



Dezembro, 2016

PROJETO DE RECUPERAÇÃO DE RIOS PRINCIPAIS

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DAS SEÇÕES DE PROJETOS ESPECIAIS DA ÁREA PRIORITÁRIA 15

Preparado para:

Samarco Mineração S.A.

RELATÓRIO

Número do Relatório: G006900-G-1RT105_R-00/RT-E26-007_159-515-2282_00-B

Distribuição:

01 e-cópia para Samarco Mineração S.A.

01 e-cópia para Golder Associates Brasil

Consultoria e Projetos Ltda





ÍNDICE

1.0	INTRODUÇÃO	3
2.0	OBJETIVOS	3
3.0	CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS	3
3.1	Seção E-A15-03	3
3.2	Seção E-A15-04	5
3.3	Seção E-A15-05	6
3.4	Seção E-A15-06	7
3.5	Seção E-A15-07	8
4.0	ANÁLISES DE ESTABILIDADE	9
4.1	Premissas e Parâmetros Geotécnicos	9
4.2	Resultados das Análises de Estabilidade, Soluções e Recomendações	12
4.2.1	Seção E-A15-03	12
4.2.2	Seção E-A15-04	13
4.2.3	Seção E-A15-05	16
4.2.4	Seção E-A15-06	18
4.2.5	Seção E-A15-07	20
5.0	OBSERVAÇÕES E ORIENTAÇÕES GERAIS	21
6.0	EQUIPE TÉCNICA	21

TABELAS

Tabela 1: Parâmetros típicos adotados nas análises de estabilidade	11
Tabela 2: Equipe Técnica	22

FIGURAS

Figura 1: Localização da seção E-A15-03 em Barra Longa	4
Figura 2: Vista geral da seção E-A15-03	4
Figura 3: Situação da saída das tubulações de água pluvial e esgoto na seção E-A15-03	4
Figura 4: Localização da seção E-A15-04 em Barra Longa	5
Figura 5: Vista geral da seção E-A15-04	5
Figura 6: Localização da seção E-A15-05 em Barra Longa	6
Figura 7: Vista geral da seção E-A15-05	6
Figura 8: Localização da seção E-A15-06 em Barra Longa	7



Figura 9: Vista geral da seção E-A15-06.....	7
Figura 10: Localização da seção E-A15-07 em Barra Longa.....	8
Figura 11: Vista geral da seção E-A15-07.....	8
Figura 12: Tabela de parâmetros médios de solos (Joppert, 2007).....	10
Figura 13: Parâmetros geotécnicos de solos residuais de arenitos e rochas alcalinas e solos coluviais (Cruz, 1969).....	11
Figura 14: Avaliação geral dos parâmetros das jazidas (Ribeiro, 2015).	11
Figura 15: Seções analisadas em E-A15-03.....	12
Figura 16: Análise de estabilidade de talude: Seção A, FS=2,507.	13
Figura 17: Análise de estabilidade de talude: Seção B, FS=2,738.	13
Figura 18: Seções analisadas em E-A15-04.....	14
Figura 19: Análise de estabilidade de talude: Seção A, FS=1,986.	14
Figura 20: Análise de estabilidade de talude: Seção B, FS=1,689.	15
Figura 21: Análise de estabilidade de talude: Seção C, FS=1,258.	15
Figura 22 Seção C: talude negativo e com a face em processo contínuo de erosão devido a intempéries. Verifica-se no corte a divisão dos materiais em processo erosivo devido a intempéries.	16
Figura 23: Análise de estabilidade de talude: Seção C, NA elev. Q10, FS=1,915. Retaludamento 1H:1V na parte superior e berma de equilíbrio mais proteção de face (seção tipo "E").	16
Figura 24: Seções analisadas em E-A15-05.....	17
Figura 25: Análise de estabilidade de talude: Seção A, FS=1,863.	17
Figura 26: Análise de estabilidade de talude: Seção B, FS=3,921.	18
Figura 27: Seções analisadas em E-A15-06.....	18
Figura 28: Análise de estabilidade de talude: Seção A, FS=2,228.	19
Figura 29: Análise de estabilidade de talude: Seção B, FS=2,4.	19
Figura 30: Análise de estabilidade de talude: Seção C, FS=1,804.	19
Figura 31: Seções analisadas em E-A15-07.....	20
Figura 32: Análise de estabilidade de talude: Seção A, FS=2,884.	20
Figura 33: Análise de estabilidade de talude: Seção B, FS=3,736.	21



1.0 INTRODUÇÃO

A Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda. (Golder) foi contratada pela Samarco Mineração S.A. (Samarco) para prestar serviços de recuperação ambiental relacionados à ruptura da Barragem de rejeitos de Fundão, localizada no Complexo Industrial de Germano, no município de Mariana - MG.

Dentre os serviços em desenvolvimento está o projeto de recuperação de rios principais, abrangendo inicialmente 12 áreas definidas como prioritárias entre a barragem de Santarém e a Usina Hidroelétrica (UHE) Risoleta Neves. Essa atividade compreende o projeto e o fornecimento de serviços de campo visando à regularização de calhas e controle de drenagem, sedimentos e processos erosivos nas planícies de inundação de trechos dos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce, no trecho a montante da UHE Risoleta Neves.

Para as calhas dos rios, o projeto apresenta soluções típicas, definidas como seções tipo "A", "B", "C", "D" e "E", a serem aplicadas conforme diferentes características dos taludes e do escoamento, tais como: altura do talude, evidência de processos erosivos, presença de vegetação, velocidade do escoamento e elevação do nível d'água.

Observou-se, particularmente e inicialmente na região de Barra Longa, inserida na área prioritária 15, 7 (sete) trechos identificados pela Samarco e Golder em que as seções tipo acima citadas, não se aplicavam em função de intervenções realizadas durante as ações emergenciais, processos erosivos graves e/ou instabilidade de taludes. Esses trechos foram denominados de seções especiais E-A15-01 a E-A15-07.

O presente relatório apresentará os estudos geotécnicos realizados para as seções E-A15-03 a E-A15-07, que subsidiaram o desenvolvimento dos projetos detalhados para cada uma destas áreas. As seções E-A15-01 e E-A15-02 serão tratadas em documento específico devido as suas particularidades.

2.0 OBJETIVOS

Avaliar geotecnicamente a estabilidade das 5 seções levantadas e definir a necessidade ou não de projetos especiais de contenção e/ou proteção dos taludes baseados em visitas de campo, análises de estabilidade dos taludes e velocidade do fluxo do rio em cada região dentre outros aspectos técnicos.

3.0 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS

Foram realizadas visitas de campo com o objetivo de caracterizar as áreas a serem estudadas verificando as condições das estruturas implantadas tais como corta rios, enrocamento de face, preenchimento de erosões com matacos, geologia local, regime de fluxo do rio, proximidade de acessos ou residências. Todas as coordenadas estão em SIRGAS 2000. A seguir será descrito a caracterização de cada área do estudo.

3.1 Seção E-A15-03

A seção E-A15-03 possui coordenadas UTM N – 7756165,65; E – 704512,80 (início do trecho) e N – 7756208,33; E – 704591,76 (fim do trecho).

Trecho de aproximadamente 75m de extensão localizado na praça Manoel Lino Elói, abaixo do deck em formato de peixe. Nesta região, como medida emergencial, foi implantado um enrocamento de face para proteção contra erosão devido ao fluxo do rio.

Observou-se também a existência de tubulações nesse trecho, que seriam dispositivos de água pluvial e esgoto conforme informação da Samarco. O sistema visível constitui em 3 tubos ARMCO com $\varnothing 1,00\text{m}$, sem ala de saída ou dissipador de energia, conforme ilustra a **Figura 3**.



Figura 1: Localização da seção E-A15-03 em Barra Longa



Figura 2: Vista geral da seção E-A15-03



Figura 3: Situação da saída das tubulações de água pluvial e esgoto na seção E-A15-03



3.2 Seção E-A15-04

A seção E-A15-04 possui coordenadas UTM N – 7757176,61; E – 708962,85 (início do trecho) e N – 7757160,92; E – 709139,47 (fim do trecho).

Trecho de aproximadamente 195m de extensão localizado no terreno do Sr. Hamilton na zona rural de Barra Longa. Trata-se de uma erosão de grande magnitude ocorrida devido à alta velocidade do fluxo do rio nesta região e a tipologia do material que constitui o talude, areia siltosa, facilmente suscetível a processos erosivos. Dentre as obras emergenciais foi construída uma barreira com rochas a fim de impedir o contato do fluxo d'água com a face do talude, reduzindo o processo erosivo. O material escavado para execução da faixa em enrocamento foi colocado entre o pé do talude e o enrocamento, trata-se de rejeito arenoso e cascalho de rio. Logo acima deste ponto existe um acesso a área rural e parte da plantação do proprietário, conforme ilustram as Figuras 4 e 5.



