



RODOANEL METROPOLITANO
DE BELO HORIZONTE

Projeto de Modelagem do Processo para Concessão do Rodoanel da Região Metropolitana de BH

Estudos de Engenharia - Contenções

Resumo

Este documento contém a descrição e a quantificação das contenções resultantes da Alça Sul do Projeto de Modelagem do Processo para Concessão do Rodoanel da Região Metropolitana de Belo Horizonte, a ser desenvolvido pela Secretaria de Estado de Infraestrutura e Mobilidade do Governo do Estado de Minas Gerais, em parceria com o Movimento Brasil Competitivo e a Accenture.

Julho, 2021

ÍNDICE

1.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	3
2.	DADOS DISPONÍVEIS.....	3
3.	SOLUÇÕES DE CONTENÇÕES ADOTADAS	3
3.1.	Cotensões de corte.....	3
3.1.1.	Solo grampeado	3
3.1.2.	Cortina atirantada	5
3.2.	Cotensões de aterro	6
3.2.1.	Solo reforçado (sistema Terra Armada ou similar)	6
4.	Custos estimados.....	8
5.	Considerações finais	10
	Anexo A – composição de custos	11
	Anexo B – Memorial quantitativo para solo grampeado e cortina atirantada;	15



Projeto de Contenções – Alça Sul

Data: 15/07/2021

Versão: 01

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Solução de solo grampeado: (a) seção típica; (b) vista frontal típica	5
Figura 2 – Solução de cortina atirantada: (a) seção típica; (b) vista frontal típica	6
Figura 3 – Solo reforçado $H_{méd} = 13,0$ m: (a) seção típica; (b) vista frontal típica	8



Projeto de Contenções – Alça Sul

Data: 15/07/2021

Versão: 01

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custos estimados para alça sul..... 9

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este documento apresenta o memorial descritivo das soluções de contenção adotadas e quantificadas para a para a estimativa de custos na implantação do Rodoanel de Belo Horizonte – MG.

Neste documento são contempladas as contenções previstas na Alça Sul.

2. DADOS DISPONÍVEIS

Para a elaboração deste documento, foram disponibilizados os seguintes dados:

- Projeto geométrico do Rodoanel

3. SOLUÇÕES DE CONTENÇÕES ADOTADAS

Para a implantação do Rodoanel, serão necessárias contenções que visam evitar o desenvolvimento de taludes sobre algumas áreas edificadas, vias existentes ou projetadas. As contenções foram divididas em duas categorias, sendo as de corte e as de aterro.

3.1. Cotenções de corte

As contenções de corte foram previstas em regiões onde há necessidade de escavação para a sua implantação, sendo adotadas duas soluções, sendo o solo grampeado e a cortina atirantada.

3.1.1. Solo grampeado

A solução de solo grampeado consiste em reforçar o solo com barras de aço e injeções de nata de cimento. Este sistema de solução tem uma funcionalidade passiva, isto é, o reforço será solicitado quando houver algum deslocamento do maciço.

O solo grampeado foi previsto com perfurações de 4", espalhada em malha 1,5 m x 1,5 m na projeção vertical. Os grampos devem ser em barra de aço CA-50 Ø20,0 mm. Cada perfuração deve ser preenchida com nata de cimento sob gravidade. Após a sua cura mínima, deverá ser realizada a injeção sob pressão através de tubos de PVC com válvulas manchete. A nata de cimento costuma ter um traço de água/cimento = 0,5.

