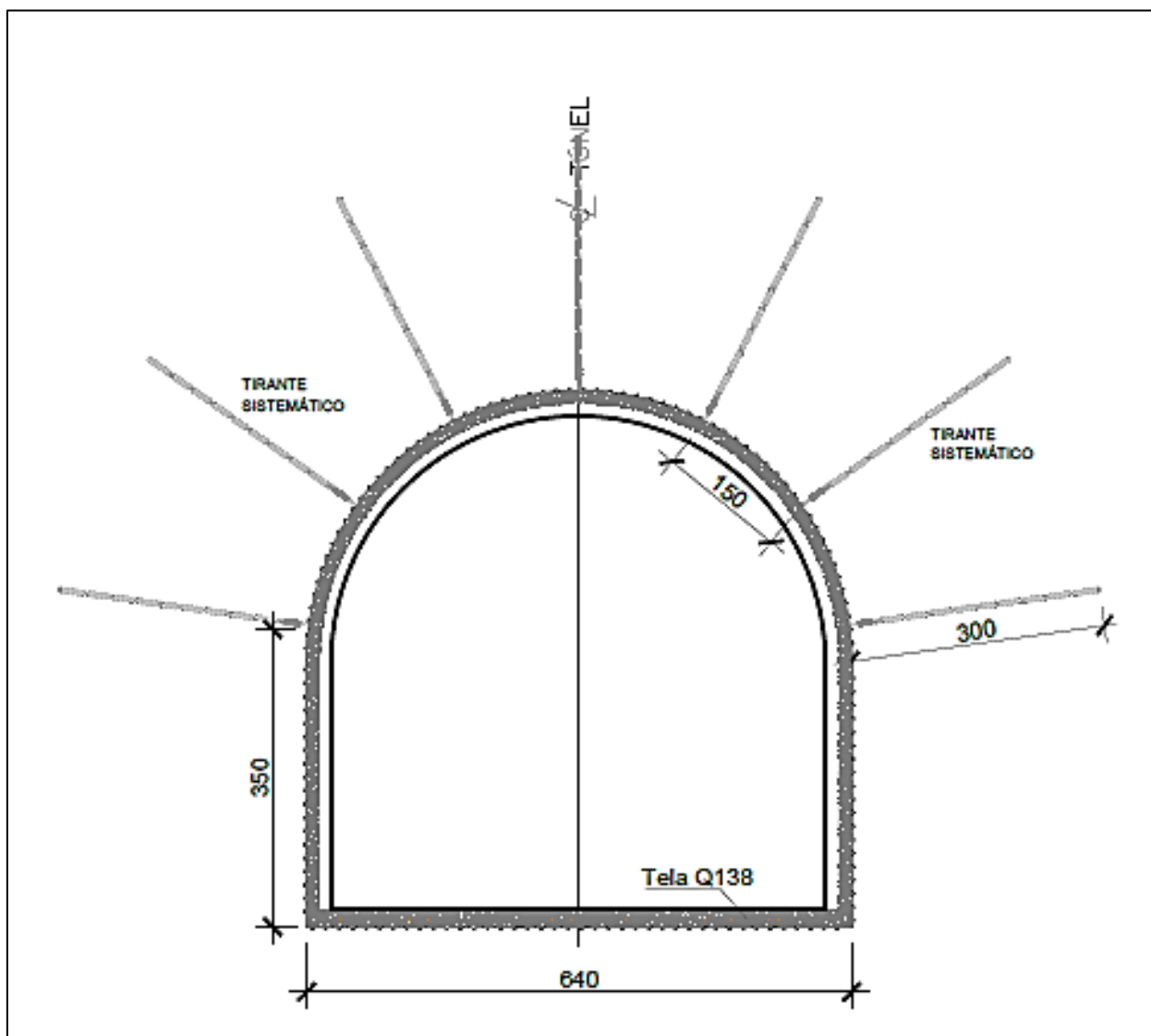
CARGA DE TRABALHO (Ct) =100kN

PROTENSÃO (50% DE Ct) =50kN

TELA ELETROSOLDADA Q138: 6,20m2/m DE TÚNEL (2,20  
kg/m2)



Figura 3.8: Tratamento Estaca 1+399,80 a 1+473,80 RMR=42=Classe III.



**3.2.9 ESTACA 1+473,80 A 2+050,00 M****Tabela 3.17: Tratamento Estaca 1+473,80 a 2+050,00 RMR=65=Classe II.**

URM.5© - Underground Rock Mechanics - Evaluation Module Page 2/4  
[BACK](#)

DATE:  
PROJECT:  
SITE OF SURVEY: Trecho: Seção :  
ROCK TYPE:

**1 Rock Mass Classification/Classificação do Maciço**

**RMR Index = 65** **Description/Descrição**  
GOOD ROCK\_Rocha boa

**2 Rock Loads/Cargas do Maciço**

SUPPORT PRESSURE (based on RMR)/Pressão no Suporte, (baseado no RMR)  
 $ht = ((100-RMR)/100) * B$  = rock-load height in meters  
**P=g** B=Support load in MPa  
 where/onde:  
 B = Tunnel width in m  
 largura do túnel (m)  
 g = Rock density in kg/m3  
 densidade da rocha (kg/m3)

Inputs	Outputs
B = 6.40	ht = 2.24 m
g = 2600	P = 0.06 MPa, or 0.58 kg/cm2

**DIAGRAMATIC RESULTING PARAMETERS/Diagrama de Parâmetros Resultantes**

P max.	0.06 MPa	or	5824 kg/m2
P min.	0.08 MPa	or	8160 kg/m2

Span Defined  
Mspan possible unsupported

6.40 m  
5.76 m

Vão definido  
Máximo vão sem suporte

**Key table for selection of ESR**

Note: The ESR is related to the use for which the excavation is intended and the degree of safety demanded.

Category	ESR	Select	Category	ESR
Temporary mine openings	4	0	Minor highway/railroad tunnels	1.3
Vertical shaft circular section	2.5	0	Surge chambers/access tunnels	1.3
Vertical shaft rectang/square	2	0	Power stations	1
Permanent mine openings	1.6	0	Major highway/railroad tunnels	1
Water tunnels for hydropower	1.6	1	Civil defense chambers	1
Pilot tunnels/driffts	1.6	0	Portals/intersections	1
Headings for large excavations	1.6	0	Nuclear power plants/factories	0.8
Storage room/water treat. plant	1.3	0	Railroad stations	0.8

**ESR SELECTION IS OK\_ SEE RECOMMENDED METHOD OF EXCAVATION**

Tabela 3.18: Tratamento Estaca 1+473,80 a 2+050,00 (Tirantes e Concreto Projetado)

**4 Design Parameters for mechanical tensioned bolts- Dimensionamento de Tirantes (based on RMR)****Bolt Length (Comprimento do Tirante)= L**Bolt length (Comprimento do Tirante) =  $0.1972(\text{Span})+1.3306$  2.6 mBolt length (Comprimento do Tirante) =  $2.2415 \cdot \ln(\text{Span})-1.3619$  2.8 mBolt length (Comprimento do Tirante) =  $f(\text{Span}^{2/3})$  3.4 m**Bolt length Selected (Comprimento do Tirante Selecionado)** **3.0 m****Bolt Type CA-50 or Hard Steel 25mm diam. (1")**- Bolt Failure Load (Carga de Ruptura) -  $L_f$  (1") = 25335 kgf

- Bolt Spacing (Espaçamento dos Tirantes 1") - S = 1.50

- Effective Bolt Load (Carga efetiva de trabalho)  $E_l$  (1") = 17035 kgf- Bolt Tension (Protensão Tirantes 1") =  $T \cdot 0.6$  (60% of Effective Load) 10221 kgf

URM.5a - Underground Rock Mechanics - Evaluation Module

Page 5/11

Trecho: 1+420 Seção: 0 2+050

**RECOMMENDED EXCAVATION METHOD AND PROCEDURES ACCORDING TO RMR:****Métodologia de escavação e procedimentos conforme o Método RMR:**

#

#

ESCAVAÇÃO: Frente completa em avanços de 1m até 3m.

SUPORTE: Localmente tirantes de 25mm diam., totalmente resinados (na calota), &gt;3,0m comprimento

Espaçamento 1.5 a 1.75m com tela. Completar o suporte até 10m da frente

CONCRETO PROJETADO: Espessura &gt;100mm

VOLUME DE ESCAVAÇÃO: 35,92m<sup>3</sup>/mCONCRETO REVESTIMENTO (PAREDE E TETO):  
fck>30MPa 2,40m<sup>3</sup>/m DE TÚNELCONCRETO PISO: fck>30MPa 1,22m<sup>3</sup>/m DE TÚNELCONCRETO ENCHIMENTO PISO: fck>15MPa 1,22m<sup>3</sup>/m DE TÚNEL

TIRANTE DE AÇO CA-50 C/RESINA

Ø25mm (1") L = 3,00m x 2 =6m

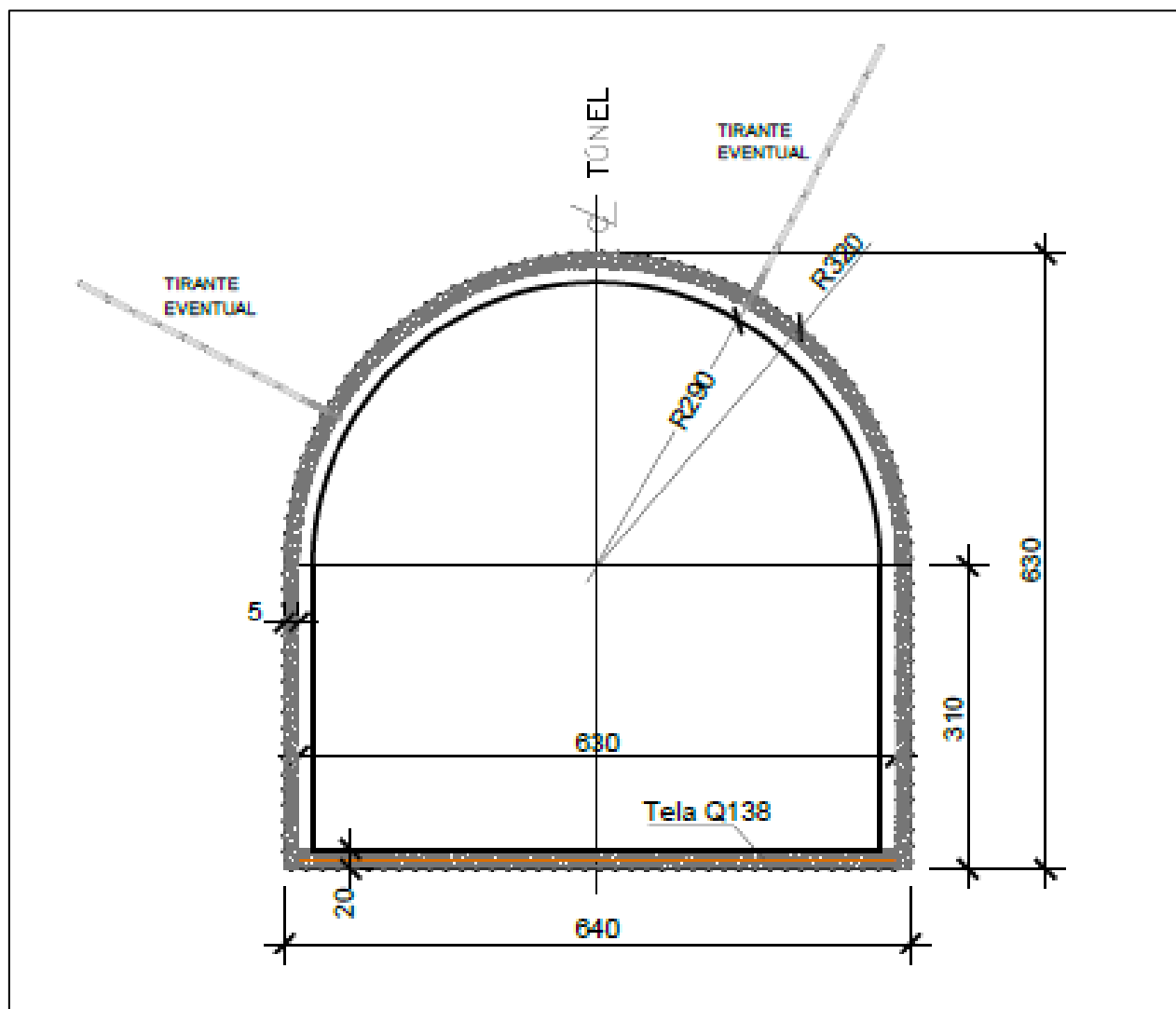
MALHA TRIANGULAR 1,50 X 1,50m

CARGA DE TRABALHO (Ct) =100kN

PROTENSÃO (50% DE Ct) =50kN

TELA ELETROSOLDADA Q138: 6,20m<sup>2</sup>/m DE TÚNEL (2,20 kg/m<sup>2</sup>)

Figura 3.9: Tratamento Estaca 1+473,80 a 2+050,00 RMR=65=Classe II.



**3.2.10 ESTACA 2+050,00 ATÉ 2+150,00 M****Tabela 3.19: Tratamento Estaca 2+050,00 até 2+150 RMR=37=Classe IV.**

URM.5© - Underground Rock Mechanics - Evaluation Module Page 2/4  
[BACK](#)

DATE:  
PROJECT:  
SITE OF SURVEY: Trecho: Seção :  
ROCK TYPE:

**1 Rock Mass Classification/Classificação do Maciço**

**RMR Index = 37** **Description/Descrição**  
POOR ROCK\_Rocha pobre

**2 Rock Loads/Cargas do Maciço**

SUPPORT PRESSURE (based on RMR)/Pressão no Suporte, (baseado no RMR)  
 $ht = ((100-RMR)/100) * B$  = rock-load height in meters  
**P=g** B=Support load in MPa  
 where/onde :  
 B = Tunnel width in m  
 largura do túnel (m)  
 g = Rock density in kg/m3  
 densidade da rocha (kg/m3)

Inputs	Outputs
B = 6.40	ht = 4.03 m
g = 2600	P = 0.10 MPa, or 1.05 kg/cm2

**DIAGRAMATIC RESULTING PARAMETERS/Diagrama de Parâmetros Resultantes**

P max.	0.10 MPa	or	10483 kg/m2
P min.	0.05 MPa	or	5072 kg/m2

Span Defined  
Mspan possible unsupported

Vão definido  
Máximo vão sem suporte

**Key table for selection of ESR**

Note: The ESR is related to the use for which the excavation is intended and the degree of safety demanded.

Category	ESR	Select	Category	ESR
Temporary mine openings	4	0	Minor highway/railroad tunnels	1.3
Vertical shaft circular section	2.5	0	Surge chambers/access tunnels	1.3
Vertical shaft rectang/square	2	0	Power stations	1
Permanent mine openings	1.6	0	Major highway/railroad tunnels	1
Water tunnels for hydropower	1.6	1	Civil defense chambers	1
Pilot tunnels/driffts	1.6	0	Portals/intersections	1
Headings for large excavations	1.6	0	Nuclear power plants/factories	0.8
Storage room/water treat. plant	1.3	0	Railroad stations	0.8

**ESR SELECTION IS OK\_ SEE RECOMMENDED METHOD OF EXCAVATION**



Tabela 3.20: Estaca 2+050,00 até 2+150 (Cambotas + Concreto Projetado)

ESR SELECTION IS OK\_ SEE RECOMMENDED METHOD OF EXCAVATION

**4 Design Parameters for mechanical tensioned bolts- Dimensionamento de Tirantes  
(based on RMR)****Bolt Length (Comprimento do Tirante)= L**

Bolt length (Comprimento do Tirante) = 0.1972(Span)+1.3306 2.6 m

Bolt length (Comprimento do Tirante) = 2.2415\*Ln(Span)-1.3619 2.8 m

Bolt length (Comprimento do Tirante) = f(Span<sup>2</sup>/3) 3.4 m**Bolt length Selected (Comprimento do Tirante Selecionado) 3.0 m****Bolt Type CA-50 or Hard Steel 25mm diam. (1")**

- Bolt Failure Load (Carga de Ruptura) - Lf (1") = 25335 kgf

- Bolt Spacing (Espaçamento dos Tirantes 1") - S = 1.50

- Effective Bolt Load (Carga efetiva de trabalho) El(1") = 17690 kgf

- Bolt Tension (Protensão Tirantes 1") = T\*0.6 (60% of Effective Load) 10614 kgf

URM.5ã - Underground Rock Mechanics - Evaluation Module

Page 5/11

Trecho: 0+400 Seção: 0 0+500

**RECOMMENDED EXCAVATION METHOD AND PROCEDURES ACCORDING TO RMR:****Métodologia de escavação e procedimentos conforme o Método RMR:**

ESCAVAÇÃO: Avanço em calota e bancada, 1 a 1.5m avanço. Instalar suporte concomitantemente com o avanço no máximo 2m da frente. Completar o suporte 6m da face.

SUPORTE: Atirantamento sistemático 25mm diam., totalmente resinados, 3m de comprimento espaçamento 1 a 1.5m na calota e paredes.