Figura 4: Localização da seção E-A15-04 em Barra Longa



Figura 5: Vista geral da seção E-A15-04



3.3 Seção E-A15-05

A seção E-A15-05 possui coordenadas UTM N – 7757955,10; E – 709239,32 (início do trecho) e N – 7758081,77; E – 709265,54 (fim do trecho).

Trecho de aproximadamente 145 m de extensão localizado também no terreno do Sr. Hamilton na zona rural de Barra Longa. Trata-se de uma erosão de grande magnitude ocorrida devido à alta velocidade do fluxo do rio nesta região e a tipologia do material que constitui o talude, silte areno argiloso, facilmente suscetível a processos erosivos. Dentre as obras emergenciais foi construída uma barreira com rochas a fim de impedir o contato do fluxo d'água com a face do talude, reduzindo o processo erosivo. O material escavado para execução da faixa em enrocamento foi colocado entre o pé do talude e o enrocamento, trata-se de rejeito arenoso e cascalho de rio. Logo acima deste ponto existe um curral conforme ilustram as **Figuras 6 e 7**.



Figura 6: Localização da seção E-A15-05 em Barra Longa.



Figura 7: Vista geral da seção E-A15-05.



3.4 Seção E-A15-06

A seção E-A15-06 possui coordenadas UTM N – 7756290,79; E – 705291,64 (início do trecho) e N – 7756206,55; E – 705337,64 (fim do trecho).

Trecho de aproximadamente 145m de extensão localizado na margem esquerda do rio do Carmo em Barra Longa. Devido a onda gerada pelo rompimento da barragem de Fundão, esta região, em curva acentuada, sofreu processos erosivos. Obras emergenciais foram realizadas com intuito de parar o corte do talude pelo fluxo de água, assim uma proteção de face em enrocamento foi construída. Logo acima desta região existe um acesso rural, conforme ilustram as **Figuras 8 e 9**.

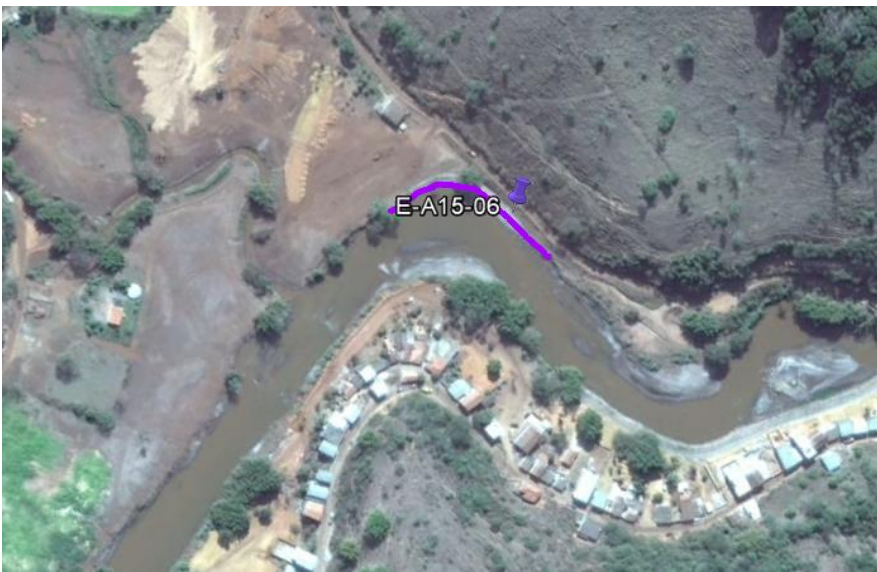


Figura 8: Localização da seção E-A15-06 em Barra Longa.



Figura 9: Vista geral da seção E-A15-06.



3.5 Seção E-A15-07

A seção E-A15-07 possui coordenadas UTM N – 7756348,94; E – 706997,84 (início do trecho) e N – 7756381,37; E – 707047,01 (fim do trecho).

Trecho de aproximadamente 135m de extensão localizado na zona rural de Barra Longa. Devido a onda gerada pelo rompimento da barragem de Fundão, esta região em curva acentuada sofreu processos erosivos. Obras emergenciais foram realizadas com intuito de parar o corte do talude pelo fluxo de água, assim uma proteção de face em enrocamento foi construída.

Logo acima desta região existe um acesso rural, conforme ilustram as **Figuras 10 e 11**.



Figura 10: Localização da seção E-A15-07 em Barra Longa.



Figura 11: Vista geral da seção E-A15-07.



4.0 ANÁLISES DE ESTABILIDADE

4.1 Premissas e Parâmetros Geotécnicos

Para realização das análises de estabilidade dos taludes foram utilizadas as seguintes premissas e parâmetros:

- Utilização do programa Slope/W do Pacote GeoStudio 2007;
- Análise utilizando o método de Morgenstern Price;
- Modelo Mohr-Coulomb e parâmetros efetivos;
- Ruptura global do talude do tipo circular;
- Fator de Segurança conforme NBR 11682 (2009) – Estabilidade de Encostas;
- Carga de veículo adotada conforme NBR 7188 - Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre (5kN/m²);
- Enrocamentos de pé e face de acordo com informações da Samarco, medidas feitas em campo e topografia fornecida pela Samarco;
- Nível d'água do rio e seções conforme topografia fornecida pela Samarco;
- Levantamento planialtimétrico de tributários realizado pela Arya Inventário Territorial/ Fiducial Engenharia e Aerolevantamentos – CN_SIRGAS_UTM_O_SAMARCO.dwg;
- Levantamento planialtimétrico cadastral enrocamento Sítio do Hamilton realizado pela ERG Engenharia – G000000-K-100618.dwg;
- Levantamento planialtimétrico cadastral na margem direita do Rio do Carmo no acesso para Sítio Facão – Barra Longa-MG realizado pela ERG Engenharia – G000000-K-100445.dwg;
- Levantamento planialtimétrico cadastral enrocamento acesso ao sítio do Hamilton realizado pela ERG Engenharia – G000000-K-100616.dwg;
- Levantamento planialtimétrico cadastral enrocamento Sítio do Hamilton realizado pela ERG Engenharia - G000000-K-100614.dwg;
- Levantamento planialtimétrico para atualização de praça realizado pela ERG Engenharia - G000000-K-100594.dwg.

Para elaboração dos modelos para análise de estabilidade de taludes são necessárias a realização de sondagens bem como ensaios de laboratório como cisalhamento direto e compressão triaxial para definições de parâmetros de resistência (coesão e ângulo de atrito) além do peso específico. Assim é possível obter uma confiabilidade maior em relação aos dados. Porém, para os casos estudados na área 15 não foram realizadas sondagens e/ou ensaios.

Em visita de campo a equipe da Golder pôde realizar uma avaliação tátil visual dos materiais componentes dos taludes assim como suas divisões. Valores típicos de peso específico, coesão e ângulo de atrito para cada material encontrado foram definidos baseado na experiência e na literatura, utilizando as **Figuras 12, 13 e 14** que apresentam parâmetros geotécnicos típicos para solos.

O posicionamento do nível d'água dentro do maciço também foi estimado a partir da lâmina d'água do rio do Carmo, representado na topografia fornecida pela Samarco.