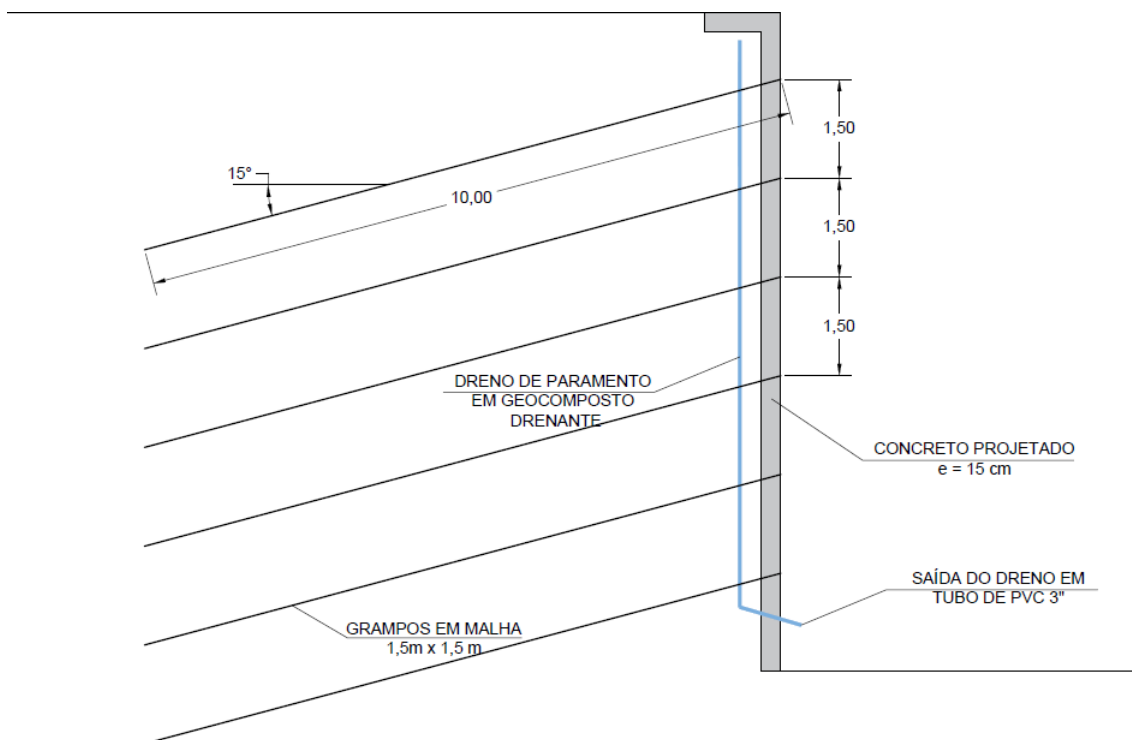
Projeto de Contenções – Alça Sul
Data: 15/07/2021

Versão: 01

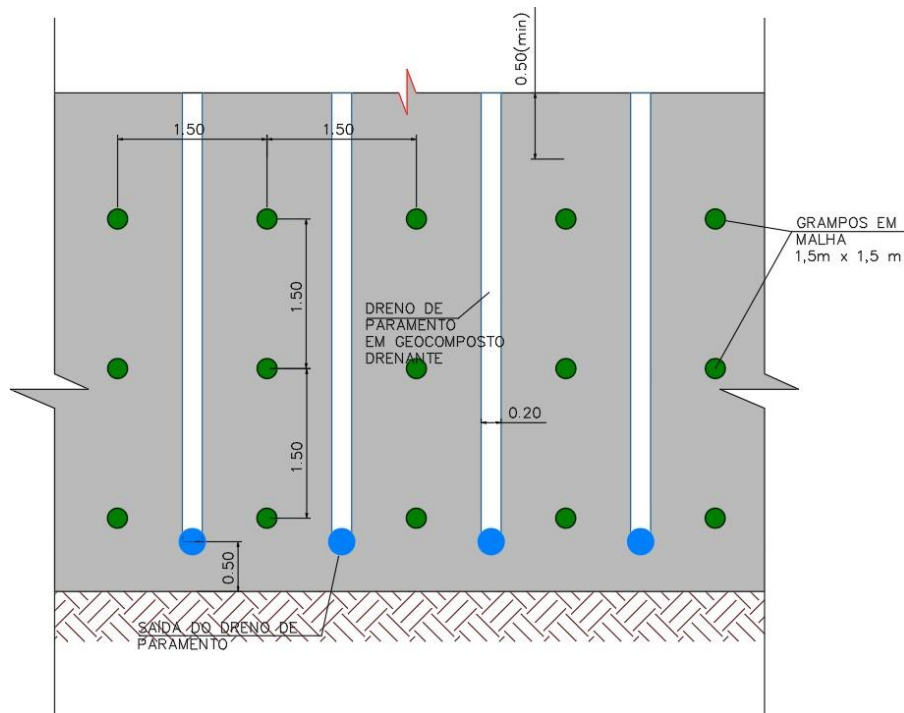
O paramento do solo grampeamento deverá ser executado em concreto projetado de $f_{ck} \geq 30$ MPa, com espessura de 15 cm. Este deverá ser armado com tela de aço eletrossoldado CA-60, Q246 em duas camadas. Na quantificação, foi considerado um sobreconsumo de 10% devido às sobreposições necessárias.