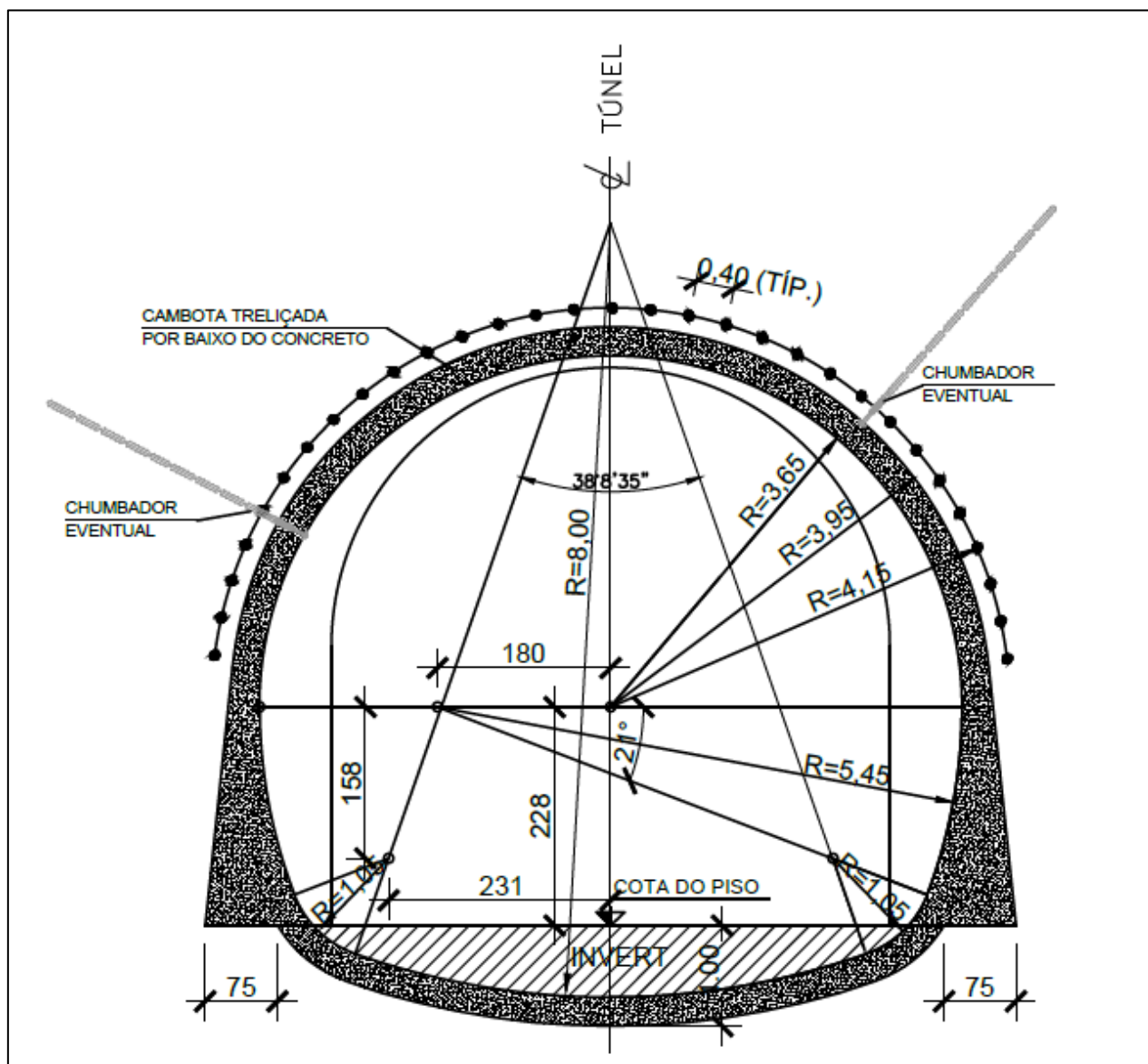
CONCRETO PROJETADO COM FIBRA: 150 a 200mm espessura no teto e 150 a 200 mm nas paredes.

Eventualmente cambotas leves espaçadas 1 m onde requerido.

#

VOLUME DE ESCAVAÇÃO: 48,54m <sup>3</sup> /m
ENFILAGEM: 31 FUROS 15m Ø>100mm
TUBO DE AÇO Ø100mm L=6mx2,5=15m
TOTAL ENFILAGEM/SEÇÃO: 465m
CONCRETO REVESTIMENTO (PAREDE E TETO): fck>30MPa 6,35m <sup>3</sup> /m DE TÚNEL. - FIBRA 45KG/M <sup>3</sup> .
CONCRETO INVERT: fck>30MPa 2,09m <sup>3</sup> /m DE TÚNEL
CONCRETO ENCHIMENTO PISO/INVERT: fck>15MPa 3,31m <sup>3</sup> /m DE TÚNEL
TIRANTE EVENTUAL: Ø25mm (1") L=3,00m

Figura 3.10: Tratamento Estaca 2+050,00 até 2+150 RMR=37=Classe IV.







**Tabela 3.22: Estacas 0+200,00m até 0+298,80m 2+150,00 até 2+600,00 (Cambotas + Concreto Projetado)**

<b>Key table for selection of ESR</b>				
Note: The ESR is related to the use for which the excavation is intended and the degree of safety demanded.				
Category	ESR	Select	Category	ESR
Temporary mine openings	4	0	Minor highway/railroad tunnels	1.3
Vertical shaft circular section	2.5	0	Surge chambers/access tunnels	1.3
Vertical shaft rectang/square	2	0	Power stations	1
Permanent mine openings	1.6	0	Major highway/railroad tunnels	1
Water tunnels for hydropower	1.6	0	Civil defense chambers	1
Pilot tunnels/drifts	1.6	0	Portals/intersections	1
Headings for large excavations	1.6	0	Nuclear power plants/factories	0.8
Storage room/water treat. plant	1.3	0	Railroad stations	0.8

**ESR SELECTION IS OK\_ SEE RECOMMENDED METHOD OF EXCAVATION**

**4 Design Parameters for mechanical tensioned bolts- Dimensionamento de Tirantes (based on RMR)**

**Bolt Length (Comprimento do Tirante)= L**

Bolt length (Comprimento do Tirante) =	$0.1972(\text{Span})+1.3306$	2.6 m
Bolt length (Comprimento do Tirante) =	$2.2415 \cdot \ln(\text{Span})-1.3619$	2.8 m
Bolt length (Comprimento do Tirante) = $f(\text{Span}^{2/3})$		3.4 m
<b>Bolt length Selected (Comprimento do Tirante Selecionado)</b>		<b>3.0 m</b>

**Bolt Type CA-50 or Hard Steel 25mm diam. (1")**

- Bolt Failure Load (Carga de Ruptura) - $L_f$ (1") =	25335 kgf
- Bolt Spacing (Espaçamento dos Tirantes 1") - S =	1.50
- Effective Bolt Load (Carga efetiva de trabalho) $E_l$ (1") =	16885 kgf
- Bolt Tension (Protensão Tirantes 1") = $T \cdot 0.6$ (60% of Effective Load)	10131 kgf

**URM.5ã - Underground Rock Mechanics - Evaluation Module**

Trecho: 0+160 Seção : 0 0+400

**RECOMMENDED EXCAVATION METHOD AND PROCEDURES ACCORDING TO RMR:**

**Métodologia de escavação e procedimentos conforme o Método RMR:**

ESCAVAÇÃO: Avanço em seção plena de 0.5 a 1.5m comprimento. Instalar suporte concomitante com o avanço. Lançar concreto projetado logo após a detonação.

SUPORTE: Instalar cambotas sistematicamente com tirantes eventuais 25mm diam. Resinados 3m comprim. Espaçamento 1 a 1.5m no teto e paredes com tela.

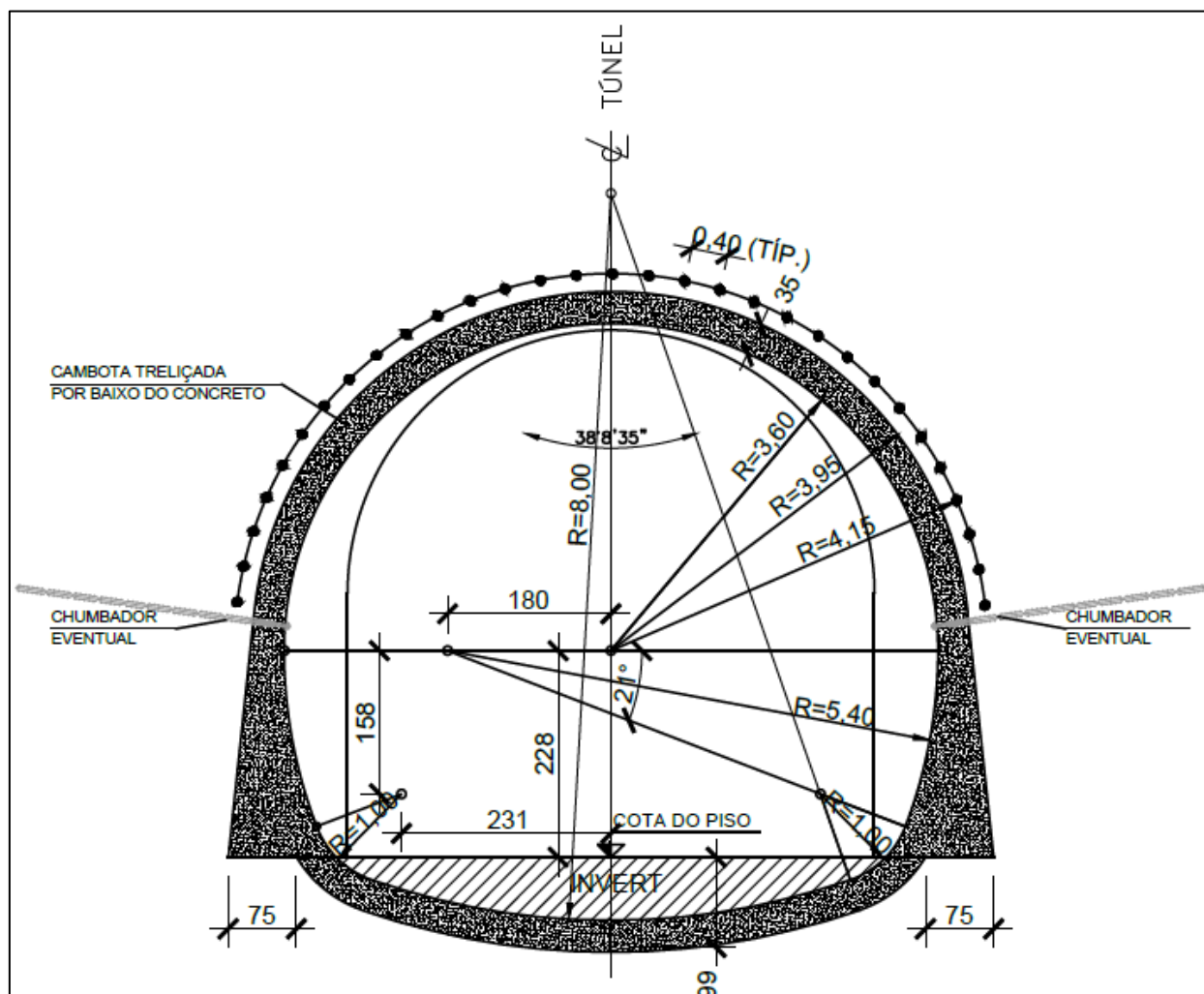
CONCRETO PROJETADO: 250 a 300mm espessura no teto e parede cobrindo totalmente a cambota. Instalar cambotas treliçadas espaçadas 0.75m a 1.0m com uso de terças metálicas se necessário.

MÉTODO ALTERNATIVO: Invert fechado

Page 5/11

VOLUME DE ESCAVAÇÃO: 48,54m3/m
ENFILAGEM: 31 FUIROS 15m Ø>100mm
TUBO DE AÇO Ø100mm L=6mx2,5=15m
TOTAL ENFILAGEM/SEÇÃO: 465m
CONCRETO REVESTIMENTO (PAREDE E TETO): fck>30MPa 7,16m3/m DE TÚNEL - FIBRA 45KG/M3.
CONCRETO INVERT: fck>30MPa 2,41m3/m DE TÚNEL
CONCRETO ENCHIMENTO PISO/INVERT: fck>15MPa 3,00m3/m DE TÚNEL
TIRANTE EVENTUAL: Ø25mm (1") L=3,00m

Figura 3.11: Tratamento Estacas 0+200,00m até 0+298,80m 2+150,00 até 2+600,00 RMR=18=Classe V.





MINISTÉRIO DO  
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



Projeto Executivo do  
Canal de Xingó, Fase I, Lote I

---

## 4. *ANÁLISE DO ESTADO DE TENSÕES*

---

## 4 ANÁLISE DO ESTADO DE TENSÕES

### 4.1 MODELAMENTO

Para análise do provável estado de tensões no maciço onde o túnel será escavado foi utilizado o programa Examine2D da empresa Rocscience (EUA), que utiliza elementos de contorno para análise bidimensional (2D) de tensões elásticas em escavações subterrâneas. Embora Examine2D é voltado principalmente para a análise de escavações em rocha, ele também pode ser usado para aplicações de solo.

Examine2D é projetado para ser uma ferramenta de análise paramétrica rápido e simples de usar para investigar a influência da geometria e variabilidade in-situ de tensões e as mudanças dessas tensões em rocha devido às escavações. As tensões induzidas no plano da análise podem ser visualizados por meio de padrões de esforço de contorno na região em torno das escavações. Como uma ferramenta para interpretar a quantidade de sobre tensões (overstress deviatoric) em torno das aberturas, os contornos modelados mostram quantitativamente as forças/tensões de acordo com um critério de falha definido pelo usuário para o maciço rochoso. Vetores de deslocamento e deformados resultantes que podem ser plotados para ilustrar as tendências gerais de deformação.

A análise dos elementos de contorno elástica usada no Examine2D é aplicada nas seguintes condições:

- modelo homogêneo
- isotrópico ou transversalmente isotrópico
- linearmente elástico

Para o túnel Vila Matias os seguintes parâmetros geomecânicos foram analisados:

- Sigma 1 (tensão principal - vertical)
- Sigma 3 (tensão horizontal)
- “Strength Factor” (fator de resistência – derivado da forma do túnel)

Na sequência são apresentadas as descrições dos estados de tensões analisados por cada trecho de projeto.