Tipo de solo	Faixa de STP	Módulo de elasticidade (t/m ²)	Peso específico (g)		Ângulo atrito efetivo (f)	Coesão efetiva (tf/m ²)
			Natural (t/m ³)	Saturado (t/m ³)		
Areia pouco siltosa / pouco argilosa	0 - 4	2000 - 5000	1,7	1,8	25°	–
	5 - 8	4000 - 8000	1,8	1,9	30°	–
	9 - 18	5000 - 10000	1,9	2,0	32°	–
	19 - 41	8000 - 15000	2,0	2,1	35°	–
	≥ 41	16000 - 20000	2,0	2,1	38°	–
Areia média e fina muito argilosa	0 - 4	2000	1,7	1,8	25°	0
	5 - 8	4000	1,8	1,9	28°	0,5
	9 - 18	5000	1,9	2,0	30°	0,75
	19 - 41	10000	2,0	2,1	32°	1,0
Argila porosa vermelha e amarela	0 - 2	200 - 500	1,5	1,7	20°	0,75
	3 - 5	500 - 1000	1,6	1,7	23°	1,5
	6 - 10	1000 - 2000	1,7	1,8	25°	3,0
	≥ 10	2000 - 3000	1,8	1,9	25°	3,0 a 7,0
Argila siltosa pouco arenosa (terciário)	0 - 2	100	1,7	1,8	20°	0,75
	3 - 5	100 - 250	1,8	1,9	23°	1,5
	6 - 10	250 - 500	1,9	1,9	24°	2,0
	11 - 19	500 - 1000	1,9	1,9	24°	3,0
	20 - 30	3000 - 10000	2,0	2,0	25°	4,0
	≥ 30	10000 - 15000	2,0	2,0	25°	5,0
Argila arenosa pouco siltosa	0 - 2	500	1,5	1,7	15°	1,0
	3 - 5	500 - 1500	1,7	1,8	15°	2,0
	6 - 10	1500 - 2000	1,8	1,9	18°	3,5
	11 - 19	2000 - 3500	1,9	1,9	20°	5,0
	≥ 20	3500 - 5000	2,0	2,0	25°	6,5
Turfa / argila orgânica (quaternário)	0 - 1	40 - 100	1,1	1,1	15°	0,5
	2 - 5	100 - 150	1,2	1,2	15°	1,0
Silte arenoso pouco argiloso (residual)	5 - 8	8000	1,8	1,9	25°	1,5
	9 - 18	1000	1,9	2,0	26°	2,0
	19 - 41	15000	2,0	2,0	27°	3,0
	≥ 41	20000	2,1	2,1	28°	5,0

Figura 12: Tabela de parâmetros médios de solos (Joppert, 2007)

A **Figura 13** reúne dados de ensaios especiais realizados por Cruz (1967-1969) e fornecem dados de coesão e ângulo de atrito de um grande número de solos lateríticos compactados.



ANÁLISE DE ESTABILIDADE SEÇÕES ESPECIAS - ÁREA 15

Amostra / Procedência	Rocha de origem	Classificação	Parâmetros de resistência ao cisalhamento. Pressões efetivas			Resistência ao cisalhamento		Parâmetros B'méd = u/σ, (%)			Curva tipo de B'	Pr. axial p/ 5% deformação
			c (kg/cm ²)	c/γgp	φ (°)	s _{máx} (kg/cm ²)	s _{at} (kg/cm ²)	p/h _{at} -	p/h _{at}	p/h _{at} +		
Promissão S-6 (SP)	Arenito	areia argilosa	0,08	0,118	34,0	9,70	6,60	2	6	10	I	17
Prom. Macuco C (SP)	"	areia argilosa	0,10	0,143	35,0	8,90	7,00	5	10	40	I	16
Promissão P. Queixada (SP)	"	areia siltosa	0,08	0,121	33,5	6,90	6,10	4	5	25	I	15
3 Irmãos F.G. (SP)	"	areia argilosa	0,10	0,148	34,0	7,40	6,20	4	8	35	IA	14
Promissão Macuco A (SP)	"	areia argilosa	0,05	0,07	35,0	8,45	7,40	5	5	20	I	17
Xavantes C (SP)	"	areia argilosa	0,00	0,00	33,0	6,40	6,40	2	3	10	I	16
Jupia (SP - MT)	"	areia argilosa	0,05	0,08	33,0	5,45	5,10	5	8	20	I	12
Taquarucu (SP - PR)	"	areia argilosa	0,05	0,08	33,0	7,40	4,00	4	15	30	I	8
Guaira M.D. (SP)	"	areia siltosa	0,05	0,08	31,0	5,95	5,50	3	4	25	I	13
Ibitinga (SP)	"	areia argilosa	0,20	0,32	32,0	5,80	4,20	5	18	25	I	11
Ilha Solteira I (SP)	"	areia argilosa	0,05	0,08	33,5	6,80	3,80	5	14	45	I	18
Xavantes C' (SP)	"	areia argilosa	0,15	0,25	33,0	7,00	4,60	7	17	45	I	15
Anhembí (SP)	"	areia argilosa	0,07	0,104	34,0	5,70	4,30	6	10	15	I	13
Xavantes H ₁ (SP)	"	areia argilosa	0,10	0,152	33,5	6,90	6,20	3	5	10	I	15
Guaira Eixo 2-5 (SP)	"	argila arenosa	0,00	0,00	28,5	4,30	2,50	7	20	50	IA	8
Promissão S-3 (SP)	"	argila arenosa	0,30	0,650	26,5	4,40	2,50	8	20	40	IA-III	8
Poços D-25 - 1,20m (MG)	Alcalinas	arg. silto arenosa	0,25	0,418	31,0	5,10	4,30	4	6	25	II	10
Poços D-25 2,50m (MG)	"	arg. silto arenosa	0,22	0,382	30,0	5,30	3,60	4	12	40	II	10
Poços C-5 2,50m (MG)	"	argila siltosa	0,50	1,26	21,5	4,50	2,80	5	12	35	II	9
Ilha Solteira II (SP - MT)	Arenito	argila arenosa	0,10	0,15	33,0	7,10	4,00	5	12	35	II	10
Dona Francisca B-6 (RS)	Coluvial	argila arenosa	0,10	0,184	28,5	5,90	3,90	1	20	40	I	9
Dona Francisca B-8 (RS)	"	silte arenoso	0,10	0,169	30,5	6,00	3,60	2	30	50	IA	9
Dona Francisca B-9 (RS)	"	argila arenosa	0,10	0,20	26,5	4,60	3,00	4	20	50	IA	9
Ilha Solteira III (SP - MT)	Arenito	argila arenosa	0,15	0,26	30,0	5,60	3,40	7	20	40	II	

Figura 13: Parâmetros geotécnicos de solos residuais de arenitos e rochas alcalinas e solos coluviais (Cruz, 1969).

N	Laboratório	LL(%)	IP(%)	φ' (°)	c' (kPa)	γ _d (kN/m ³)	γ _{nat} (kN/m ³)	G _s	e	w(%)	S(%)	n	θ(°)
1	Argila Areno Siltosa	67	34	30,3	26	14,89	18,78	2,85	0,914	26,1	81,5	0,48	38,9
2	Silte Areno Argiloso	51	22	32,6	18	14,84	18,24	2,776	0,871	22,9	73,1	0,47	34
3	Silte Areno Argiloso	44	22	31	25	15,24	18,67	2,69	0,765	22,5	79,1	0,43	34,3
4	Argila Areno Siltosa	58	28	34,3	17	14,82	18,95	2,711	0,829	27,9	91,1	0,45	41,3
5	Argila Areno Siltosa	45	17	30,2	24	13,15	16,42	2,672	1,032	24,9	64,4	0,51	32,7
6	Argila Areno Siltosa	42	15	32,1	21	12,95	16,23	2,674	1,065	25,3	63,6	0,52	32,8
7	Argila Silto Arenosa	62	29	34,4	7	14,07	18,06	2,703	0,921	28,4	83,2	0,48	39,9
8	Argila Areno Siltosa	61	25	34,2	11	13,2	17,14	2,813	1,131	29,8	74,2	0,53	39,4

Figura 14: Avaliação geral dos parâmetros das jazidas (Ribeiro, 2015).

Com base nos elementos supracitados foi elaborada uma **Tabela 1** com os parâmetros utilizados nas análises. Para o enrocamento e o rejeito arenoso foram utilizados parâmetros do banco de dados interno da Golder.

Tabela 1: Parâmetros típicos adotados nas análises de estabilidade

Parâmetros geotécnicos				
Material	Cor	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	φ' (°)
Enrocamento		26	0	40
Silte areno argiloso		19	15	28
Areia média pouco siltosa		20	5	30
Rejeito arenoso		19	10*	30

*coesão aparente devido a presença do mineral goethita



4.2 Resultados das Análises de Estabilidade, Soluções e Recomendações

Neste item serão apresentadas as seções estudadas, os resultados obtidos nas análises de estabilidade dos taludes e as soluções e recomendações adotadas.

4.2.1 Seção E-A15-03

O fator de segurança, segundo a norma ABNT NBR 11682:2009 deve ser de 1,5 por se tratar de taludes a jusante da praça e com residências próximas. Observam-se que os valores obtidos nas análises são superiores a 1,5.

De acordo com os resultados obtidos, foi observado que a adoção ou não de cargas referentes a residências (2kN/m^2) ou a variação do nível d'água para 2 e 10 anos de tempo de retorno (Q2 e Q10, respectivamente) pouco influenciam nos resultados. Sendo assim, para esta área recomenda-se que seja mantida a proteção de face conforme seção tipo "E" já indicada nos desenhos G006900-C-100328 e G006900-C-100342, não sendo necessário projetos específicos.