O dreno de paramento é composto de geocomposto drenante com 20 cm de largura, posicionada verticalmente entre as colunas de grampos entre o solo escavado e o concreto projetado. O seu lançamento do tardo do concreto projetado para fora é realizado através tubos de PVC em forma de barbacãs.

A Figura 1 a seguir apresenta a seção típica da solução ora apresentada.



(a)



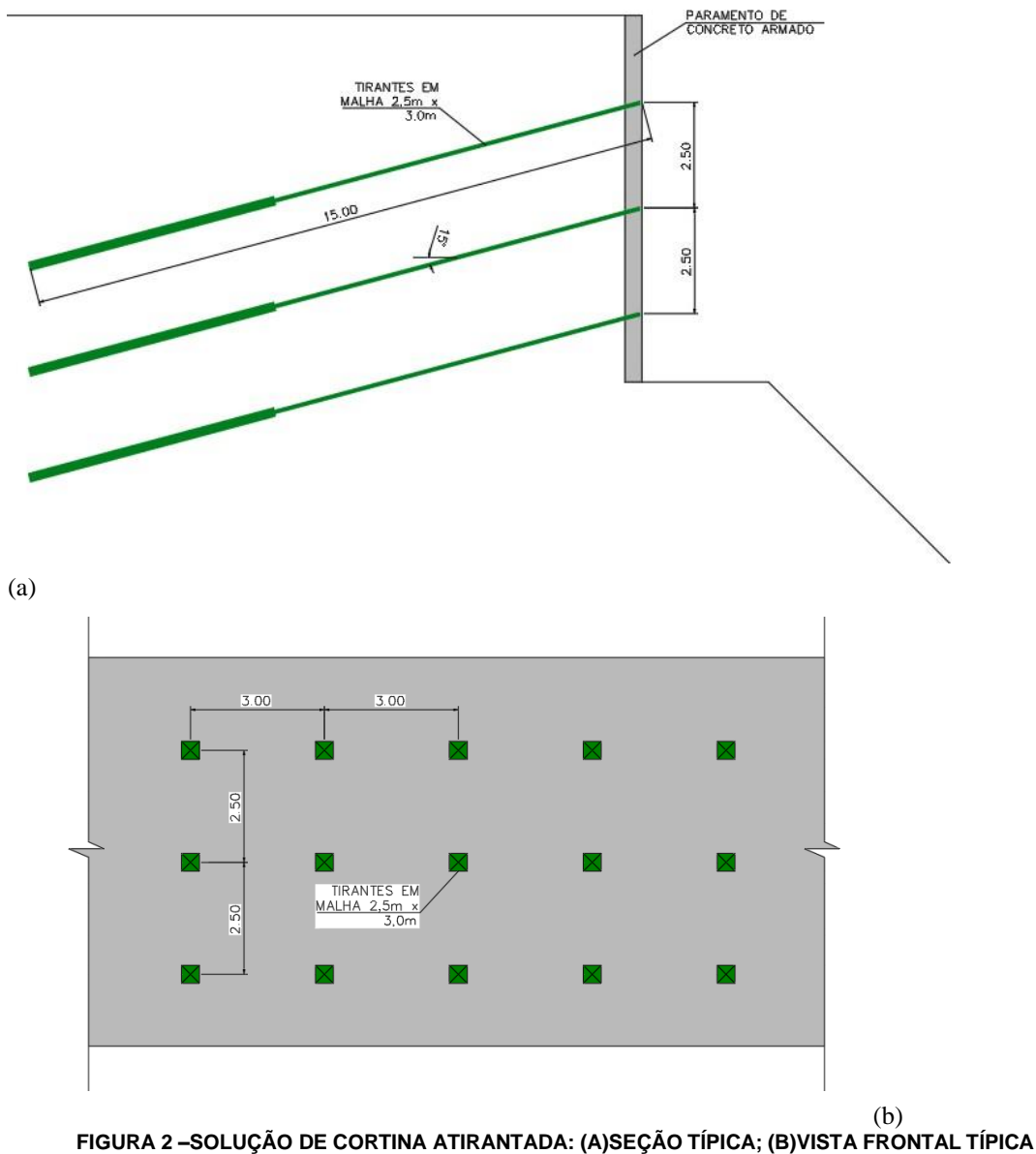
(b)
FIGURA 1 –SOLUÇÃO DE SOLO GRAMPEADO: (A)SEÇÃO TÍPICA; (B)VISTA FRONTAL TÍPICA