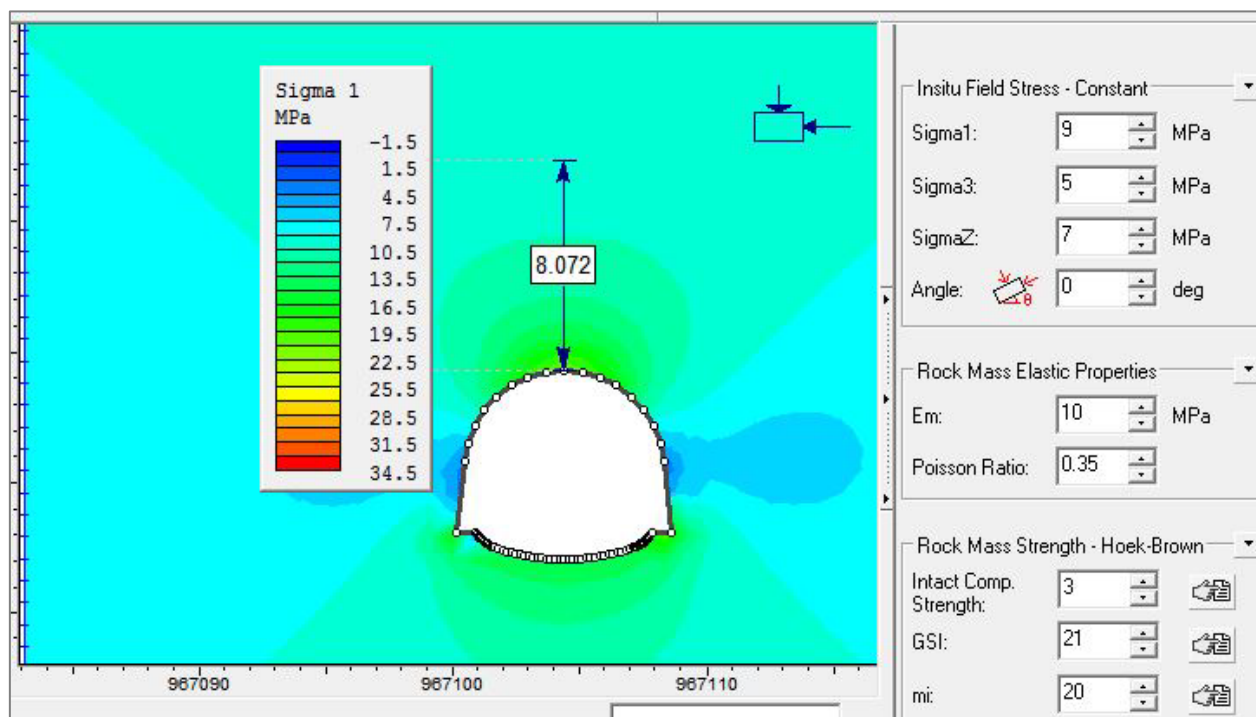
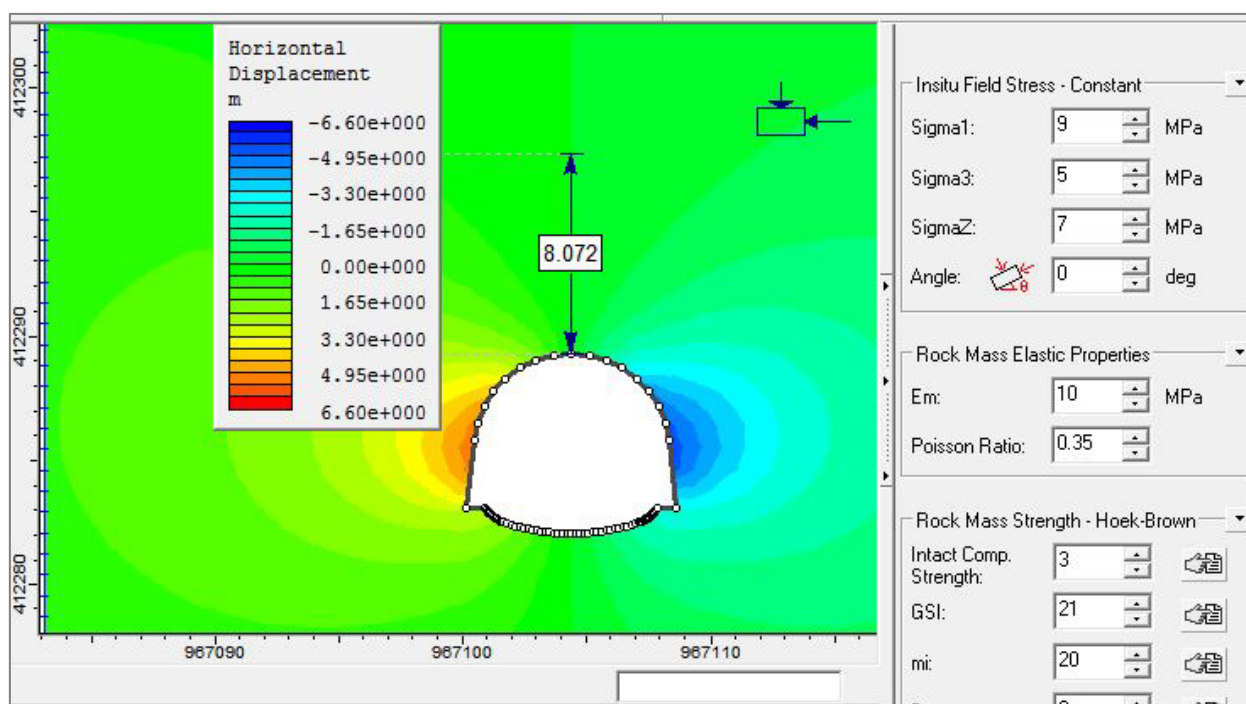
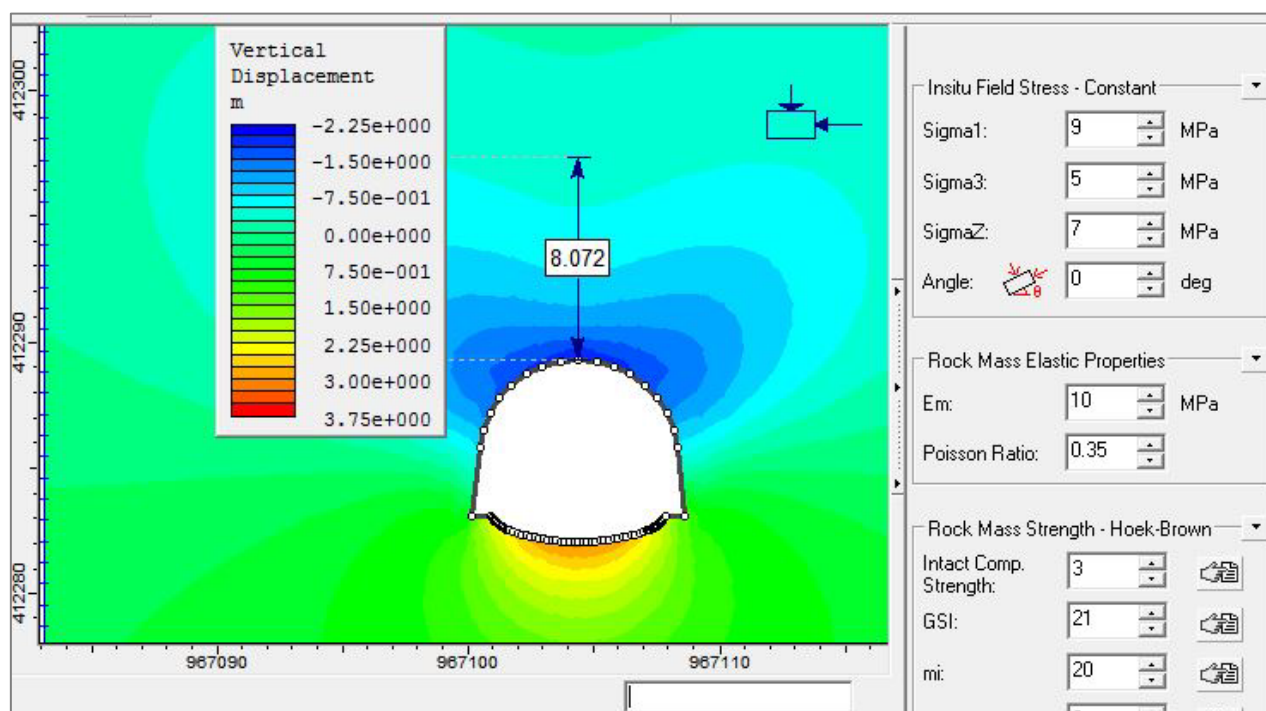
**4.1.1 ESTACA 0+298,80 ATÉ 0+498,80 M - MACIÇO CLASSE IV****Figura 4.1: Sigma 1 – Estaca 0+200 até 0+498,80 m.****Figura 4.2: Deslocamento Horizontal – Estaca 0+200 até 0+498,80 m.**



Figura 4.3: Deslocamento Vertical – Estaca 0+200 até 0+498,80 m.



#### 4.1.2 ESTACA 0+498,80 ATÉ 0+699,80 M - MACIÇO CLASSE II

Figura 4.4: Sigma 1 – Estaca 0+498,80 até 0+699,80 m.

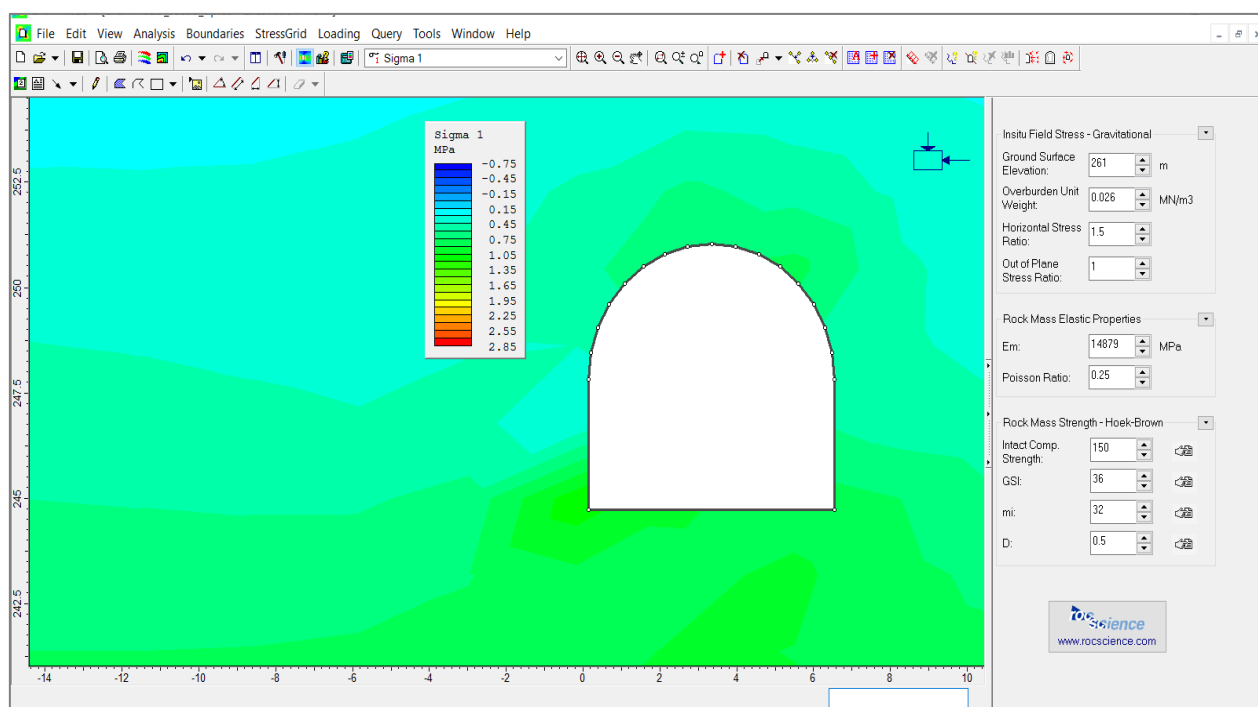


Figura 4.5: Sigma 3 – Estaca 0+498,80 até 0+699,80 m.

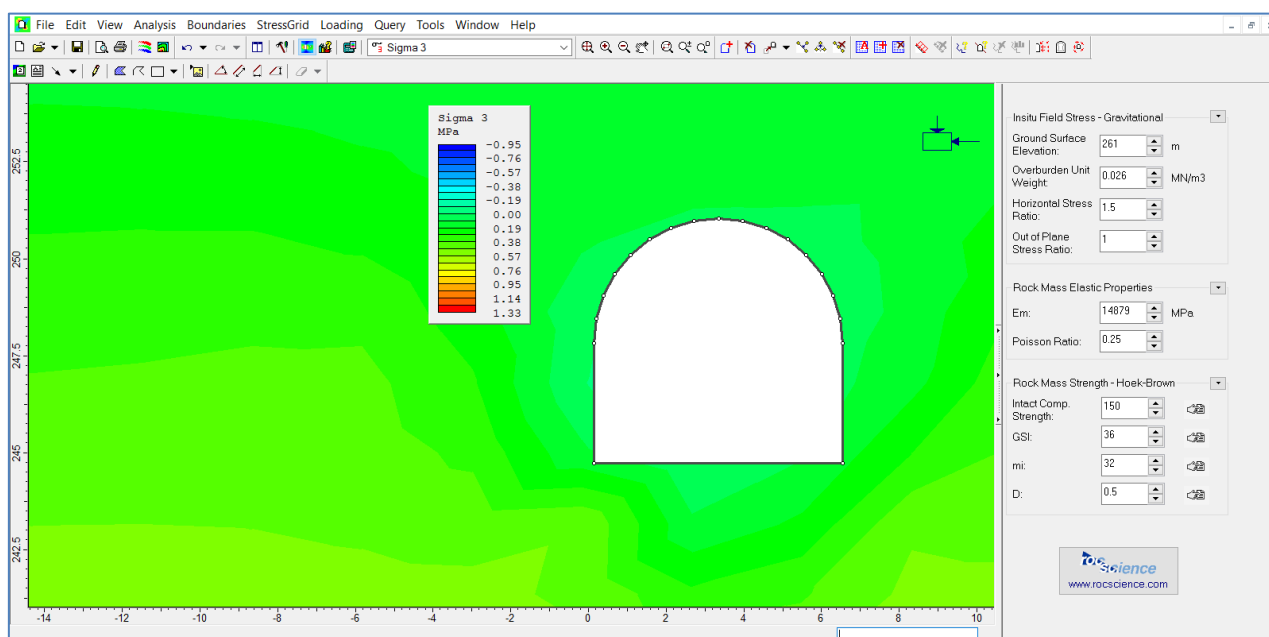
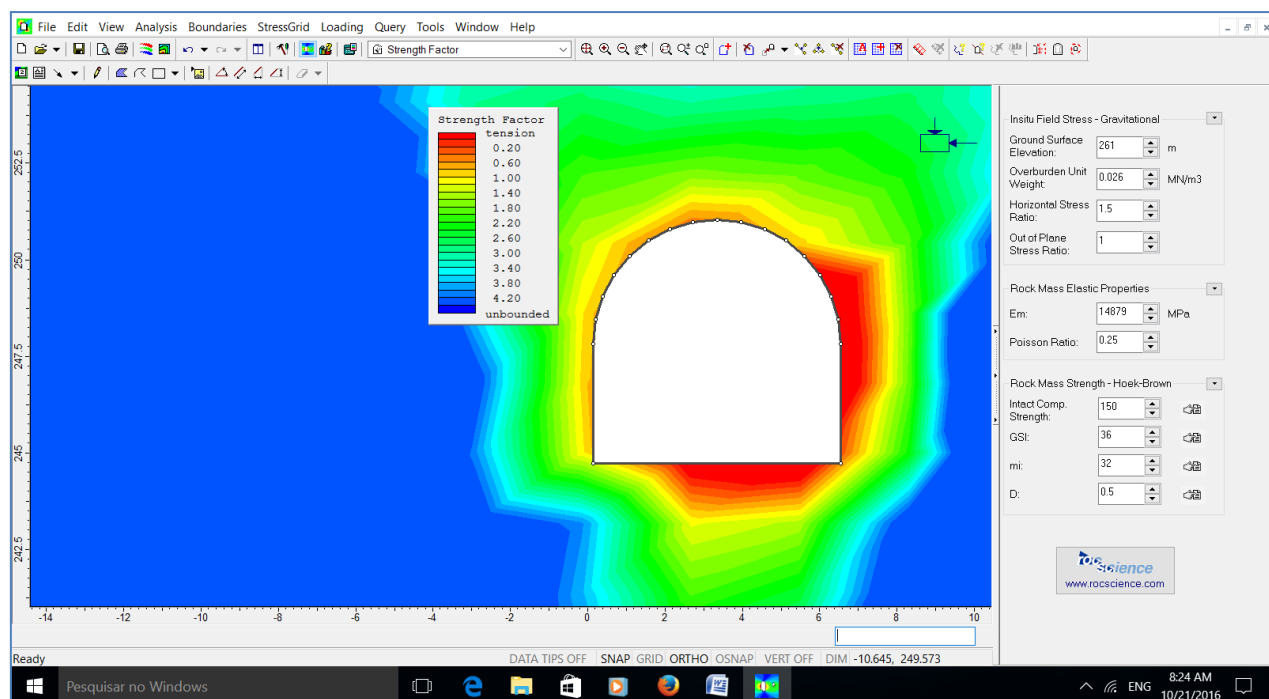


Figura 4.6: Strength Factor – Estaca 0+498,80 até 0+699,80 m.