Quanto às tubulações existentes na seção E-A15-03, tratam-se de dispositivos componentes do sistema de drenagem de água pluvial e esgoto do município. Assim, qualquer tipo de verificação hidráulica dessa estrutura não pode ser realizada pontualmente, mas sim no âmbito de uma avaliação do sistema de drenagem urbana de Barra Longa, que não é atividade prevista no trabalho em questão. De toda forma, recomendamos que as tubulações existentes sejam recompostas, tendo em vista o atual estágio de obstrução em que as mesmas se encontram, bem como seja lançado enrocamento (dimensões conforme desenho G006900-C-100351) a jusante da estrutura até o seu encontro com o rio do Carmo.

A seguir, nas **Figuras 15 a 17**, são ilustrados os resultados obtidos nas análises de estabilidade para a seção E-A15-03.

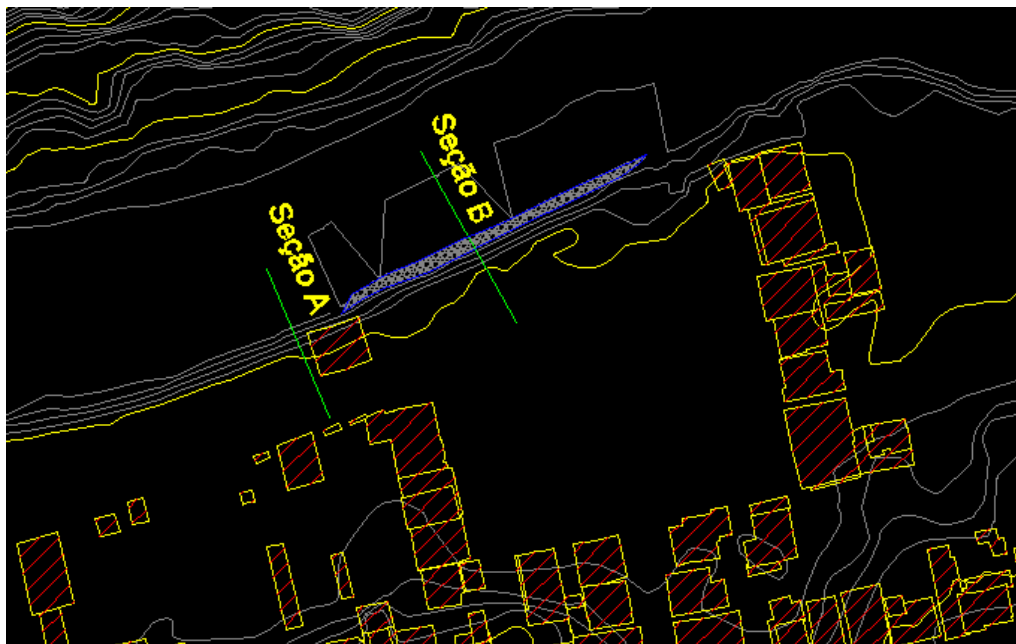


Figura 15: Seções analisadas em E-A15-03.

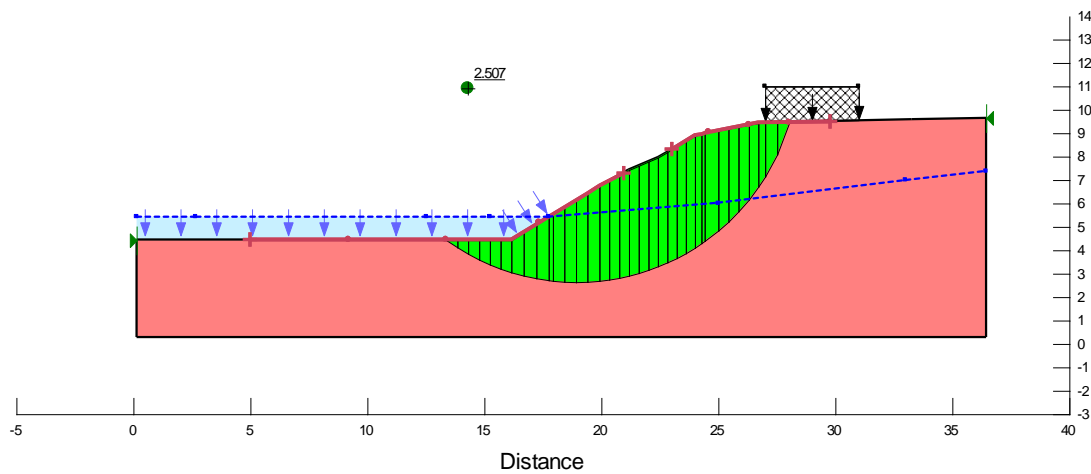


Figura 16: Análise de estabilidade de talude: Seção A, FS=2,507.

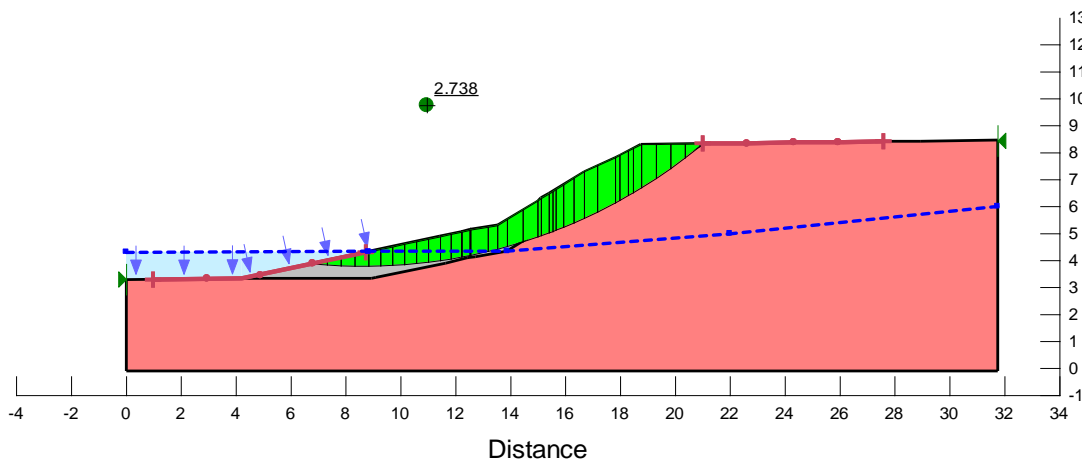


Figura 17: Análise de estabilidade de talude: Seção B, FS=2,738.

4.2.2 Seção E-A15-04

De acordo com os resultados obtidos nas análises, os fatores de segurança apresentaram-se maiores que 1,5 para as seções A e B e menores do que este valor para a seção C (ver Figuras 18 a 21).

Foi observado em campo, conforme Figura 22, que na seção C o talude se encontrava negativo e com a face em processo contínuo de erosão devido a intempéries. A solução proposta para este caso, foi dividir a área em 2 trechos específicos e distintos. O trecho 1 compreendendo da estaca E.C.1408+0 à estaca E.C.1413+0 onde o retaludamento com a geometria 1,5H:1V atende ao requisito de fator de segurança segundo as análises realizadas. Já o segundo trecho, compreende-se da estaca E.C.1413+0 a E.C.1417+0 do qual terá a implantação de uma bermã de equilíbrio e imediatamente acima desta, um retaludamento com geometria 1H:1V. Esta seção foi estudada devido ao pequeno volume de corte que ela gera, visando preservar o acesso existente e não avançar sobre a plantação do proprietário do terreno.

Devido a geologia do material encontrado nesta seção, arenito e silte arenoso, a Golder indicou a proteção da face destes taludes até o nível d'água na vazão do tempo de retorno de 10 anos mais 0,5m (seção tipo



“E” – desenho G006900-C-100342), visando preservar o talude contra a continuidade de processos erosivos, proteger o acesso existente e a plantação. A solução indicada foi analisada em termos de estabilidade e segue representada na **Figura 23**.