3.1.2. Cortina atirantada

A cortina atirantada foi prevista para trechos onde movimentações do maciço contido não são desejáveis, ancorando-se tirantes com cargas ativas.

Esta solução prevê a execução de tirantes de monobarra roscada para até 60 tf de carga de trabalho, distribuída em malha de 2,5 m (V):3,0 m (H). O comprimento médio previsto para os tirantes é de 15,0 m. A perfuração para tirantes deve ser de no mínimo Ø120 mm

O paramento deste sistema é vertical, com placas de concreto armado $f_{ck} \geq 30$ MPa com 40,0 cm de espessura. A armadura foi prevista em taxa da ordem de 120 kg/m³ de concreto.



3.2. Cotenções de aterro

Em contenções de aterro com alturas médias superiores a 4,0 m, foi considerada a solução de solo reforçado com sistema de paramento em escama de concreto com fitas metálicas.

3.2.1. Solo reforçado (sistema Terra Armada ou similar)

Para contenções elevadas, soluções de estruturas flexíveis são mais apropriadas, visto as altas tensões envolvidas. Assim sendo, foi proposta a solução de solo reforçado,

Projeto de Contenções – Alça Sul
Data: 15/07/2021

Versão: 01

composto de paramento de escamas de concreto armado em formato cruciforme, associadas às fitas metálicas corrugadas. As fitas são envolvidas em aterro compactado, ancorando as escamas.

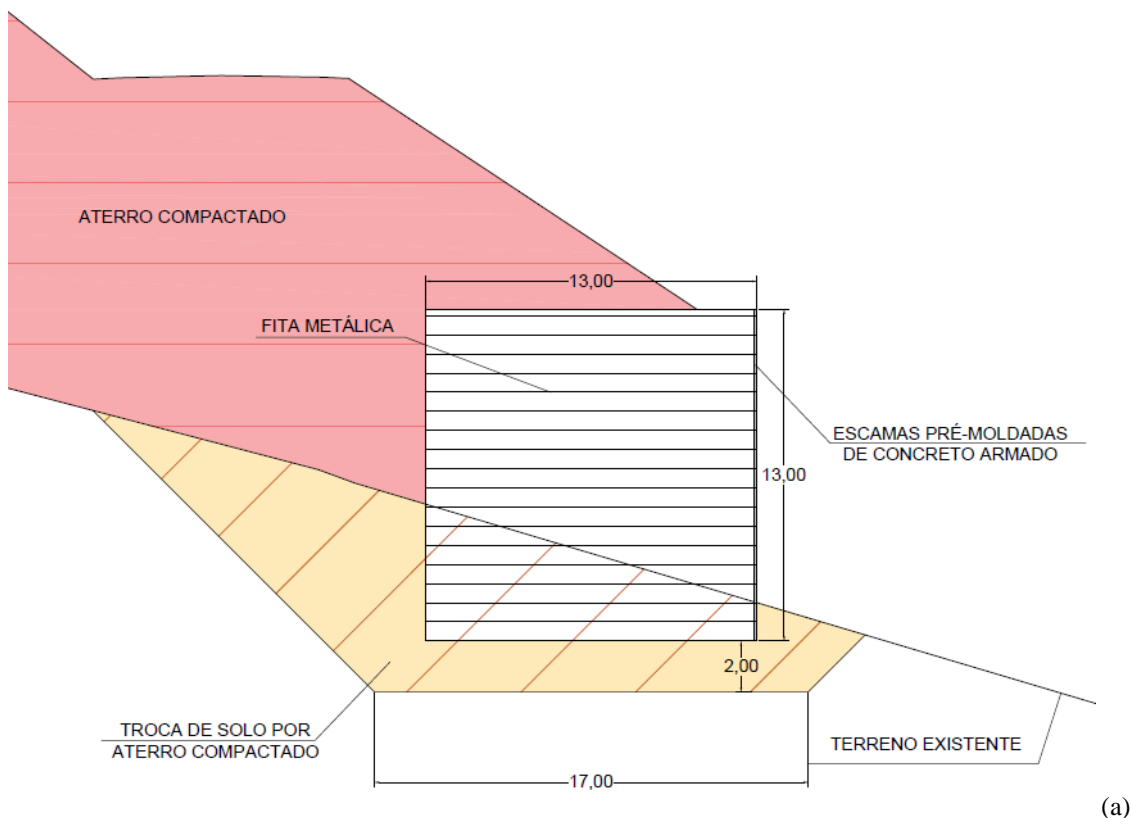
Neste estudo, este tipo de contenção foi quantificado linearmente, conforme a altura média estimada para os trechos analisados.