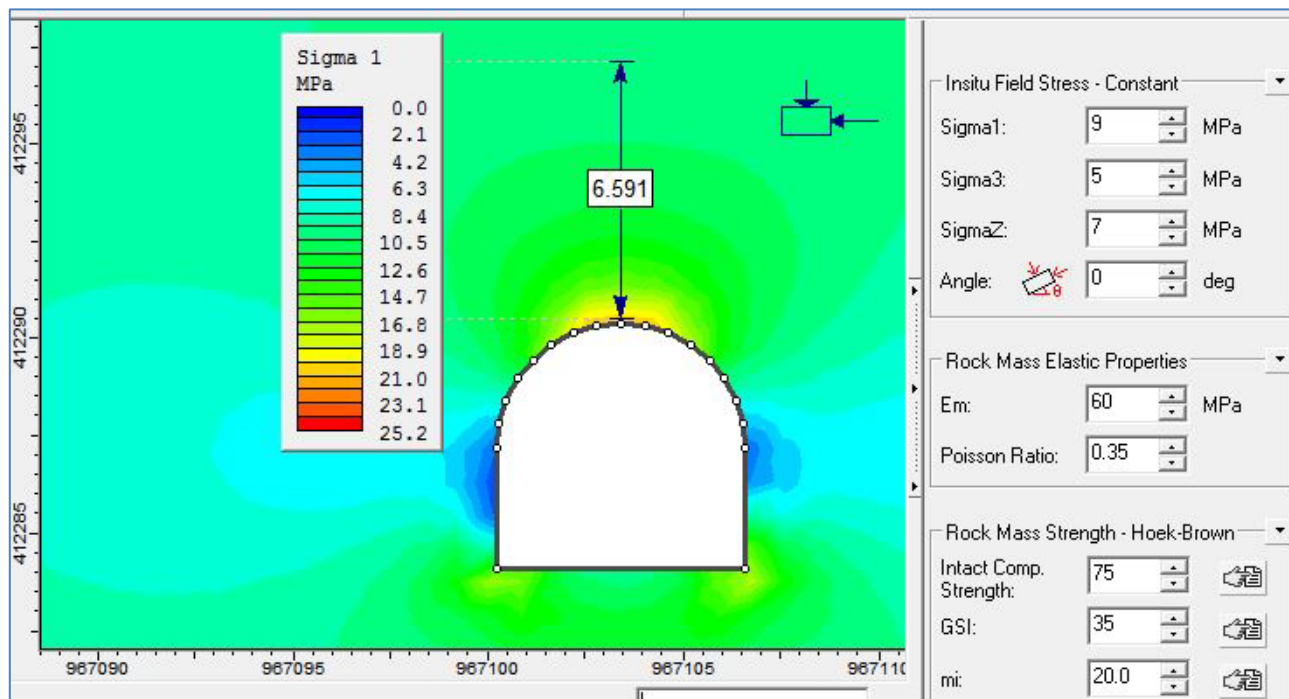
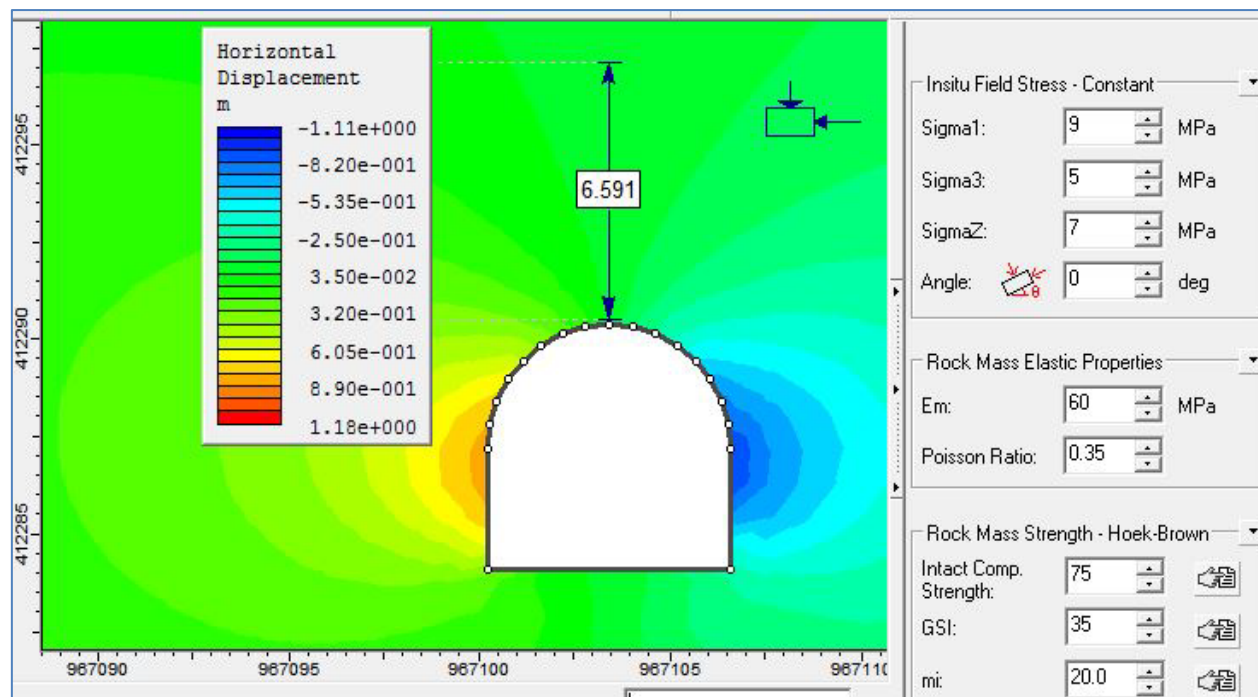
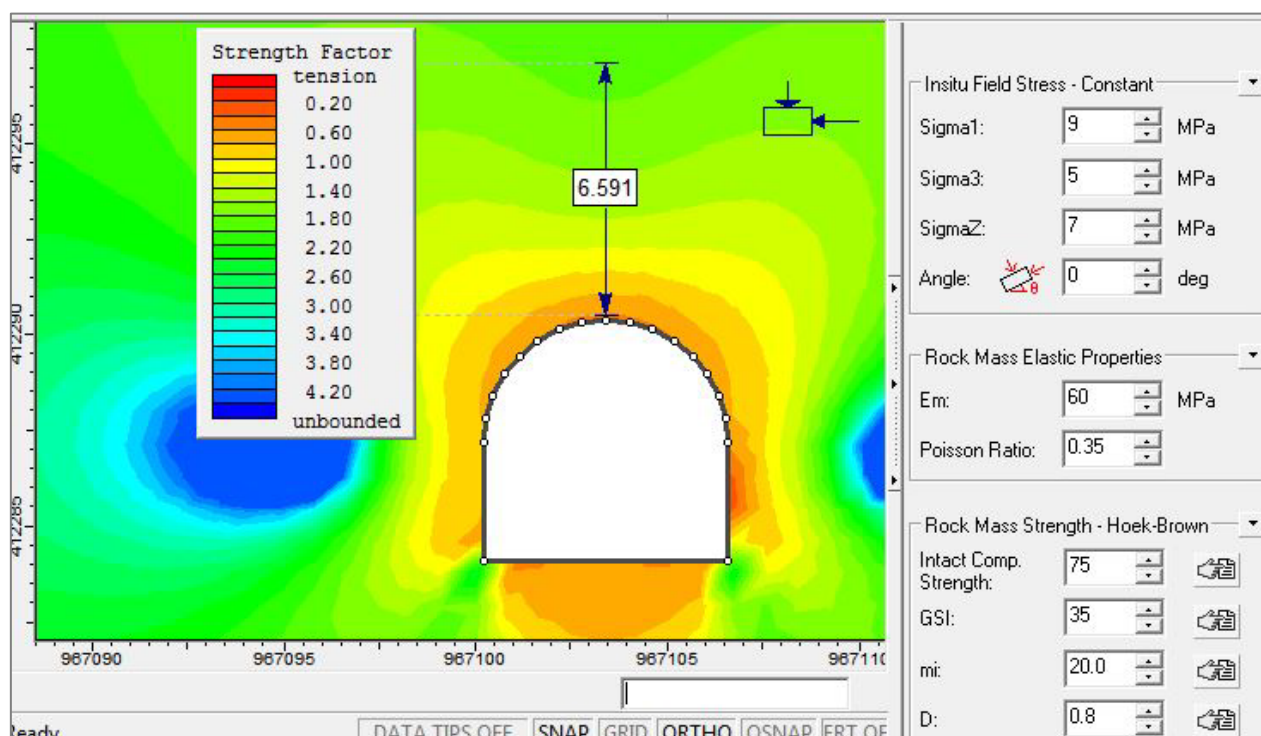
**4.1.3 ESTACA 0+699,80 ATÉ 0+773,00 M - MACIÇO CLASSE III****Figura 4.7: Sigma 1 – Estaca 0+699,80 até 0+773,00 m.****Figura 4.8: Deslocamento Horizontal – Estaca 0+699,80 até 0+773,00 m.**

Figura 4.8A: Strength Factor – Estaca 0+699,80 até 0+773,00 m.



## 4.1.4 ESTACA 0+773,00 A 0+923,30 M - MACIÇO CLASSE II

Figura 4.9: Sigma 1 – Estaca 0+773,00 a 0+923,30 m.

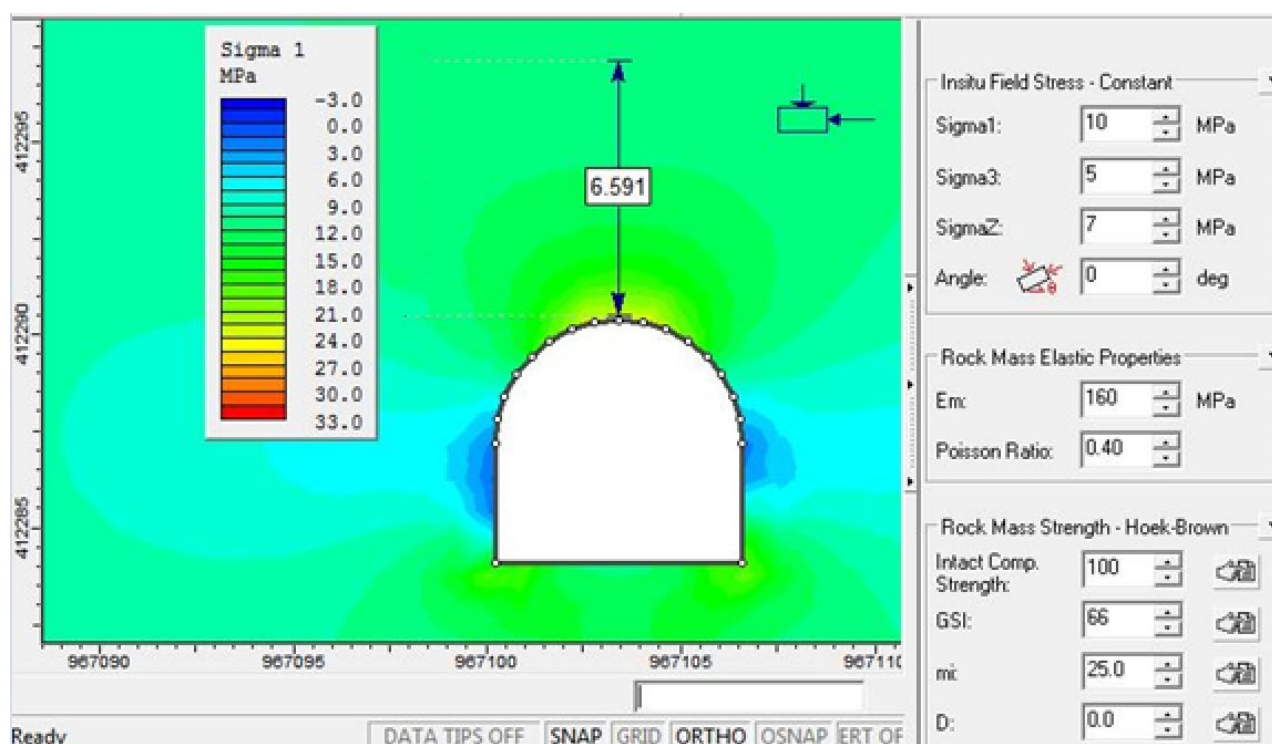


Figura 4.10: Sigma 3 – Estaca 0+773,00 a 0+923,30 m.

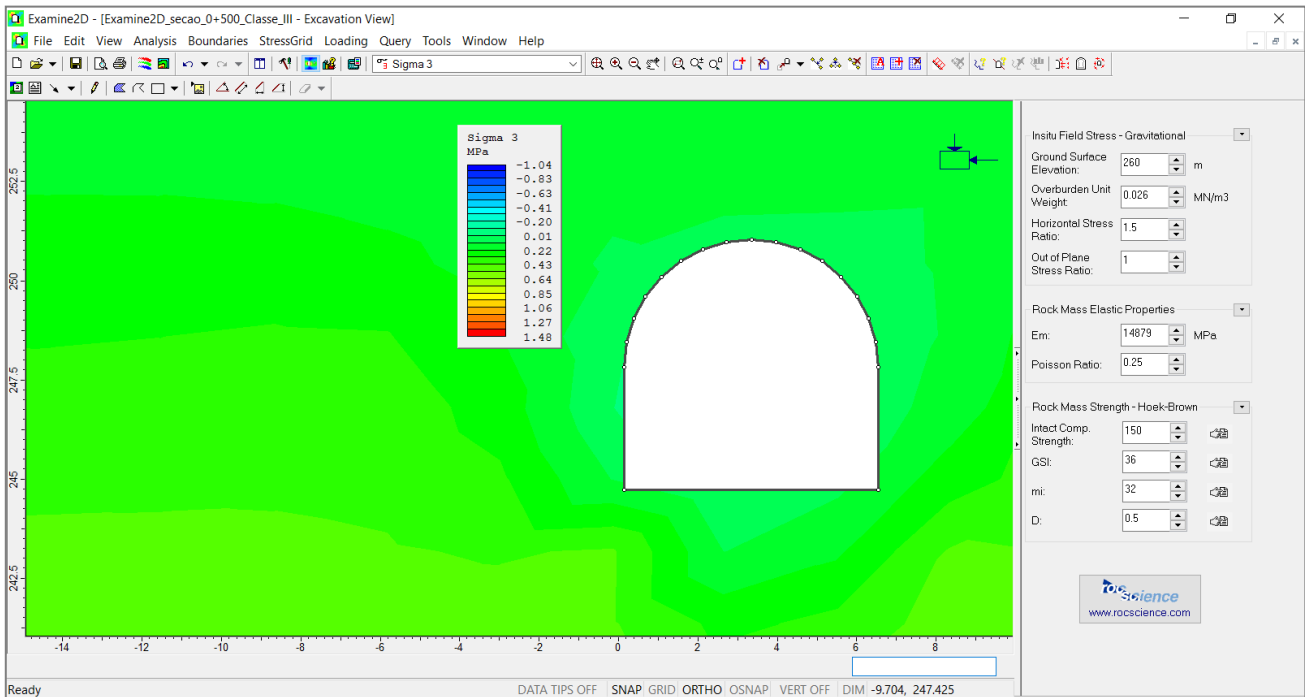
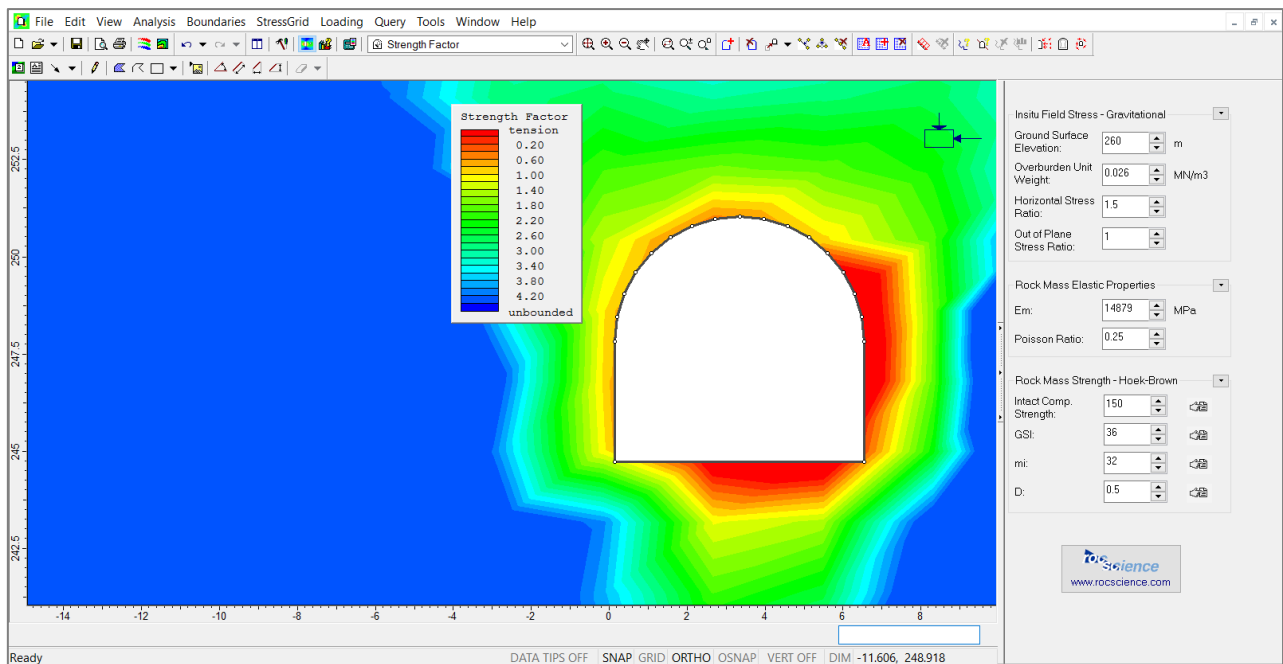


Figura 4.11: Strength Factor – Estaca 0+773,00 a 0+923,30 m.





#### 4.1.5 ESTACA 0+923,30 A 1+027,50 M - MACIÇO CLASSE III

Figura 4.12: Sigma 1 – Estaca 0+923,30 a 1+027,50 m.

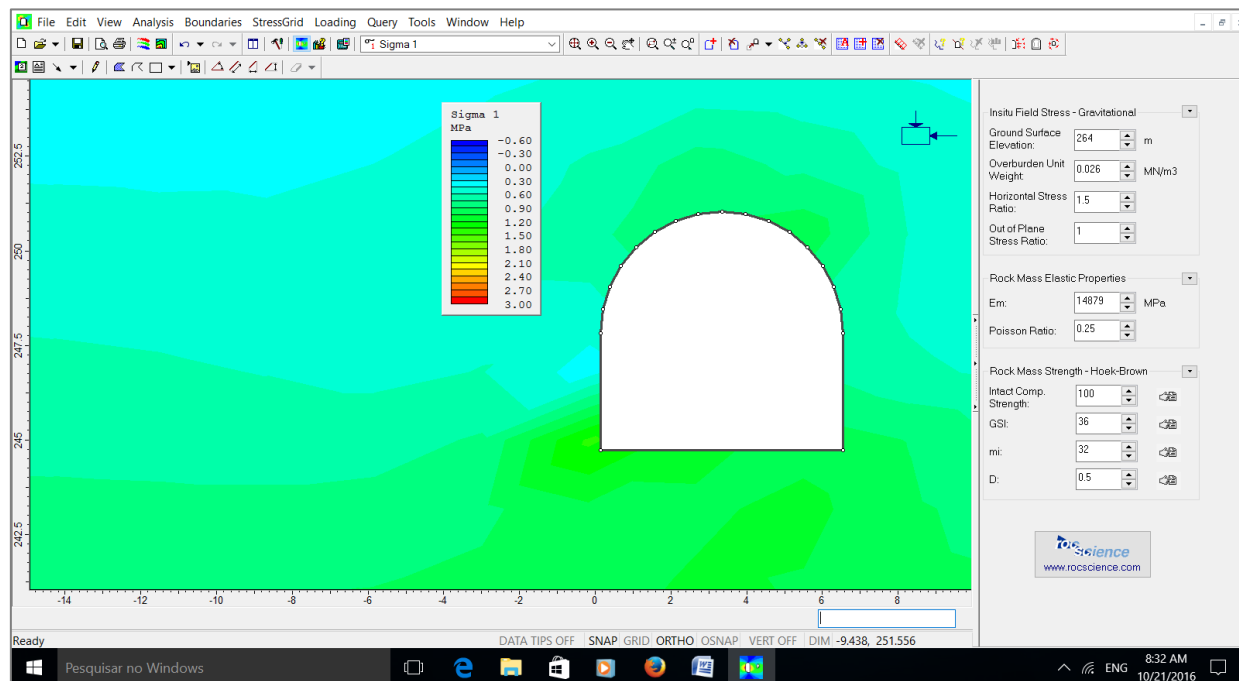


Figura 4.13: Sigma 3 – Estaca 0+923,30 a 1+027,50 m.