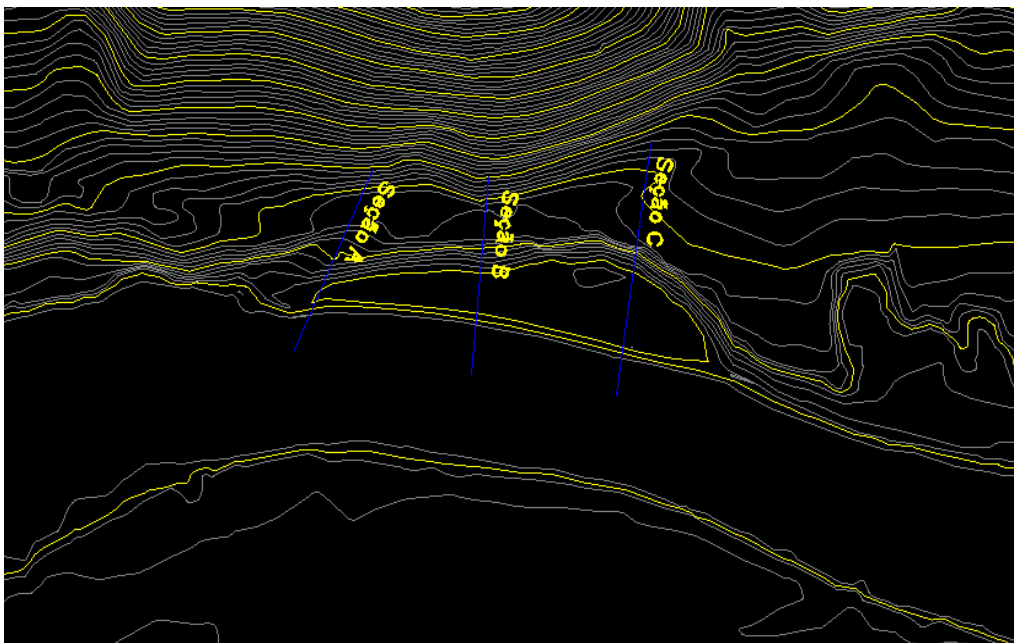


Figura 18: Seções analisadas em E-A15-04.

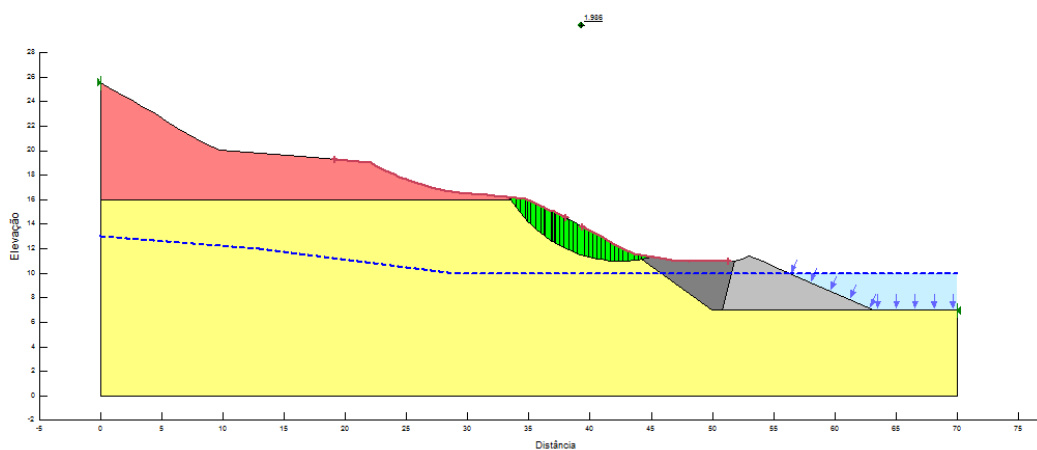


Figura 19: Análise de estabilidade de talude: Seção A, FS=1,986.

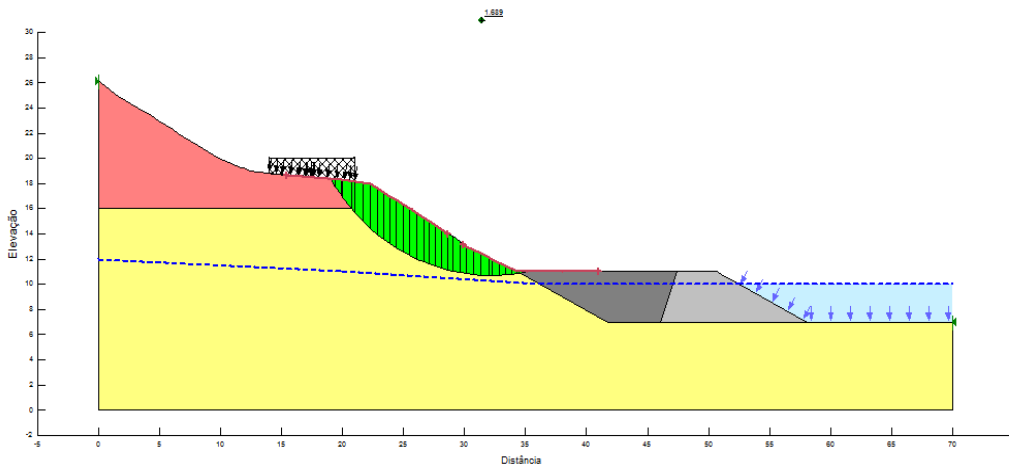


Figura 20: Análise de estabilidade de talude: Seção B, FS=1,689.

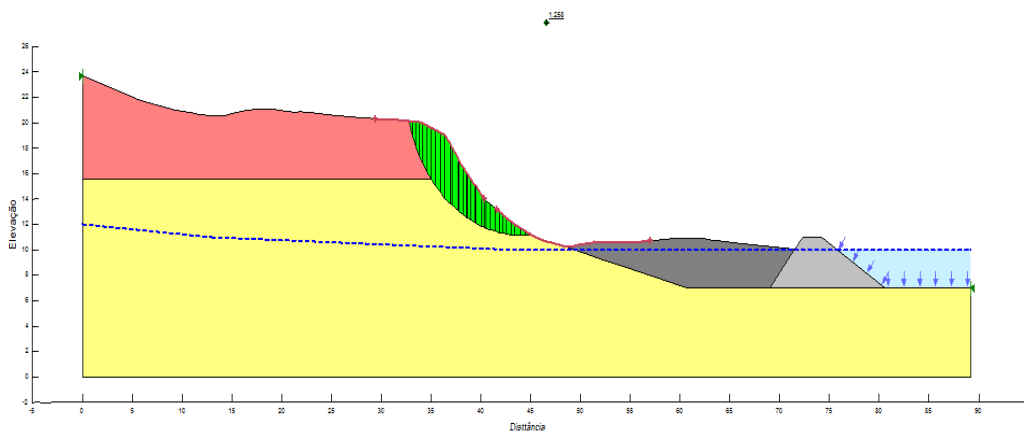


Figura 21: Análise de estabilidade de talude: Seção C, FS=1,258.

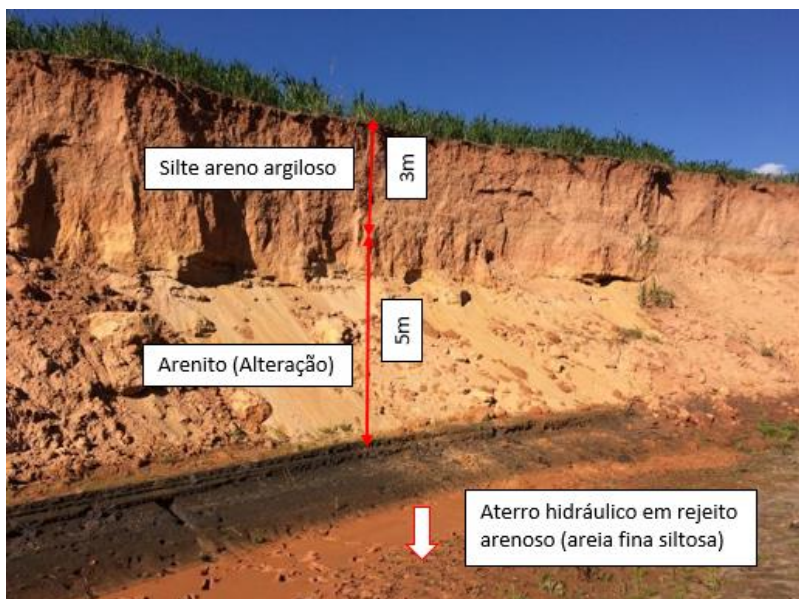


Figura 22 Seção C: talude negativo e com a face em processo contínuo de erosão devido a intempéries. Verifica-se no corte a divisão dos materiais em processo erosivo devido a intempéries.