A largura do sistema de contenção nesta fase de projeto foi estipulada como de igual dimensão da altura.

As fitas metálicas ficam densas conforme a altura da contenção para garantir a estabilidade interna, o que torna as contenções elevadas mais robustas e onerosas.

Para garantir uma condição de fundação adequada para estas contenções, foi prevista uma substituição de solo superficial por aterro compactado, de 2,0 m de profundidade, a partir do apoio da base.

As Figuras a seguir apresentam esquematicamente as soluções para cada faixa de altura contida.



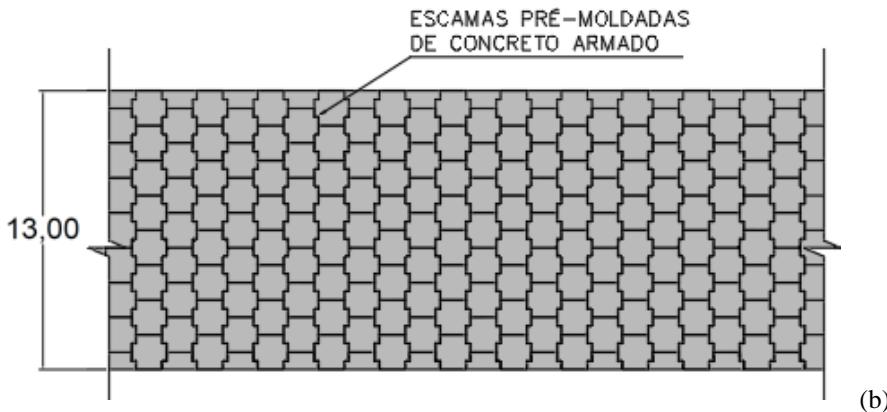


FIGURA 3 – SOLO REFORÇADO HMÉD = 13,0 M: (A) SEÇÃO TÍPICA; (B) VISTA FRONTAL TÍPICA

4. Custos estimados

A partir as soluções descritas anteriormente foram estimados os custos do trecho do Rodoanel. Assim sendo, a Tabela 1 a seguir apresenta as características geométricas, soluções adotadas e os custos de cada contenção prevista para este projeto.

A composição de custos destas soluções está apresentada no Anexo A.

Para o solo grampeado e a cortina atirantada, que têm os custos estimados por unidade de área, foram elaborados memoriais quantitativos para melhor elucidar a composição dos seus custos no Anexo B.



Projeto de Contenções – Alça Sul

Data: 15/07/2021

Versão: 01

TABELA 1 – CUSTOS ESTIMADOS PARA A ALÇA SUL

TRECHO/RAMO		ESTACAS		TERRAPLENAGEM	EXTENSÃO (m)	ALTURA MÉDIA (m)	ÁREA CONTIDA (m2)	SOLUÇÃO	QDADE	UNIDADE	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	CUSTO TOTAL (R\$)
		INÍCIO	FIM									
RAMO 1200	MURO 1200	1212 + 0,0	1227 + 8,1	CORTE	316,8	5,2	1662,8	SOLO GRAMPEADO	1662,8	M ²	388,74	646.403,69
RAMO 1500	MURO 1500 A	1510 + 0,0	1517 + 14,3	ATERRO	162,2	13,2	2145,9	TERRA ARMADA	162,2	M	56.894,29	9.228.253,76
	MURO 1500 B	1519 + 0,0	1526 + 0,0	CORTE	144,2	14,8	2133,5	CORTINA ATIRANTADA	2133,5	M ²	1.589,99	3.392.236,55
	MURO 1500 C	1515 + 13,5	1528 + 19,6	CORTE	244,0	4,8	1171,2	SOLO GRAMPEADO	1171,2	M ²	388,74	455.297,09
TOTAL											13.722.191,08	