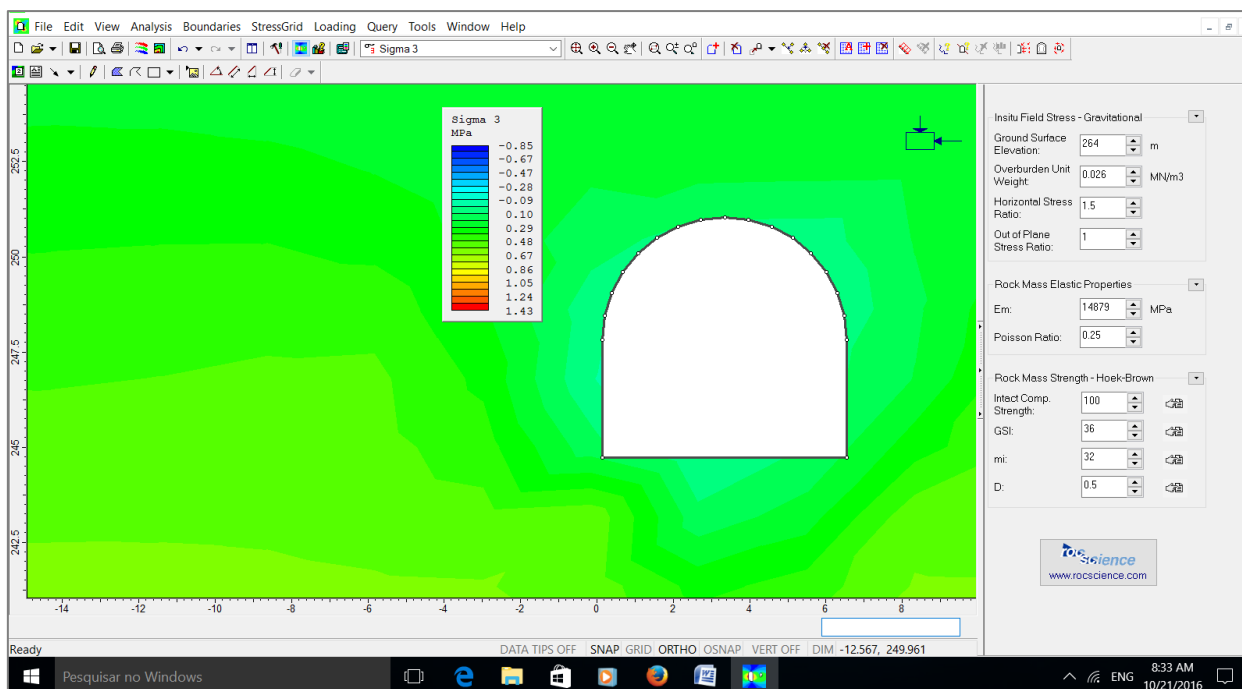
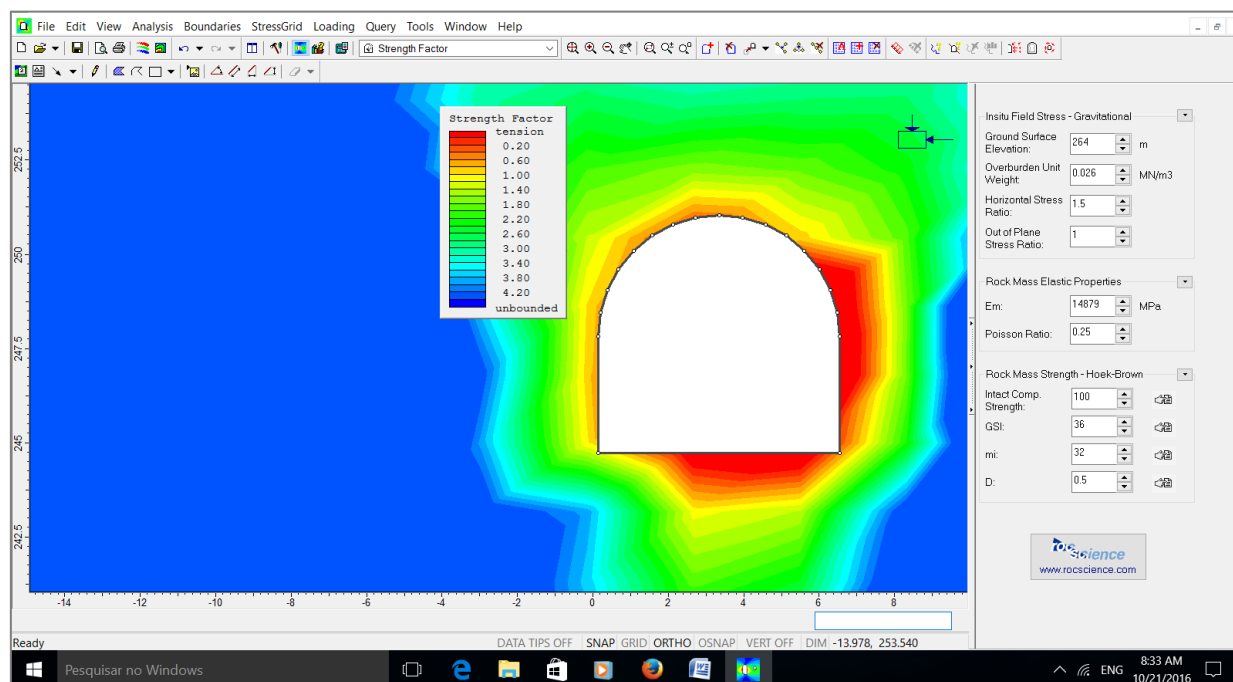




Figura 4.14: Strenght Factor – Estaca 0+923,30 a 1+027,50 m.



#### 4.1.6 ESTACA 1+027,50 A 1+249,90 M - MACIÇO CLASSE IV

Figura 4.15: Sigma 1 – Estaca 1+027,50 a 1+249,90 m.

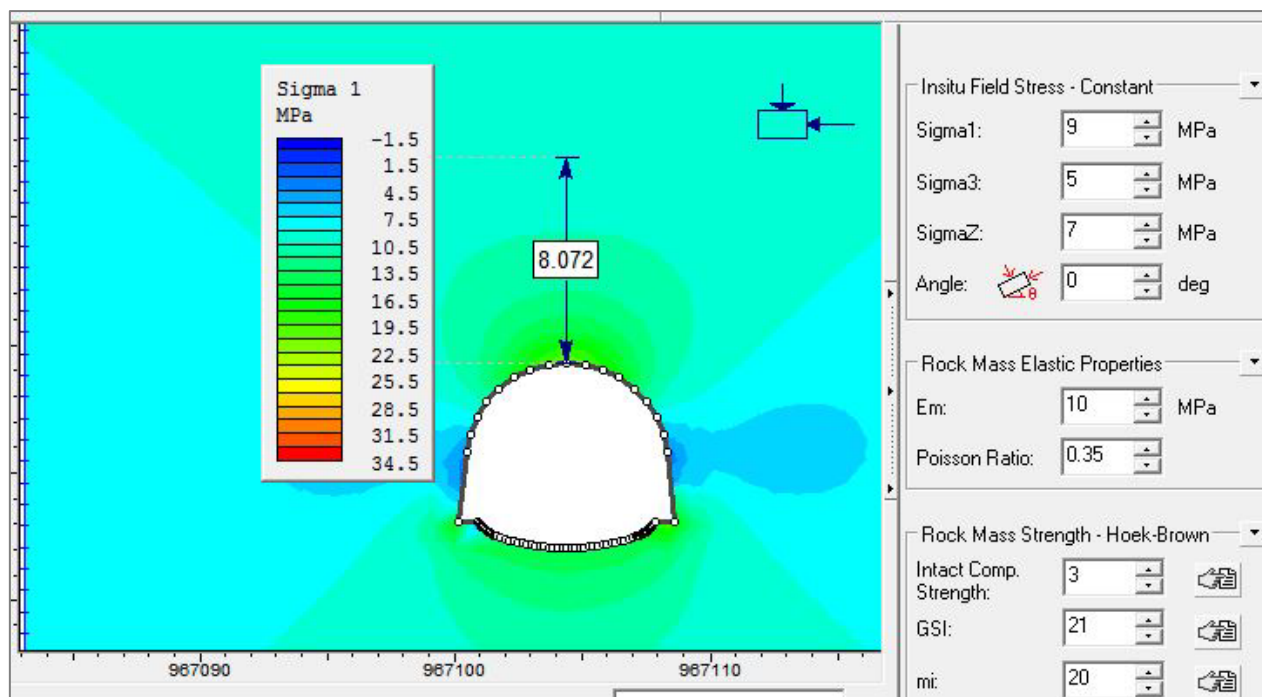


Figura 4.16: Horizontal Displacement – Estaca 1+027,50 a 1+249,90 m.

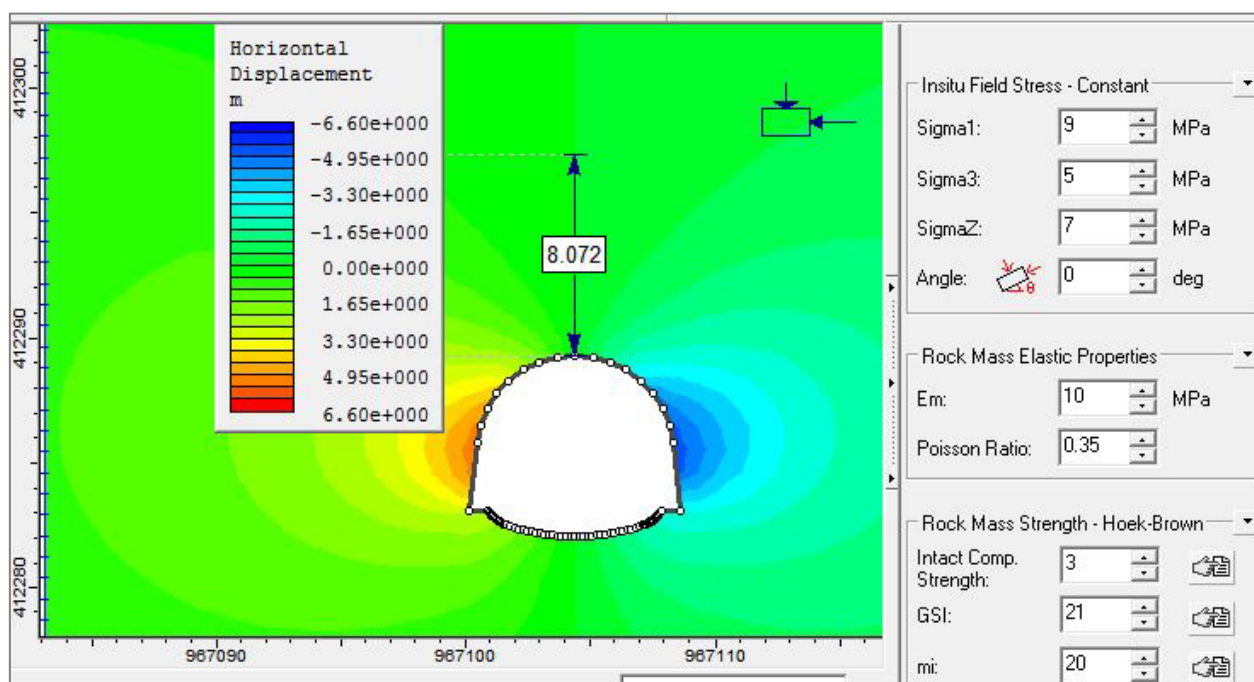


Figura 4.17: Vertical Displacement – Estaca 1+027,50 a 1+249,90 m.

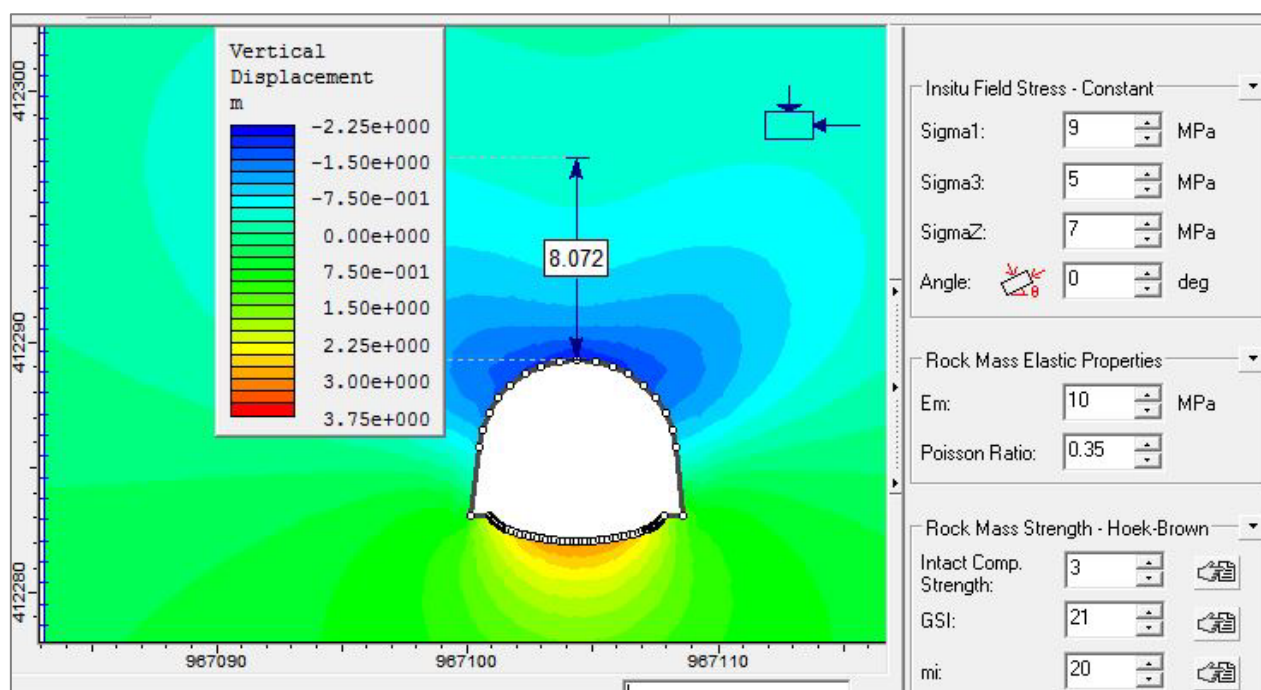
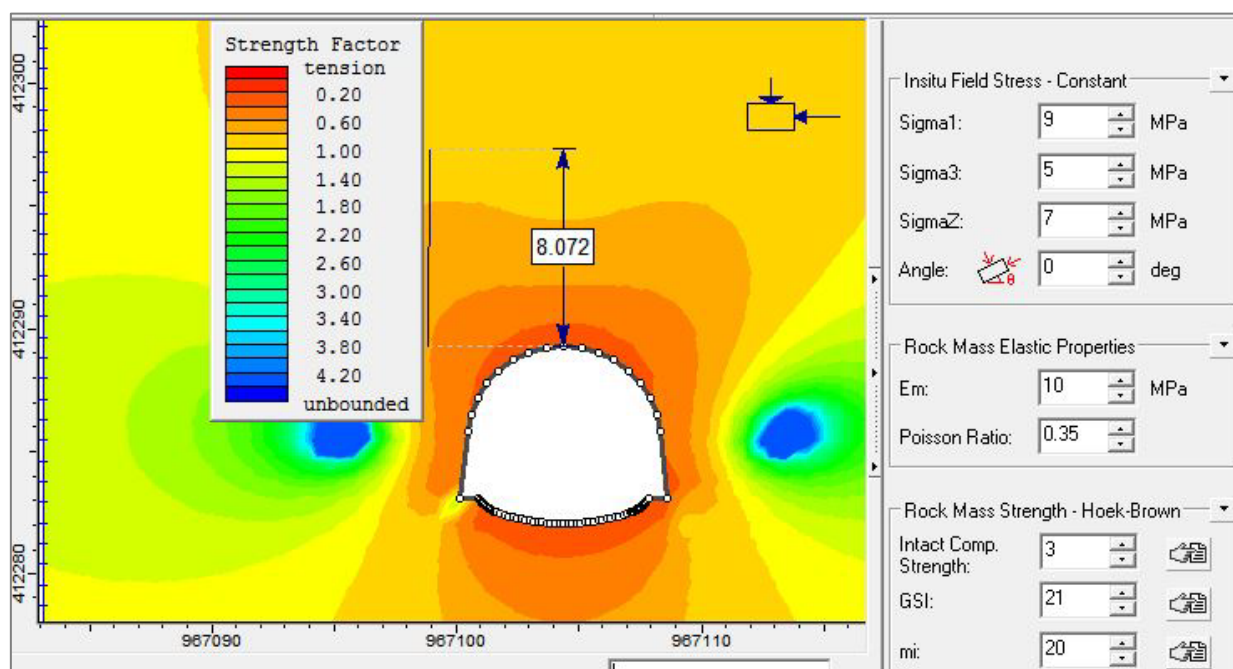


Figura 4.18: Strength Factor – Estaca 1+027,50 a 1+249,90 m.



#### 4.1.7 ESTACA 1+249,90 A 1+399,80 M - MACIÇO CLASSE III

Figura 4.19: Sigma 1 – Estaca 1+249,90 a 1+399,80 m.