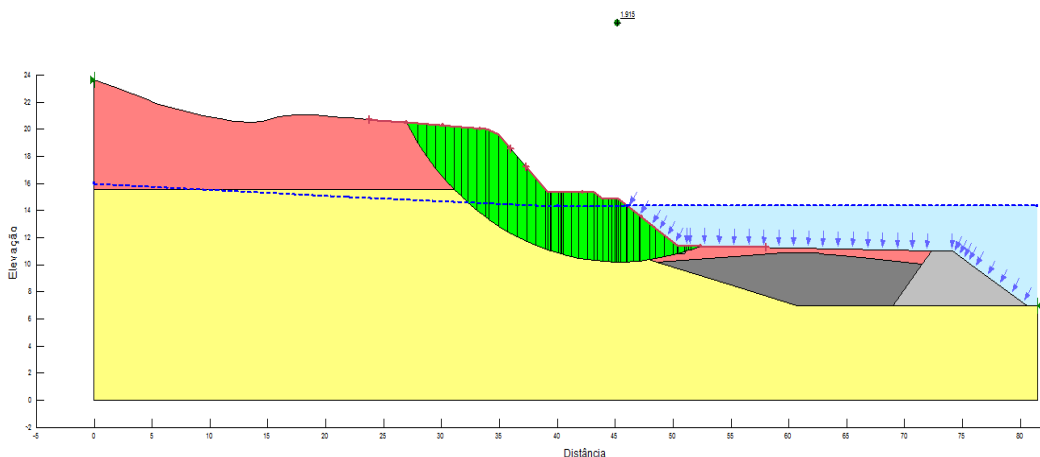


Figura 23: Análise de estabilidade de talude: Seção C, NA elev. Q10, FS=1,915. Retaludamento 1H:1V na parte superior e berm de equilíbrio mais proteção de face (seção tipo "E").

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que a variação do nível d'água bem como adição de cargas de veículos pouco influenciam nos resultados do fator de segurança. Um projeto de coleta e direcionamento da drenagem superficial também foi elaborado com o objetivo de direcionar o fluxo de água pluvial para fora da face do talude, colaborando também para a redução dos processos erosivos.

4.2.3 Seção E-A15-05

Os fatores de segurança resultantes das análises de estabilidade são maiores que 1,5 indicando que os taludes estão em condições estáveis. Para esta área indicamos a conformação dos taludes bem como a proteção de face contra processos erosivos devido ao fluxo de água na região com o objetivo de proteger o acesso existente e o curral da propriedade do Sr. Hamilton. Devido as baixas velocidades do escoamento na vazão com tempo de retorno de 10 anos e aos taludes baixos da região, a proteção de face, conforme desenho



de seção tipo “E” (G006900-C-100342), deve acompanhar a topografia existente, protegendo os taludes contra a continuação e aumento dos processos erosivos.

Um projeto de coleta e direcionamento adequado do escoamento superficial do acesso também foi realizado complementar ao projeto de proteção de face contra erosões.

A seguir, as **Figuras 25** e **26** ilustram os resultados obtidos nas análises de estabilidade para a seção E-A15-05.

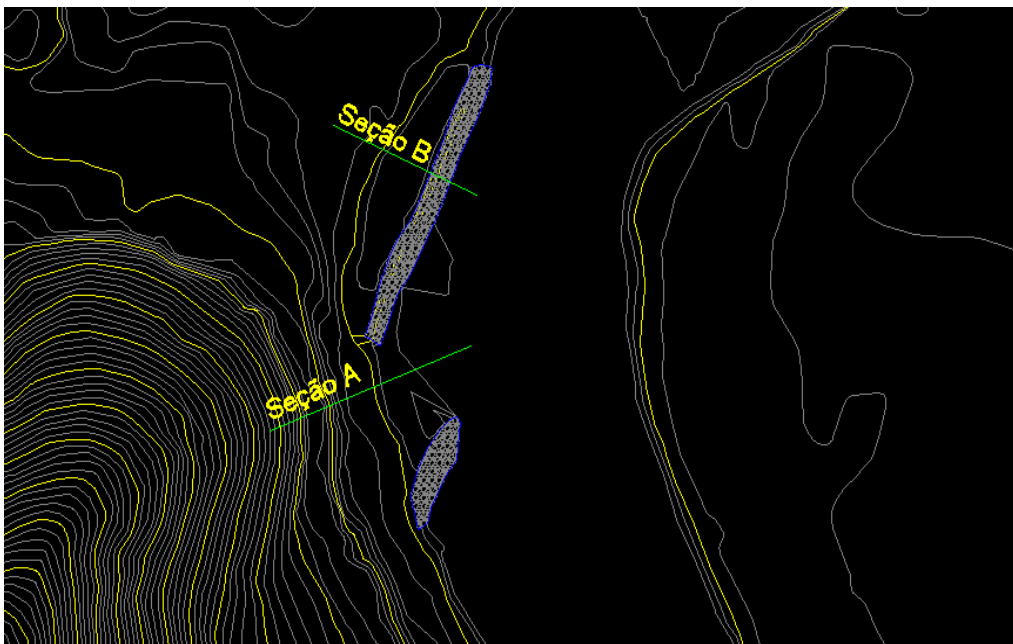


Figura 24: Seções analisadas em E-A15-05.

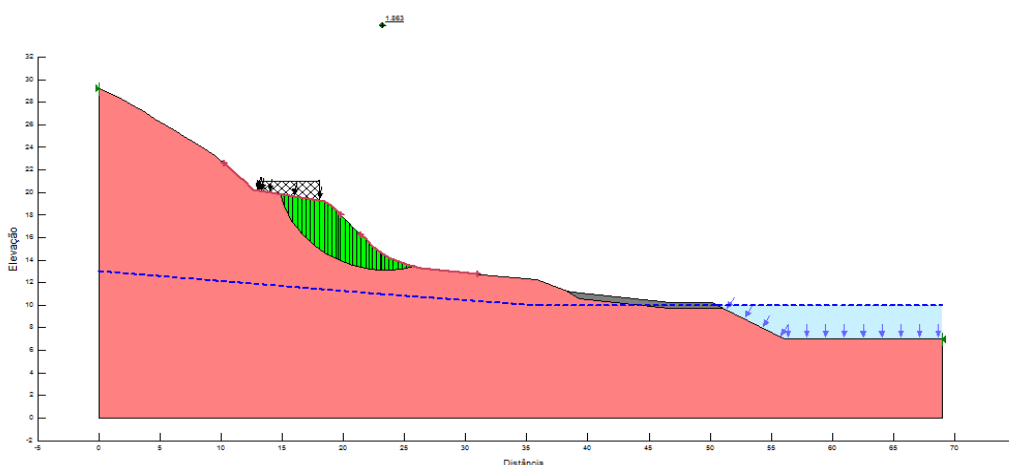


Figura 25: Análise de estabilidade de talude: Seção A, FS=1,863.

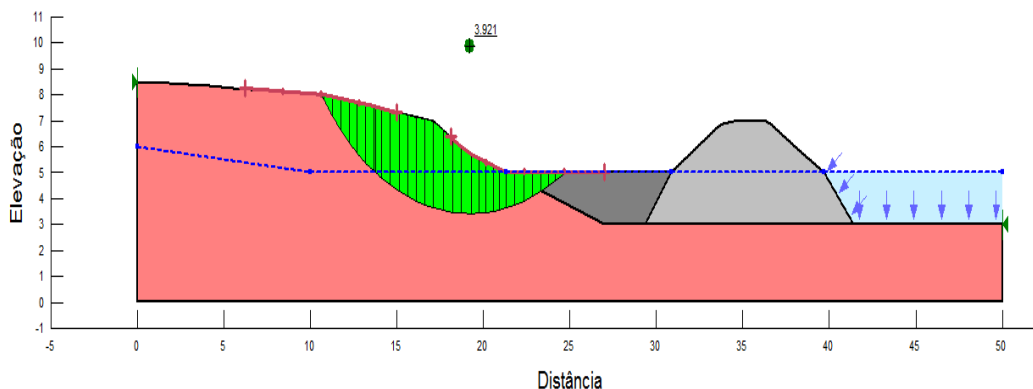


Figura 26: Análise de estabilidade de talude: Seção B, FS=3,921.

4.2.4 Seção E-A15-06

Observa-se que os valores obtidos nas análises de estabilidade para os taludes da seção E-A15-06 são superiores a 1,5.

A adoção ou não de cargas de veículos (5kN/m²) ou a variação do nível d'água (Q2 e Q10) pouco influenciam nos resultados.

Para esta área recomendamos que seja mantida a proteção de face conforme seção tipo "E" já indicada nos desenhos G006900-C-100329 e G006900-C-100342, não sendo necessário projetos específicos.

A seguir, as **Figuras 28 a 30** ilustram os resultados obtidos nas análises de estabilidade para a seção E-A15-06.