5. Considerações finais

As soluções apontadas neste documento visam estimar os custos para a implantação das contenções no Rodoanel de Belo Horizonte a nível de projeto funcional. Nas fases seguintes de projeto, deverão ser executadas sondagens e demais ensaios geotécnicos julgados necessários para permitir um devido dimensionamento, com o refino das soluções aqui apresentadas.

Anexo A – Composição de custos;

Anexo B – Memorial quantitativo para solo grampeado e cortina atirantada;



Projeto de Contenções – Alça Sul

Data: 15/07/2021

Versão: 01

Anexo A – composição de custos

Projeto de Contenções – Alça Sul

Data: 15/07/2021

Versão: 01

SOLO REFORÇADO – TERRA ARMADA Hméd = 13 m, CUSTO LINEAR

item	órgão	Cód	Serviço	unidade	quant	c. unit (R\$)	c. total (R\$)	
PREPARO DO TERRENO E DA FUNDAÇÃO								
1.1	DER-MG - ABR/2021	RO-40218	ESCAVAÇÃO MECÂNICA DE VALAS EM MATERIAL DE 1ª CATEGORIA (EXECUÇÃO, INCLUINDO REMOÇÃO PARA FORA DO LEITO ESTRADAL)	M3	140,33	6,68	937,4044	
1.2	DER-MG - ABR/2021	RO-40239	APILOAMENTO DE FUNDO DE VALAS	M2	17	3,36	57,12	
1.3	DER-MG - ABR/2021	ED-51098	ATERRO COMPACTADO COM ROLO VIBRATÓRIO A 95% DO P.N.	M3	95,69	1,21	115,7849	
						TOTAL	1.110,31	
MURO								
2.1	SICRO - MG - JAN/2021	5406042	Muro de escama de concreto armado em solo reforçado com fita metálica com altura de 10,0 a 12 m - tipo 2 - areia extraída e brita produzida	M2	13	320,15	4.161,95	
2.2	SICRO - MG - JAN/2021	5406046	Aterro compactado em solo reforçado com fita metálica galvanizada - taxa 14,88 kg/m³ - material de jazida	M3	169	169,58	28.659,02	
2.3	SICRO - MG - JAN/2021	4816020	Areia extraída com draga de sucção tipo bomba	M3	169	32,46	5.485,74	
2.4	SICRO - MG - JAN/2021	M0082	Areia média lavada	M3	169	103,4158	17.477,27	
						TOTAL	55.783,98	
TOTAL LINEAR								56.894,29



Projeto de Contenções – Alça Sul

Data: 15/07/2021

Versão: 01

SOLO GRAMPEADO, CUSTO POR M²

item	órgão	Cód	Serviço	unidade	quant	c. unit (R\$)	c. total (R\$)
SOLO GRAMPEADO							
1.1	SICRO - MG - JAN/2021	5605896	Grampo de aço CA-50 D = 20 mm para solo grampeado com capacidade de 80 kN - fornecimento, perfuração e instalação	m	4,44	43,68	193,94
1.2	SICRO - MG - JAN/2021	1207719	Concreto projetado via seca fck = 30 MPa aplicado em superfícies inclinadas e verticais	m ³	0,15	783,01	117,45
1.3	SICRO - MG - JAN/2021	5914389	Transporte com caminhão basculante de 10 m ³ - rodovia pavimentada (areia)	tkm	14,058	0,43	6,04
1.4	SICRO - MG - JAN/2021	5914389	Transporte com caminhão basculante de 10 m ³ - rodovia pavimentada (brita)	tkm	5,559	0,43	2,39
1.5	SICRO - MG - JAN/2021	5914479	Transporte com caminhão carroceria de 15 t - rodovia pavimentada (cimento)	tkm	2,30	0,44	1,01
1.6	SICRO - MG - JAN/2021	408067	Tela de aço eletrosoldada - fornecimento, preparo e colocação	kg	8,602	7,56	65,03
1.7	SICRO - MG - JAN/2021	M0107	GEOCOMPOSTO PARA DRENAGEM	m ²	0,13	14,3027	1,91
1.8	SICRO - MG - JAN/2021	2003821	Dreno tipo barbacã - DRB 02 - D = 50 mm em estrutura de contenção de encosta - exclusivo o tubo de drenagem	unid	0,07	11,11	0,74
1.9	SICRO - MG - JAN/2021	M1656	Tubo de PVC esgoto - D = 75 mm	m	0,03	6,8091	0,23
						TOTAL	388,74