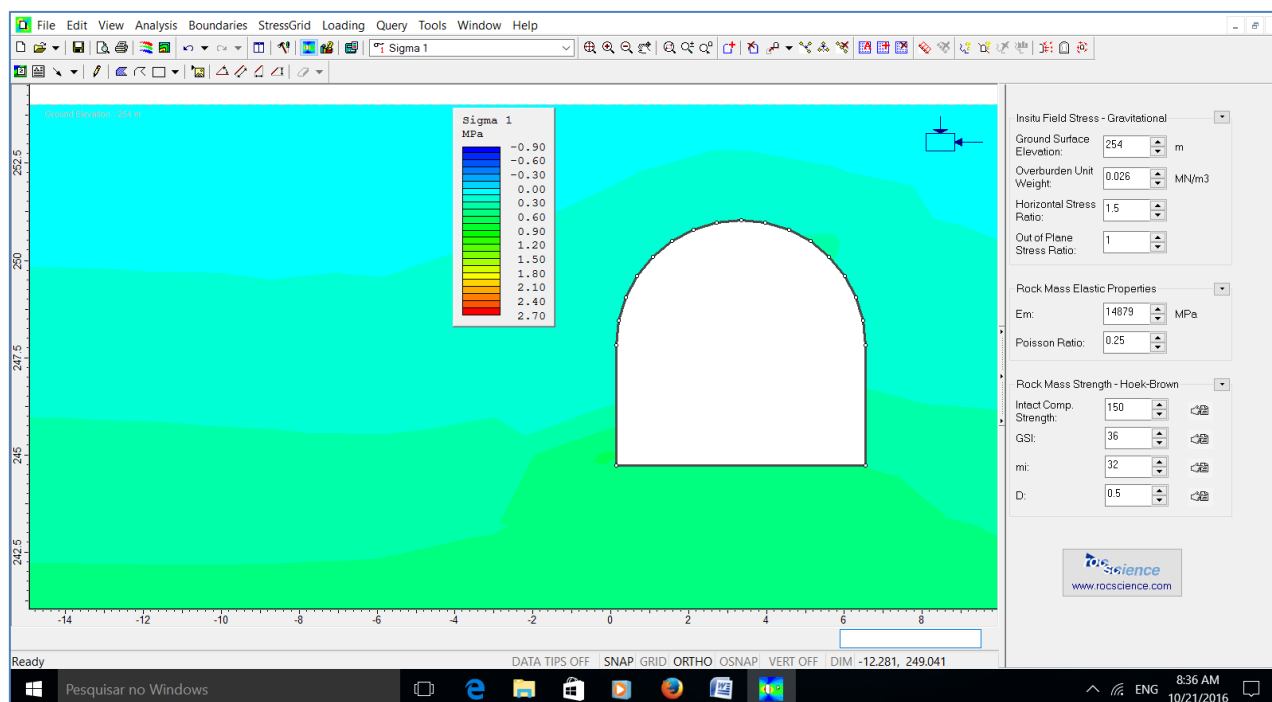


Figura 4.20: Sigma 3 – Estaca 1+249,90 a 1+399,80 m.

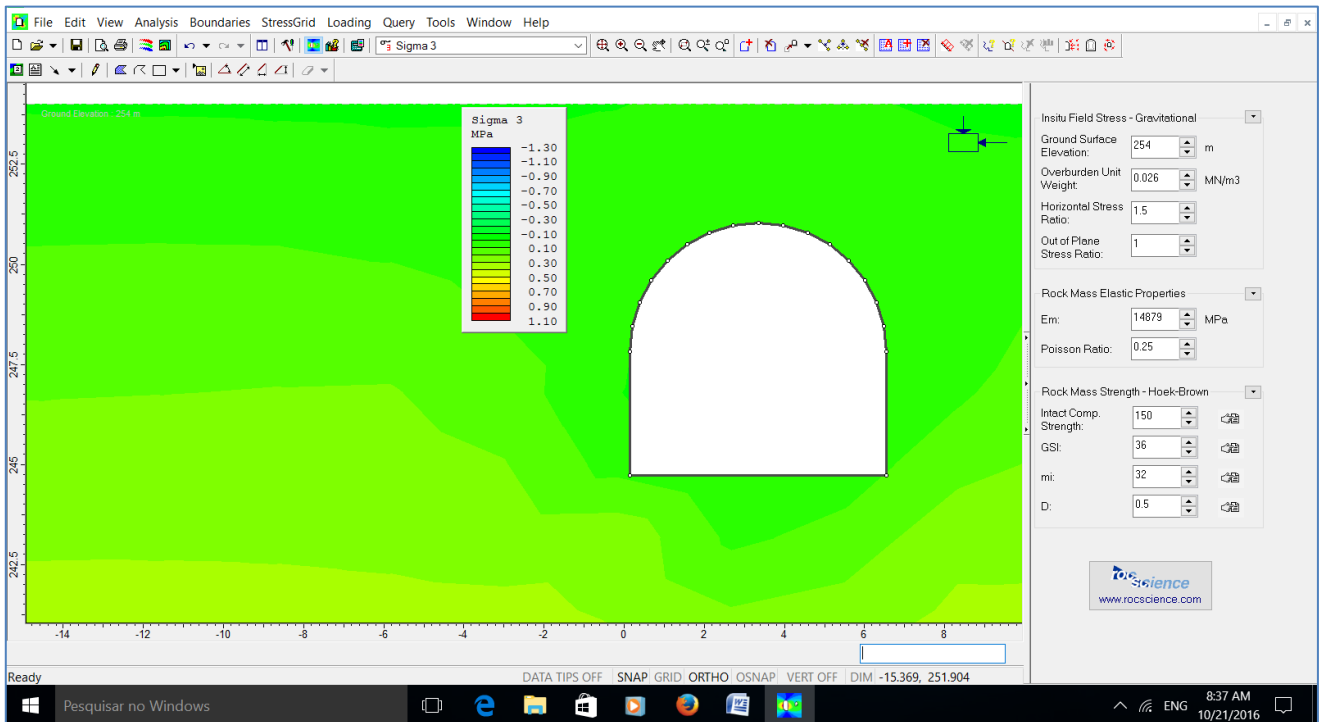
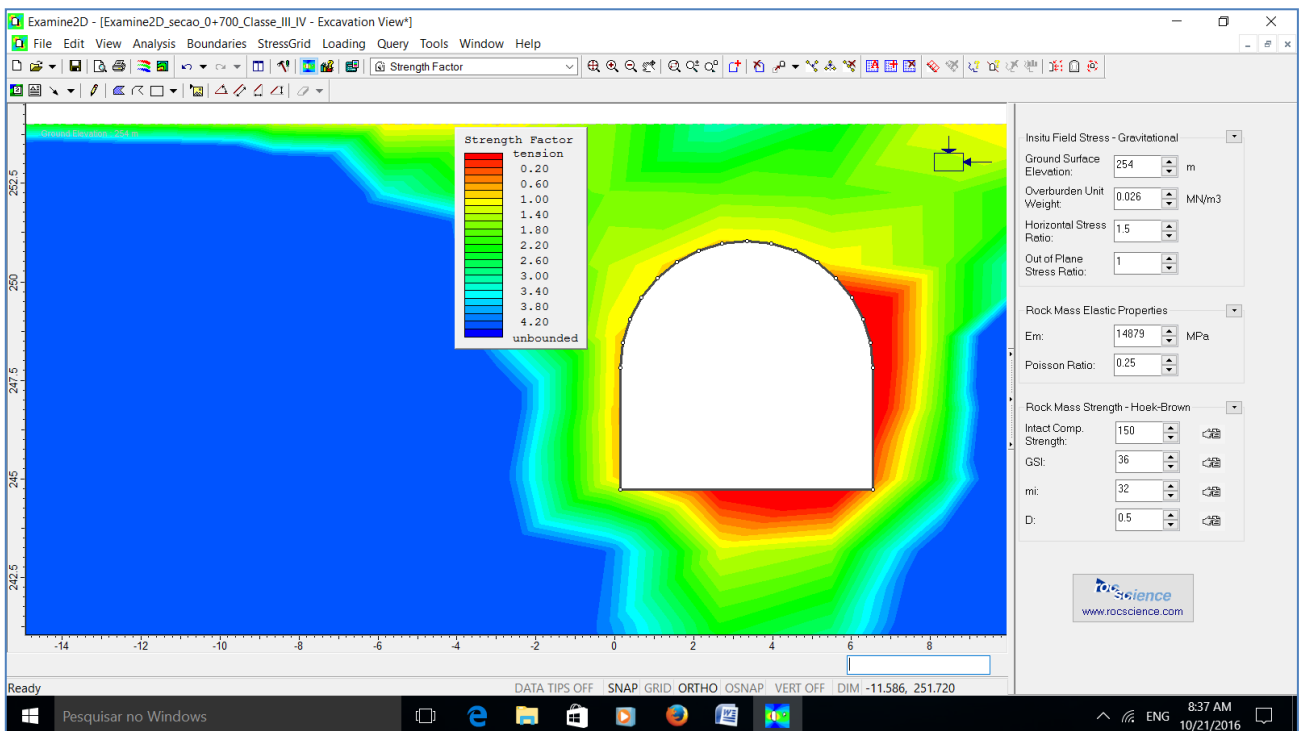


Figura 4.21: Strength Factor – Estaca 1+249,90 a 1+399,80 m.



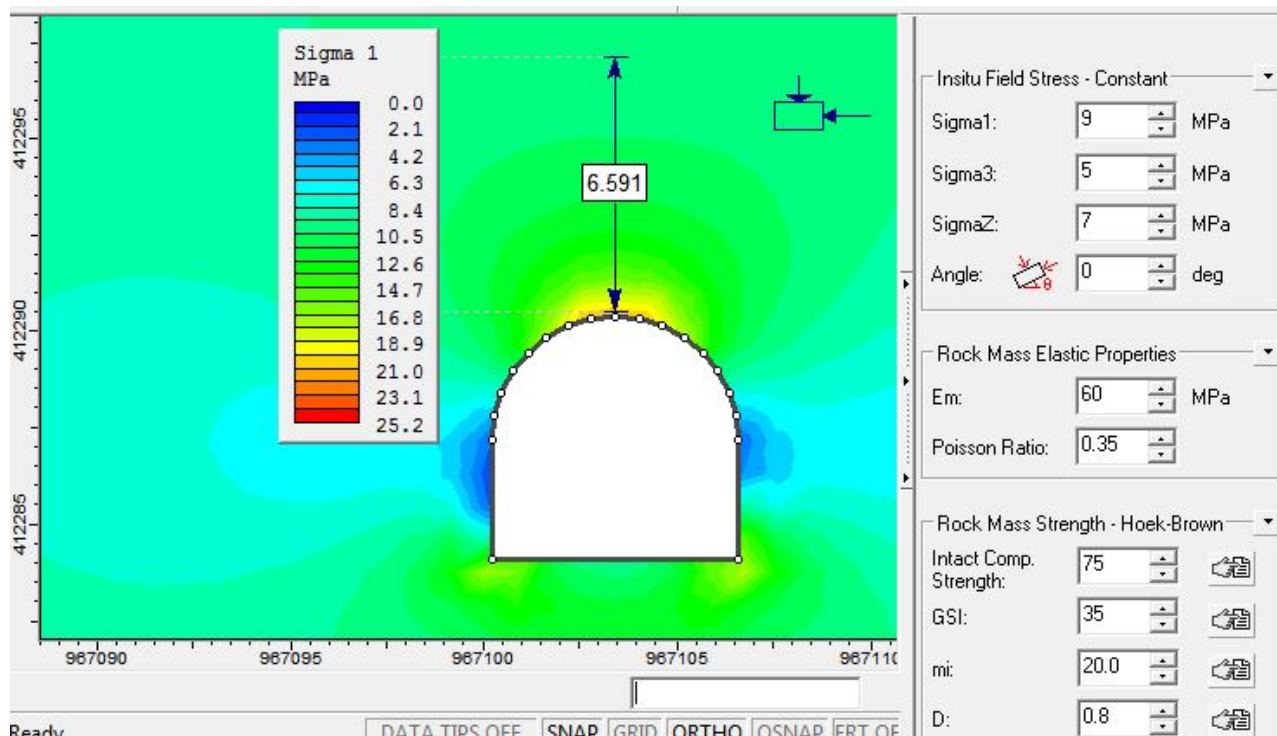
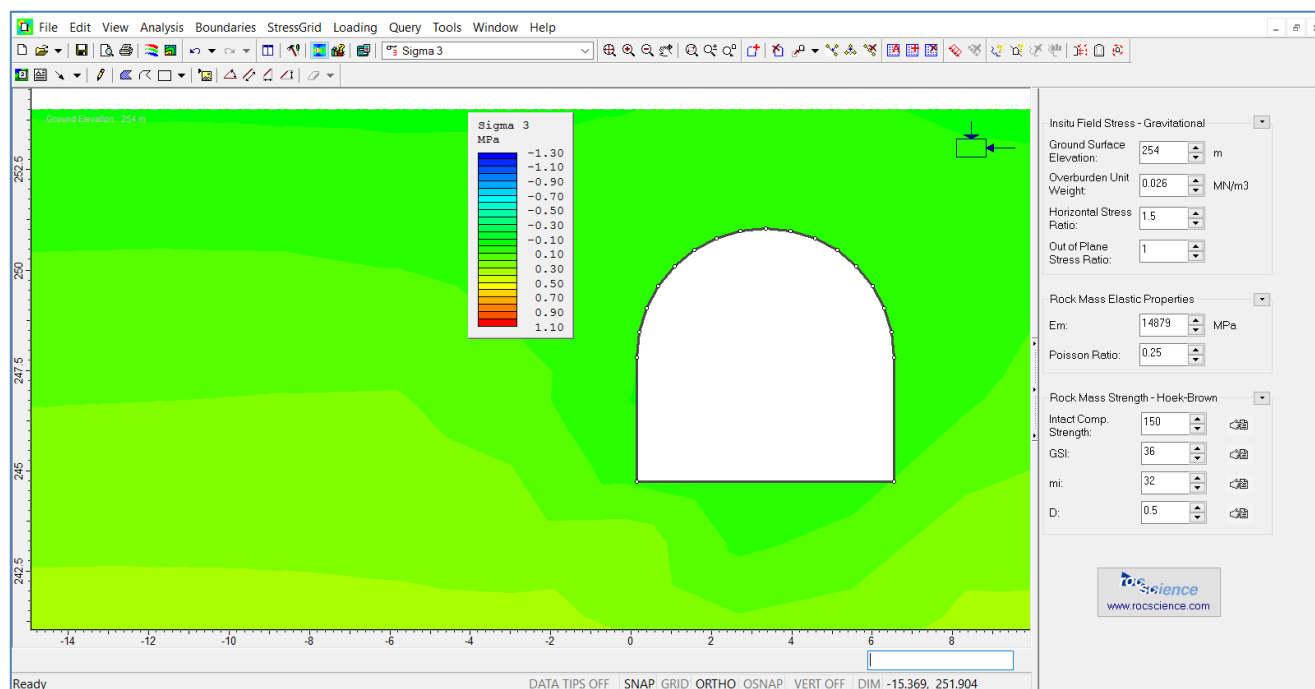
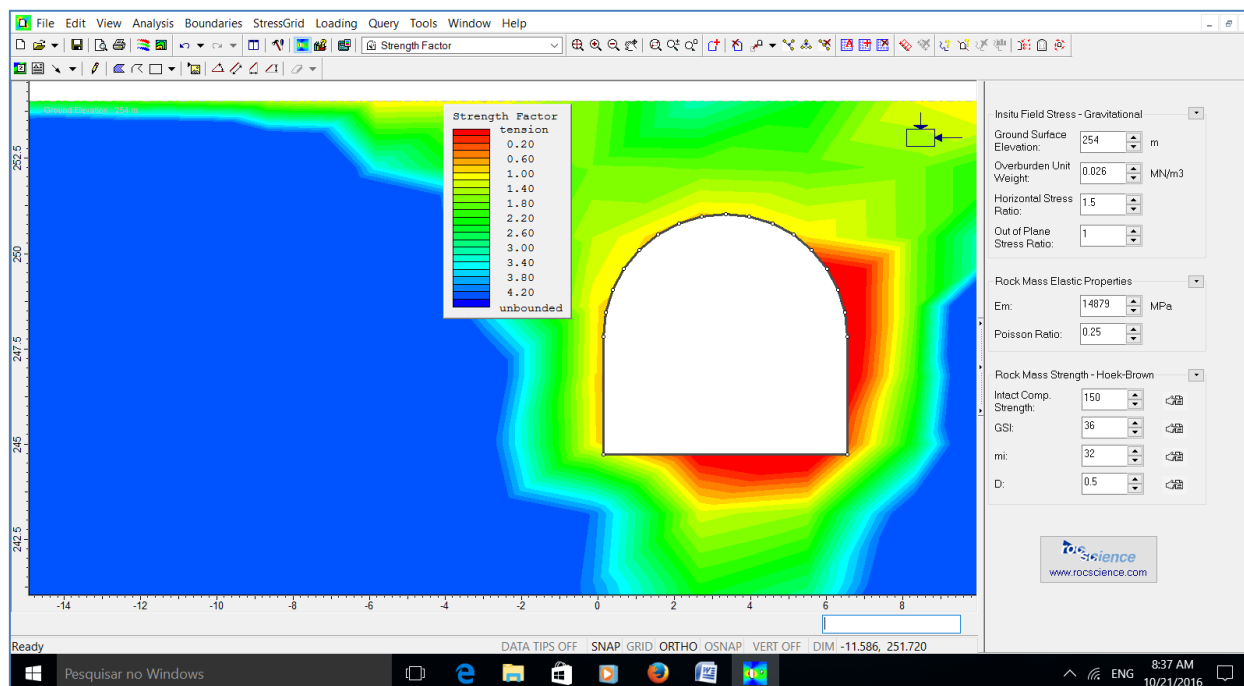
**4.1.8 ESTACA 1+399,80 A 1+473,80 M - MACIÇO CLASSE III****Figura 4.22: Sigma 1 – Estaca 1+399,80 a 1+473,80 m.****Figura 4.23: Sigma 3 – Estaca 1+399,80 a 1+473,80 m.**



Figura 4.24: Strength Factor – Estaca 1+399,80 a 1+473,80 m.



#### 4.1.9 ESTACA 1+473,80 A 2+050,00 M - MACIÇO CLASSE II

Figura 14 Sigma 1 – Estaca 1+473,80 a 2+050,00 m.