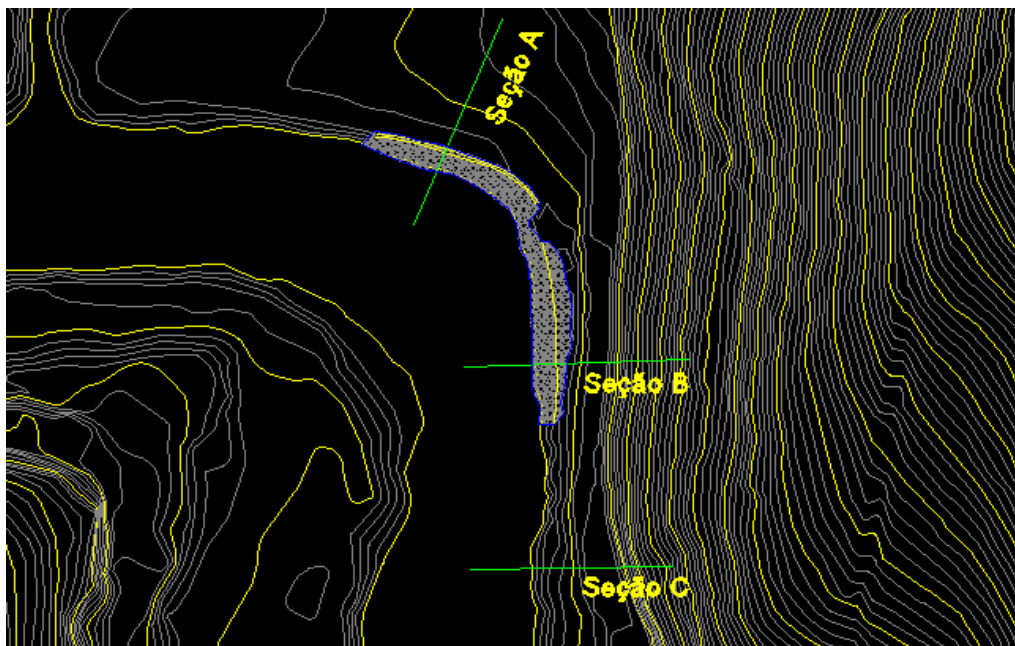


Figura 27: Seções analisadas em E-A15-06.

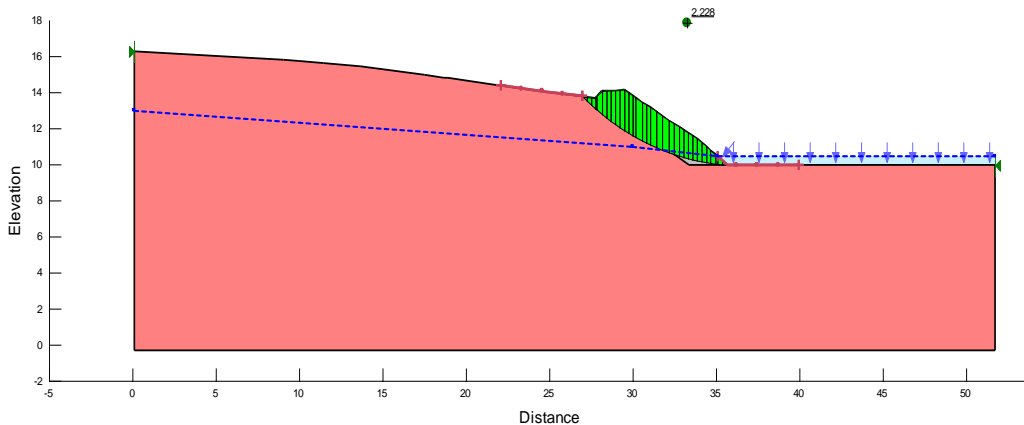


Figura 28: Análise de estabilidade de talude: Seção A, FS=2,228.

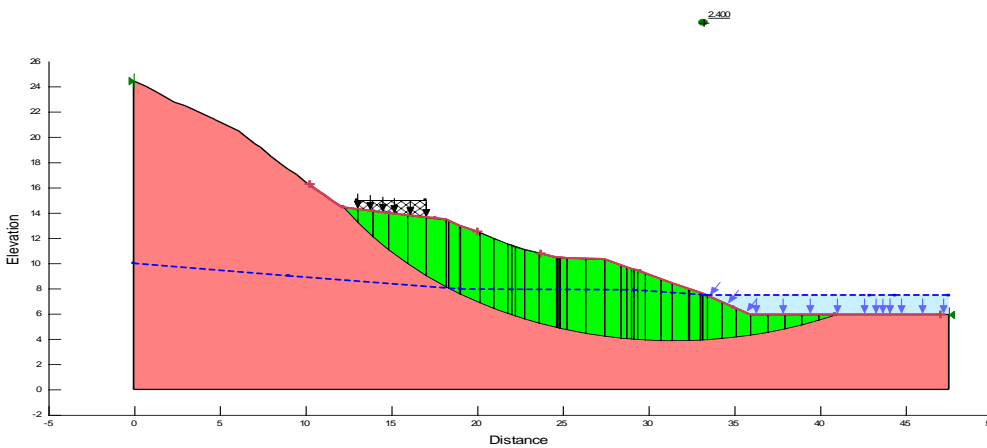


Figura 29: Análise de estabilidade de talude: Seção B, FS=2,4.

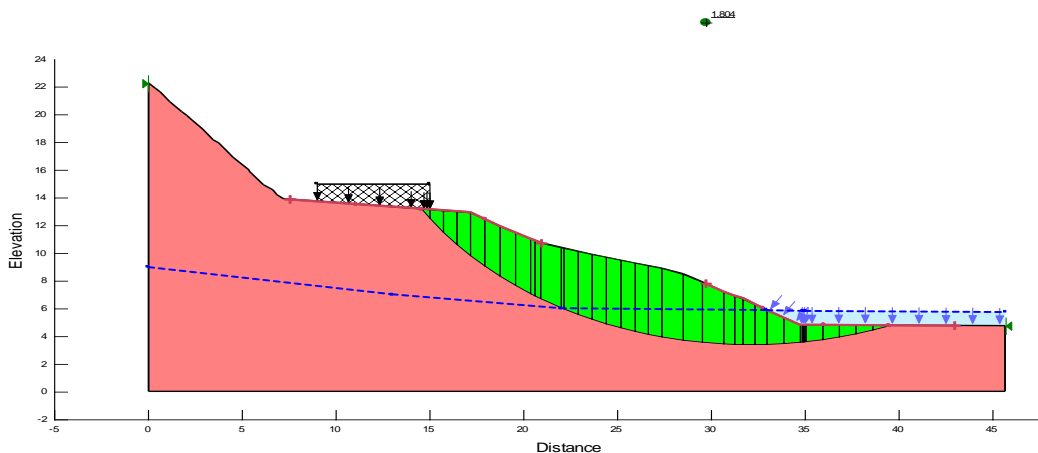


Figura 30: Análise de estabilidade de talude: Seção C, FS=1,804.



4.2.5 Seção E-A15-07

Observa-se que os valores de FS são maiores que 1,5 para as duas seções analisadas. A adoção ou não de cargas de veículos (5kN/m^2) ou a variação do nível d'água (Q2 e Q10) pouco influenciam nos resultados.

Apesar de não ter problemas geotécnicos relacionados a instabilidade, a velocidade do escoamento para a vazão com tempo de retorno de 10 anos é de $5,31\text{m/s}$ nesta região. Essa velocidade indica a necessidade de proteção da face dos taludes contra processos erosivos, já que existe um acesso logo acima. O tamanho das rochas para suportar tal velocidade é da ordem de $D_{50}=1400\text{mm}$ o que, em termos construtivos é de difícil execução. Baseado nisso, a solução adotada para este trecho foi a implantação de gabião tipo caixa com $0,5\text{m}$ de espessura cobrindo toda a face do talude da estaca E.C 1278+0 a E.C 1281+0.

Em conjunto com o projeto do gabião um projeto de coleta e direcionamento adequado do escoamento superficial do acesso também foi realizado complementar ao projeto de proteção de face contra erosões.

A seguir, as **Figuras 32 e 33** ilustram os resultados obtidos nas análises de estabilidade para a seção E-A15-07.