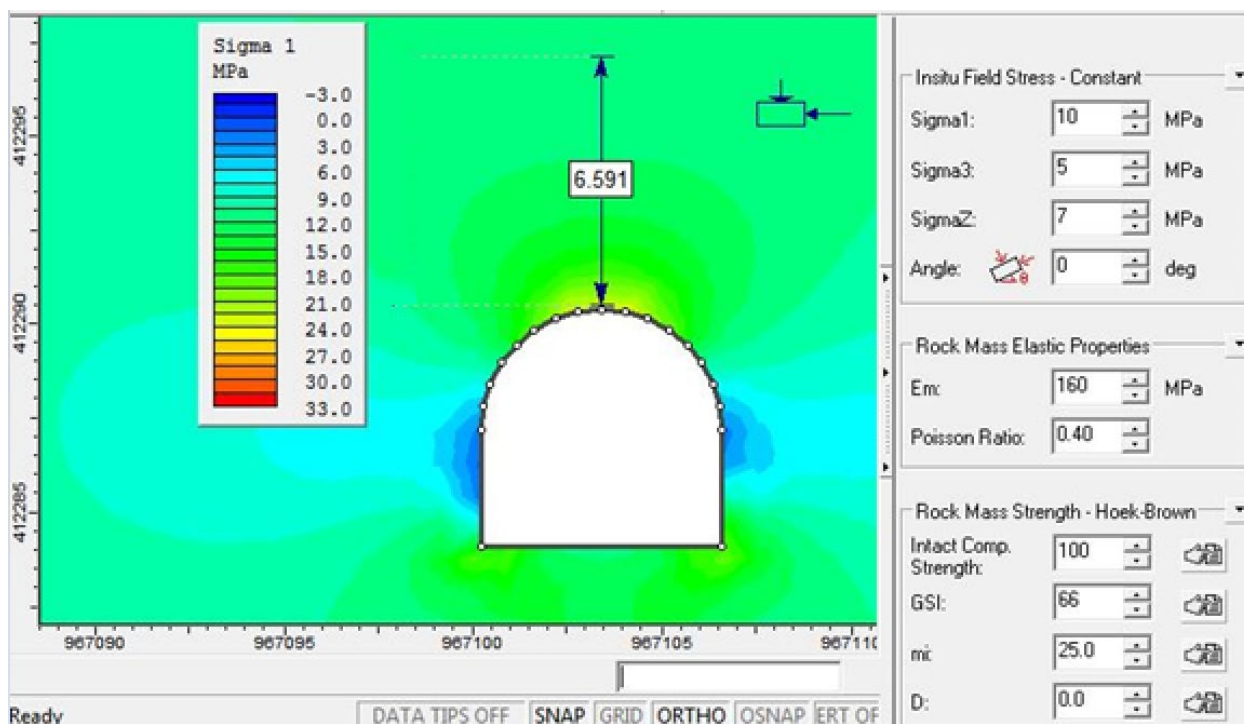




Figura 4.26: Sigma 3 – Estaca 1+473,80 a 2+050,00 m.

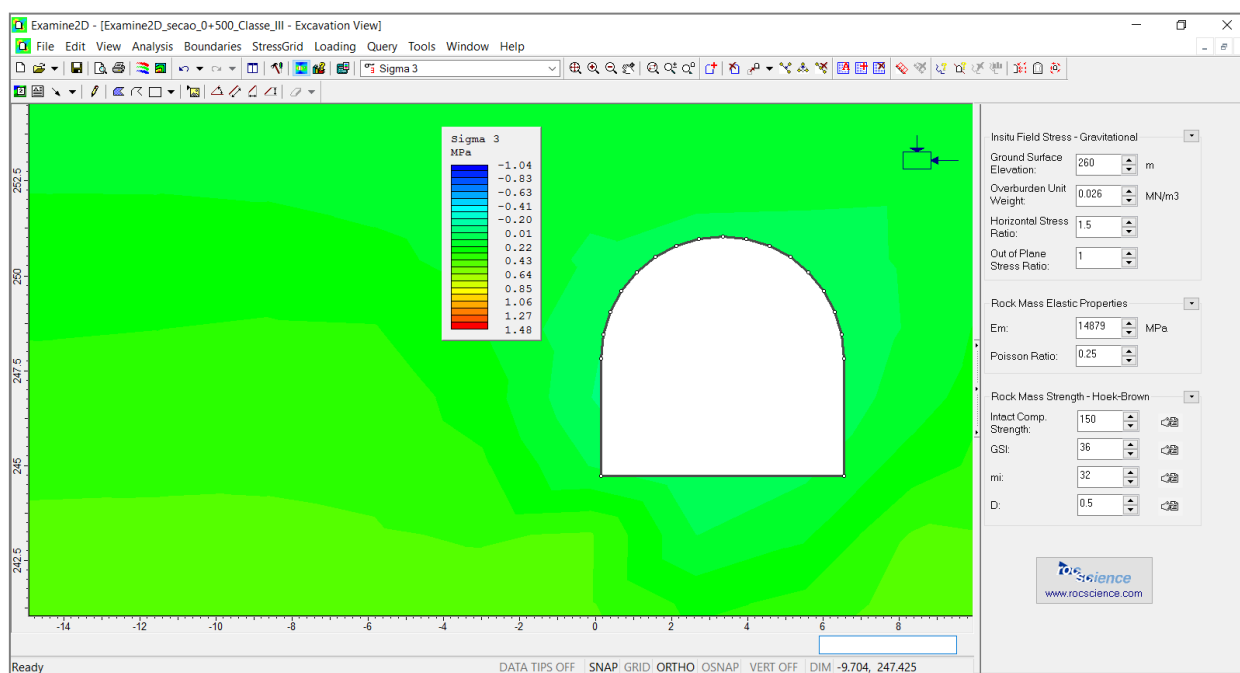
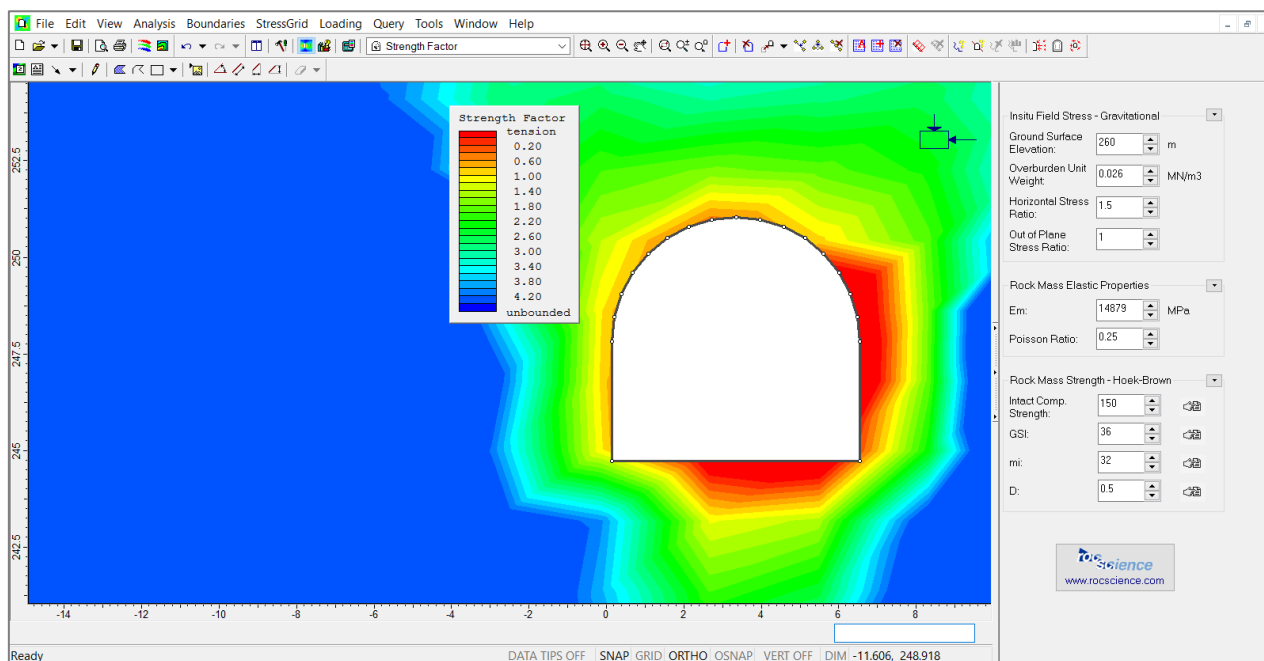


Figura 4.27: Strength Factor – Estaca 1+473,80 a 2+050,00 m.



## 4.1.10 ESTACA 2+050,00 A 2+150,00 M - MACIÇO CLASSE IV

Figura 4.28: Sigma 1 – Estaca 2+050,00 a 2+150,00 m.

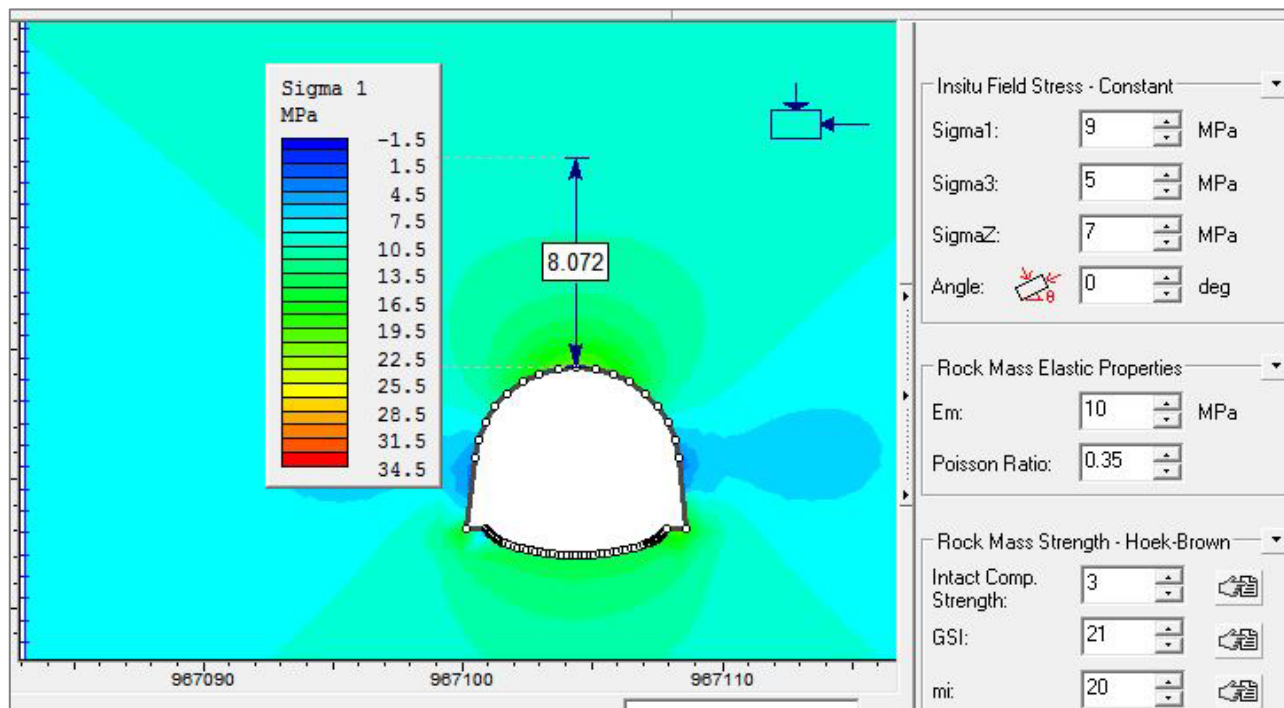


Figura 4.29: Horizontal Displacement – Estaca 2+050,00 a 2+150,00 m.

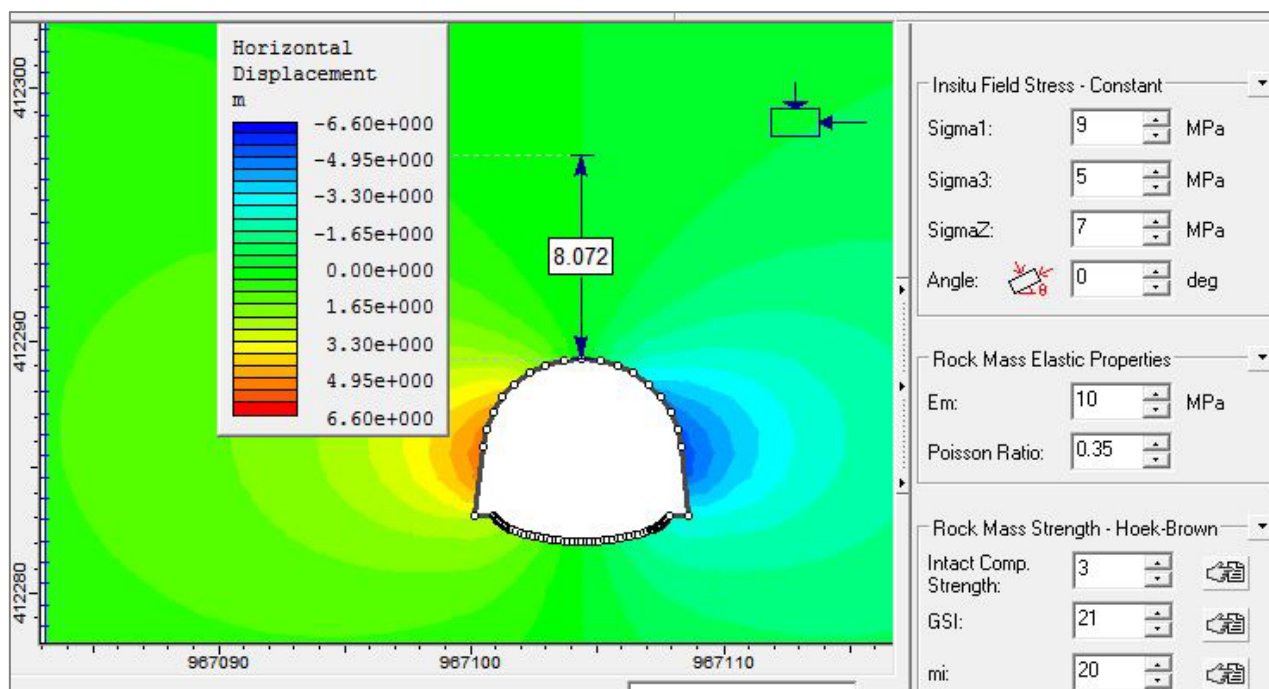


Figura 4.30: Vertical Displacement – Estaca 2+050,00 a 2+150,00 m.

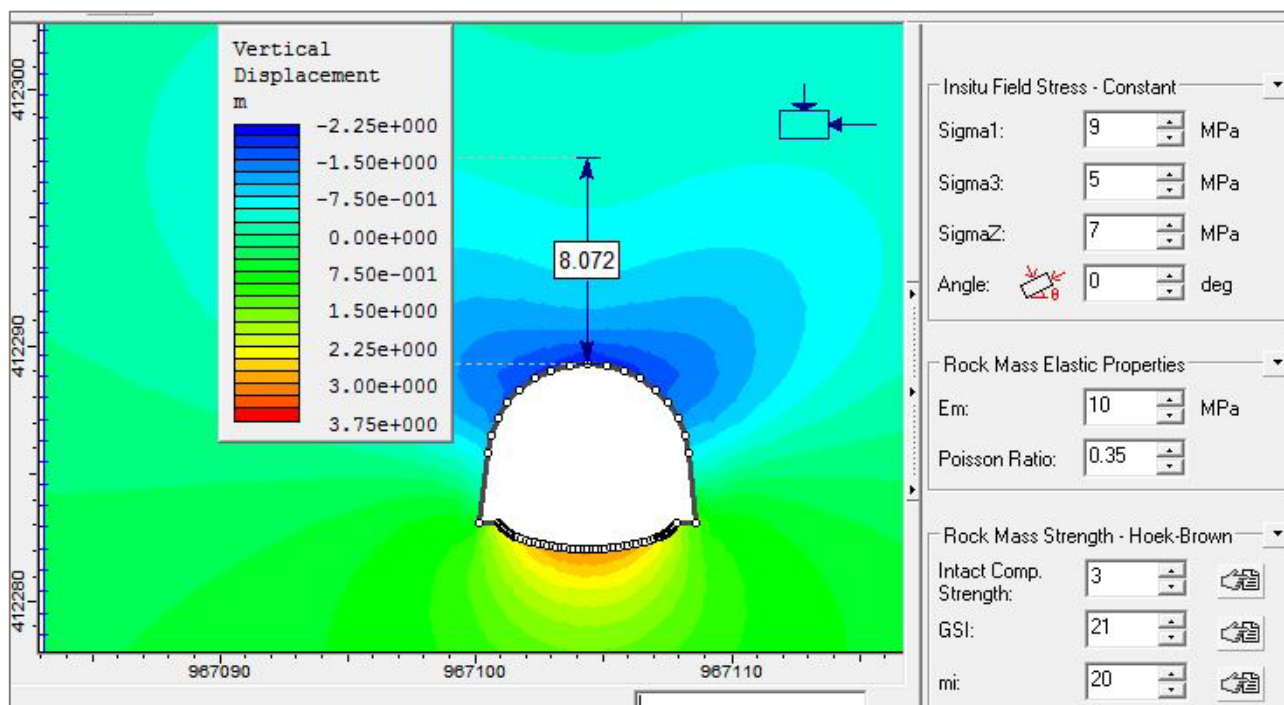
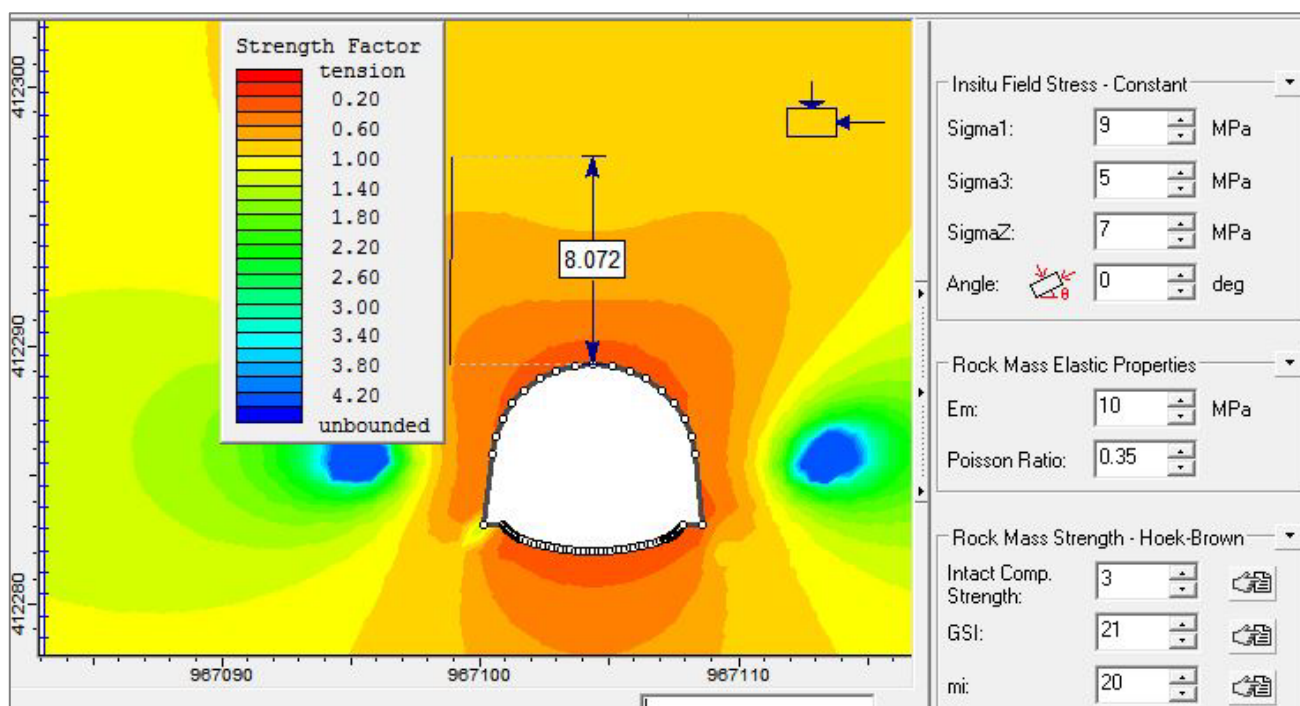


Figura 4.31: Strength Factor – Estaca 2+050,00 a 2+150,00 m.



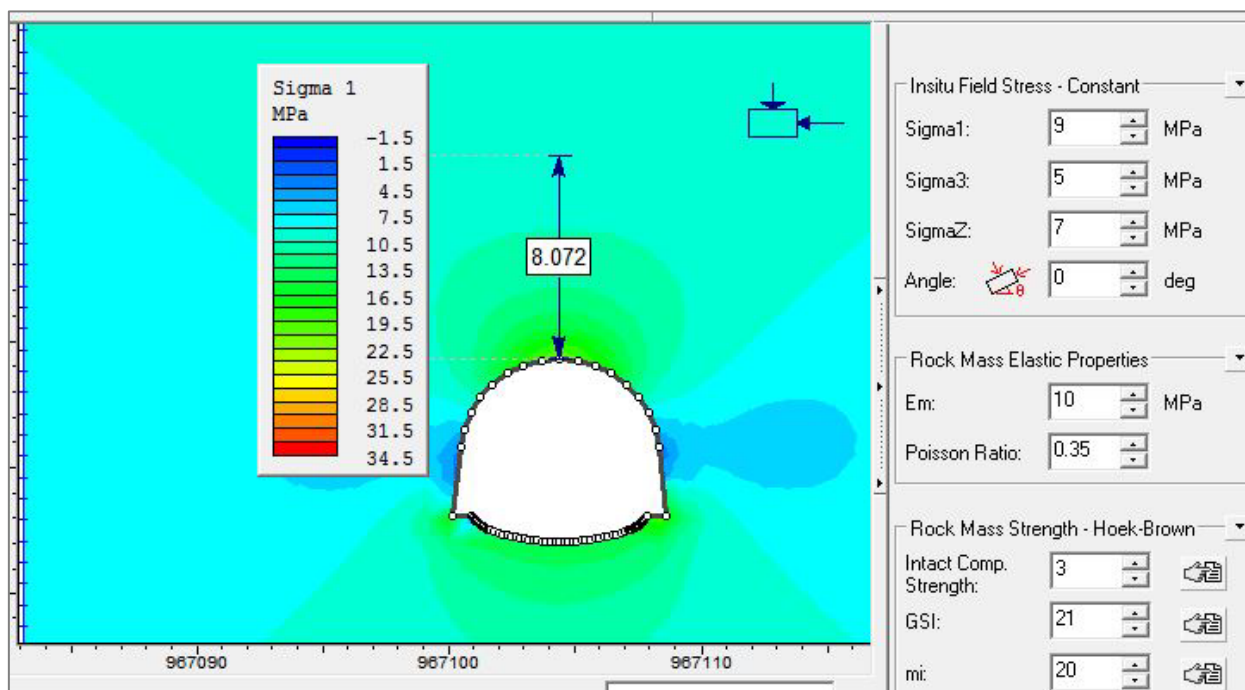
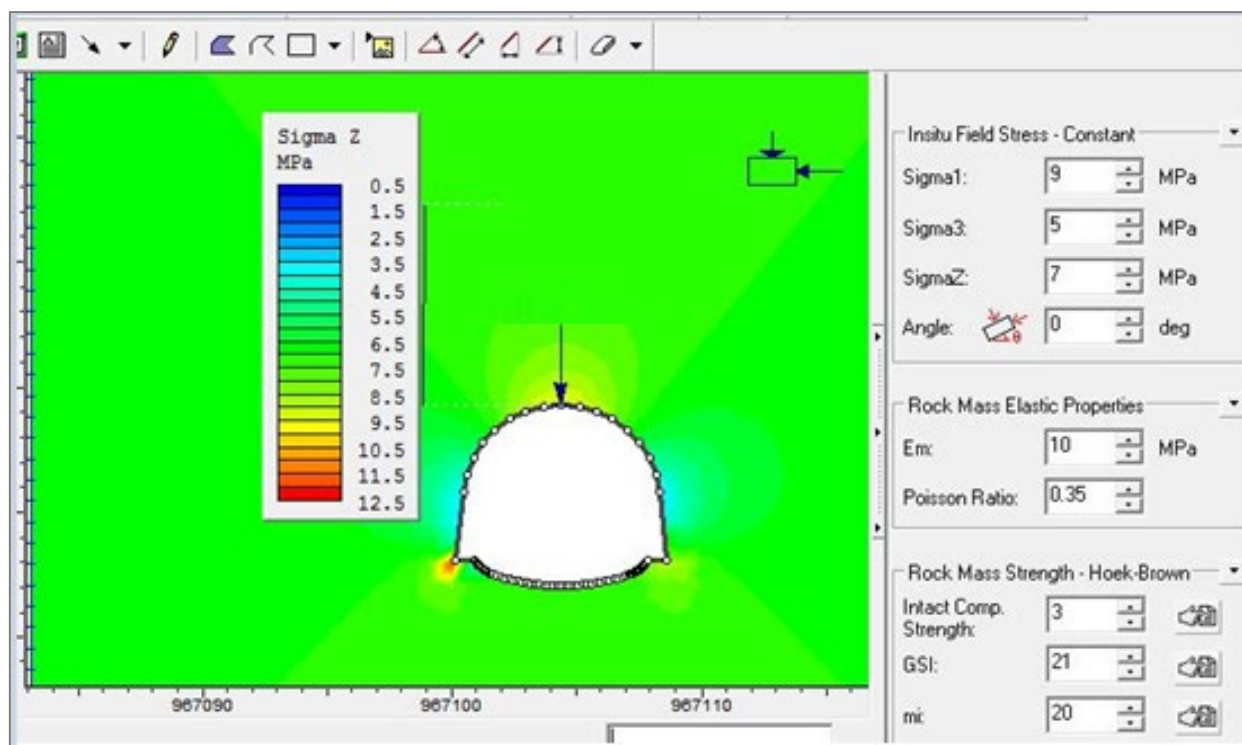
**4.1.11 ESTACAS 0+200,0 ATÉ 0+298,80 M E 2+150,00 A 2+600,00 M - MACIÇO CLASSE V****Figura 4.32: Sigma 1 – Estaca 2+150,00 a 2+600,00 m.****Figura 4.33: Sigma Z – Estaca 2+150,00 a 2+600,00 m.**



Figura 4.34: Horizontal Displacement – Estaca 2+150,00 a 2+600,00 m.

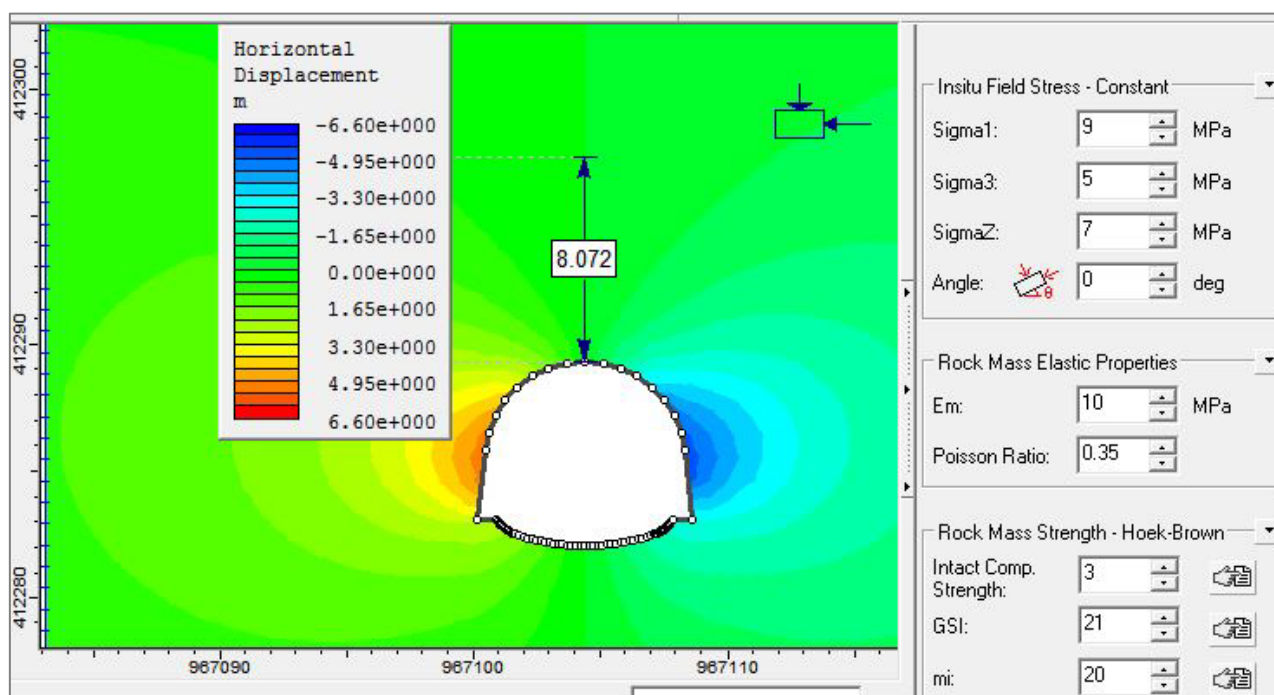


Figura 4.35: Vertical Displacement – Estaca 2+150,00 a 2+600,00 m.

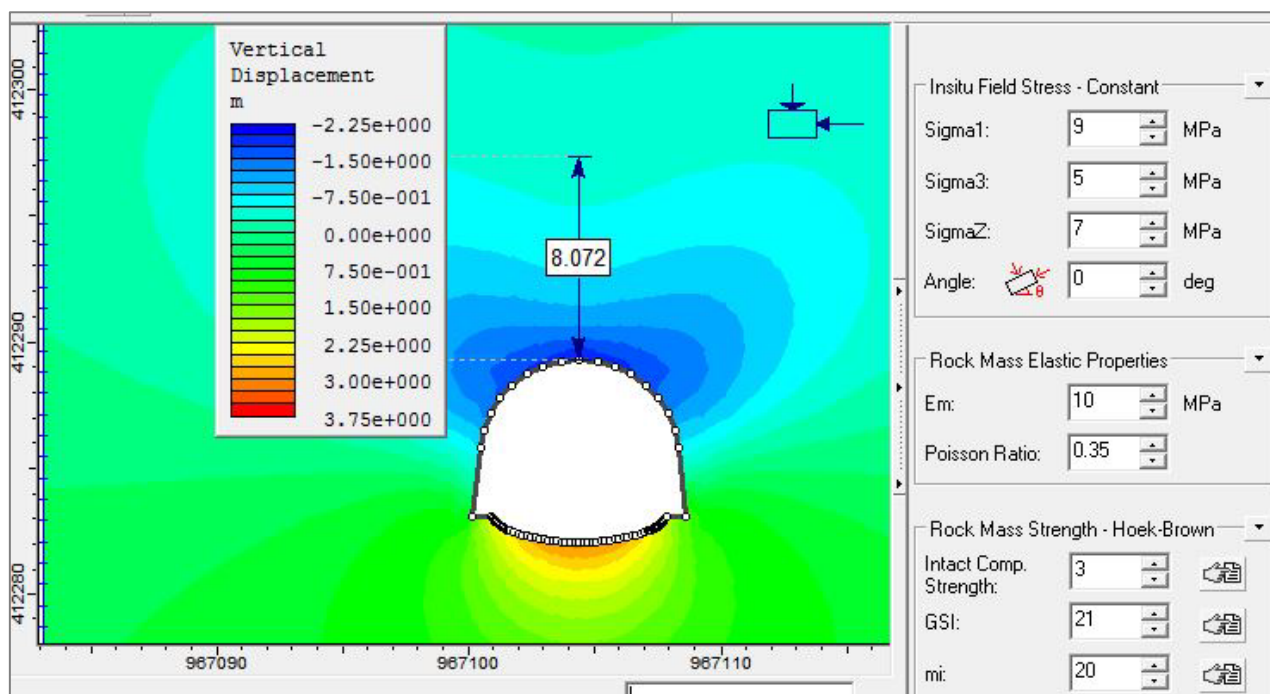
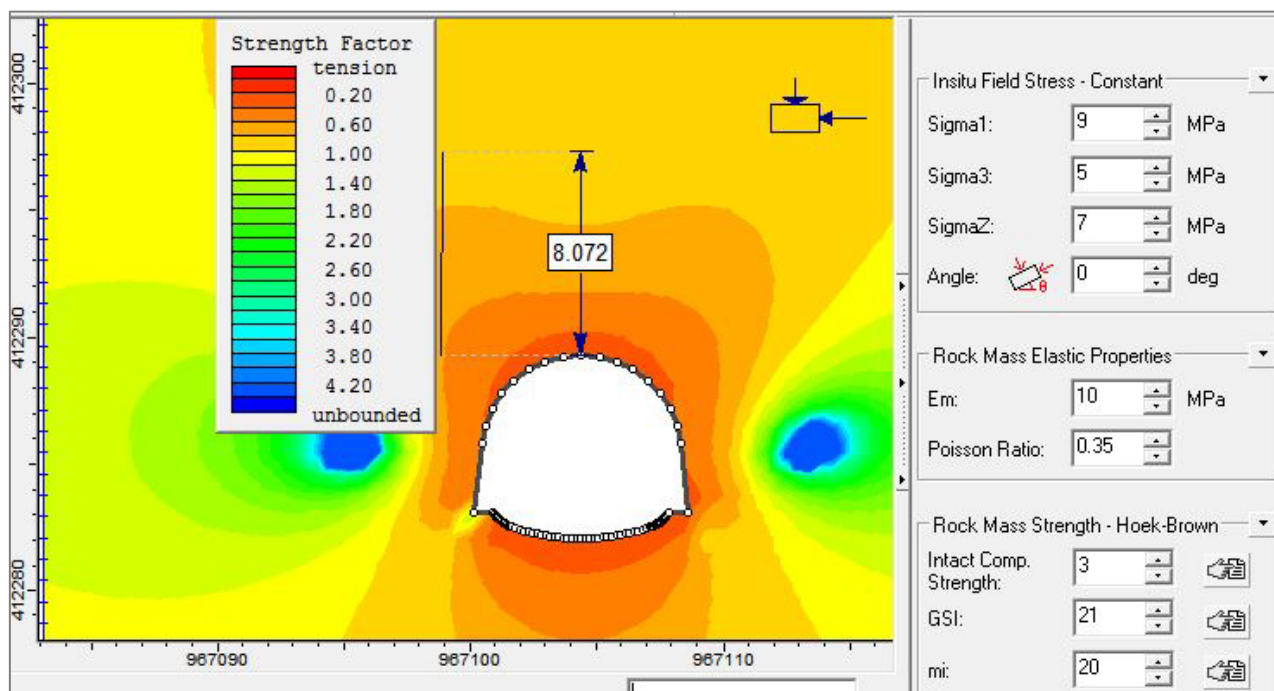


Figura 4.36: Strength Factor – Estaca 2+150,00 a 2+600,00 m.



## 4.2 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Em todas as situações se verifica que o maciço se apresenta coerente com a classificação RMR, ou seja, não existe evidência de zonas ou regiões do túnel que possam ser consideradas como de dificuldade extrema para escavação subterrânea, o que inviabilizaria a aplicação do método NATM.

Os resultados da análise de tensões associadas aos tratamentos definidos indicam que a obra será segura e em condições de trabalho como esperado, desde que os tratamentos recomendados e a forma de escavar (ritmo de avanço, cargas de explosivos e velocidade de instalação de suporte), sejam adequadamente aplicados.

## 4.3 CONCLUSÕES

A conclusão das análises realizadas é que nenhuma das variáveis relativas ao túnel projetado e as condições do meio indicam uma situação crítica que possa resultar em ruptura iminente ou inviabilidade na aplicação do método NATM e os tratamento definidos.