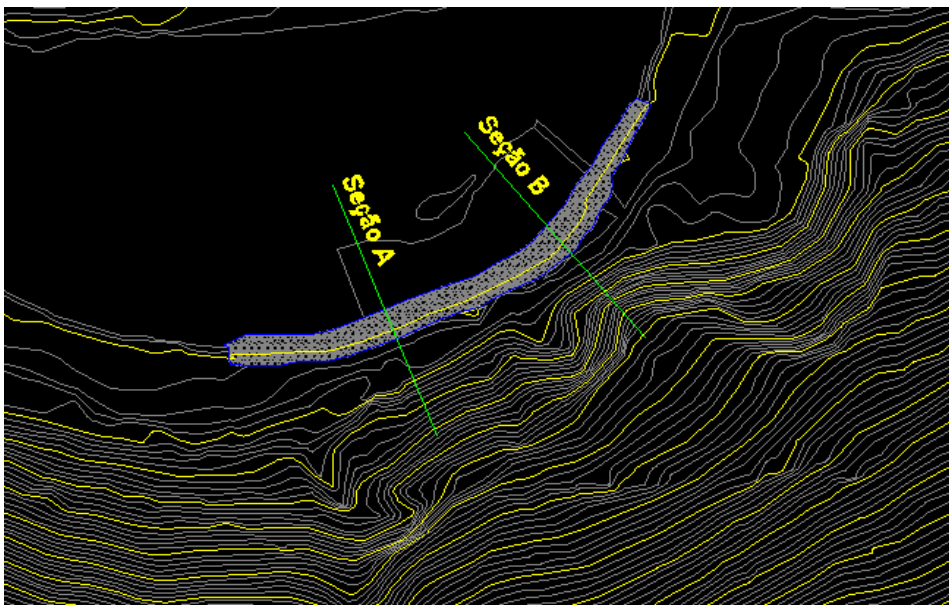


Figura 31: Seções analisadas em E-A15-07.

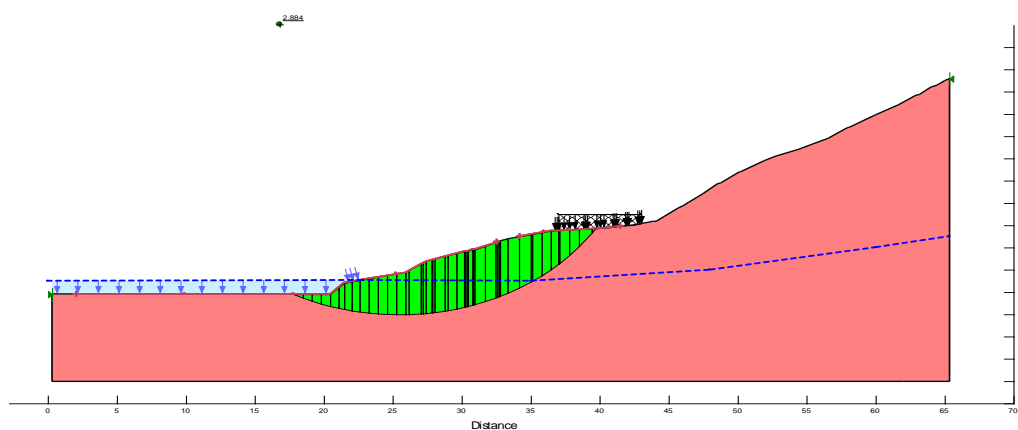


Figura 32: Análise de estabilidade de talude: Seção A, $FS=2,884$.

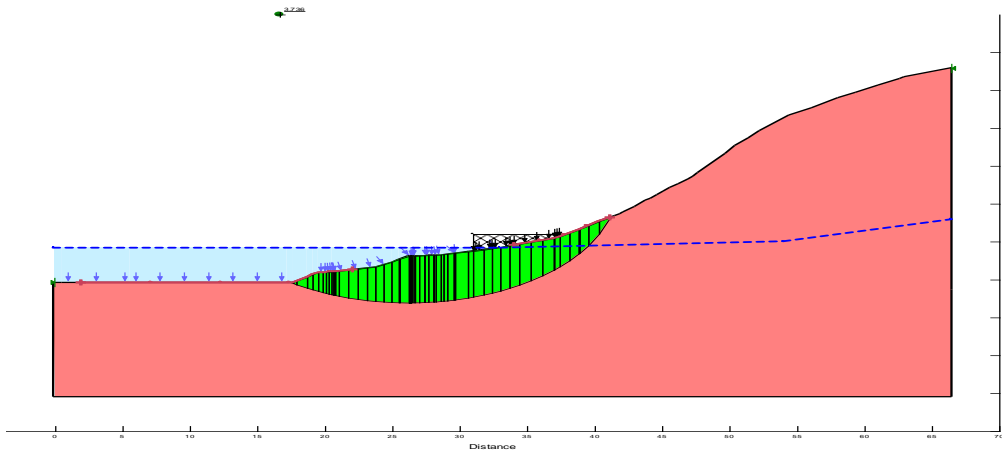


Figura 33: Análise de estabilidade de talude: Seção B, FS=3,736.

5.0 OBSERVAÇÕES E ORIENTAÇÕES GERAIS

De acordo com a explicação técnica do item 4.1 - Premissas e Parâmetros Geotécnicos, salienta-se que as análises de estabilidade foram realizadas baseadas em parâmetros empíricos definidos em função da visita de campo, experiência e literatura, considerando sempre a pior situação. A realização de investigações geológico geotécnicas bem como ensaios laboratoriais podem calibrar os parâmetros. Esta calibração pode otimizar as soluções propostas para cada área estudada.

Os estudos foram desenvolvidos utilizando os levantamentos topográficos fornecidos pela Samarco e descritos no item 4.1 – Premissas e Parâmetros Geotécnicos. Devido as precipitações que ocorreram na região nos meses de novembro e dezembro é possível que alguma alteração tenha ocorrido em campo, devendo estas serem consideradas pelo engenheiro de campo da projetista.

Alterações de maior relevância que impactem na estabilidade dos taludes devem ser direcionadas a equipe de engenharia da Golder que avaliará e, caso necessário, revisará o projeto.

A Samarco deverá se certificar da não existência de redes de água, esgoto, tubulação (gás, mineroduto, etc.) cabos elétricos e de telefone antes de qualquer escavação.

As estruturas de corta rio implantadas nas seções E-A15-05 e E-A15-07 devem ser removidas após a execução dos trabalhos de proteção de face.

Devido à falta de informação da batimetria na região as seções representadas podem não corresponder a realidade. Tal situação deve ser verificada em campo durante os trabalhos de construção.

6.0 EQUIPE TÉCNICA

A **Tabela 2** apresenta a equipe técnica chave alocada para a elaboração deste documento.



Tabela 2: Equipe Técnica.

Equipe Técnica	Cargo
Daiane Souza	Eng ^a . Geotécnica Plena
Marcelo Diniz (Revisor)	Eng ^o . Civil Sênior
Germano Araújo (Revisor)	Eng ^o . Geotécnico Sênior

GOLDER ASSOCIATES BRASIL CONSULTORIA E PROJETOS LTDA.

Antônio Harley
Gerente do Projeto

AH/MD/acs

Golder, Golder Associates e os símbolos GA e globo são marcas registradas da Golder Associates Corporation.

\\bhz1-v-fs1\trabalho\3-projetos\2015\2-meio ambiente\159 515 2282_samarco\3-relatorio\rt - relatório técnico\rt-e-26\g006900-g-1rt105_r-00\g006900-g-1rt105_r-00.docx



GOLDER ASSOCIATES BRASIL CONSULTORIA E PROJETOS LTDA.

Antônio Harley
Gerente do Projeto

AH/MD/acs

Golder, Golder Associates e os símbolos GA e globo são marcas registradas da Golder Associates Corporation.

\\bhz1-v-fs1\trabalho\3-projetos\2015\2-meio ambiente\159 515 2282_samarco\3-relatorio\rt - relatório técnico\rt-e-26\g006900-g-1rt105_r-00\g006900-g-1rt105_r-00.docx

Como uma organização global de propriedade de seus colaboradores e mais de 50 anos de experiência, a Golder Associates é conduzida pelo nosso propósito de apoiar o desenvolvimento e preservar a integridade da Terra. Fornecemos soluções que ajudam nossos clientes a alcançarem seus objetivos de desenvolvimento sustentável, oferecendo-lhes uma ampla gama de serviços independentes de consultoria, projeto e gestão da construção em nossas áreas de especialização da engenharia da terra, do meio ambiente e da energia.

Para maiores informações, visite golder.com

África	+ 27 11 254 4800
Ásia	+ 86 21 6258 5522
Oceania	+ 61 3 8862 3500
Europa	+ 44 1628 851851
América do Norte	+ 1 800 275 3281
América do Sul	+ 56 2 2616 2000

solutions@golder.com
www.golder.com

Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda.
Rua Pernambuco, 1000 - 10º andar
Bairro Funcionários
Belo Horizonte - MG
CEP: 30.130-151
Brasil
T: +55 (31) 2121 9800