Projeto de Contenções – Alça Sul

Data: 15/07/2021

Versão: 01

CORTINA ATIRANTADA, CUSTO POR M²

item	órgão	Cód	Serviço	unidade	quant	c. unit (R\$)	c. total (R\$)
CORTINA ATIRANTADA							
1.1	DER-MG	RO-41614	FORMAS PLANAS DE MADEIRA DE PINHO DE 3ª (EXECUÇÃO, INCLUINDO DESFORMA, FORNECIMENTO E TRANSPORTE DE TODOS OS MATERIAIS)	M2	1	48,58	48,58
1.2	DER-MG	RO-41387	ARMAÇÃO DE AÇO TIPO CA-50 (EXECUÇÃO, INCLUINDO PREPARO, DOBRAGEM, COLOCAÇÃO NAS FORMAS E TRANSPORTE DE TODOS OS MATERIAIS)	KG	48	11,56	554,88
1.3	DER-MG	RO-41633	CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND, FCK >= 30,0 MPA (EXECUÇÃO, INCLUINDO O FORNECIMENTO E TRANSPORTE DOS AGREGADOS)	M3	0,4	479,22	191,69
1.4	SICRO - MG - JAN/2021	5605938	Perfuração para tirantes em material de 1ª categoria com diâmetro de até 120 mm	M	2	18,4	36,8
1.5	SICRO - MG - JAN/2021	5605968	Tirante permanente protendido de aço D = 63 mm, tensão de escoamento = 600 MPa e tensão de ruptura = 720 MPa - exceto perfuração	M	2	323,33	646,66
1.6	SICRO - MG - JAN/2021	5605951	Protensão de tirante permanente protendido de aço D = 63 mm, tensão de escoamento = 600 MPa e tensão de ruptura = 720 MPa - inclusive ancoragem e groutamento da cabeça	unid	0,13	835,34	111,38
						TOTAL	1.589,99

Anexo B – Memorial quantitativo para solo grampeado e cortina atirantada;

SOLO GRAMPEADO					
1.1	SICRO	5605896	Grampo de aço CA-50 D = 20 mm para solo grampeado com capacidade de 80 kN - fornecimento, perfuração e instalação	4,44	m/m2
		a	área de influência do grampo na projeção vertical (1,5x1,5)	2,25	m2
		b	comprimento unitário estimado do grampo	10	m
		c	densidade do grampo por metro quadrado	4,44	m/m2
		a/b			
1.2	SICRO	1207719	Concreto projetado via seca fck = 30 MPa aplicado em superfícies inclinadas e verticais	0,150	m3/m2
		a	inclinação do paramento em relação a vertical	0	°
		b	área do paramento em relação a área da projeção vertical	1,00	
		c	espessura do concreto projetado	0,15	cm
		d	volume de concreto projetado por metro quadrado da projeção vertical b*c	0,150	m3/m2
1.3	SICRO	5914389	Transporte com caminhão basculante de 10 m ³ - rodovia pavimentada (areia)	14,058	tkm
		a	concreto necessário na projeção, incluindo perdas	1,42	m3/m3
		b	areia por metro cúbico do concreto	1,1	t/m3
		c	areia necessária, incluindo perdas a*b	1,562	t/m3
		d	volume de concreto projetado por metro quadrado na projeção vertical (vide item 1.2)	0,150	m3
		e	peso da areia por m2 de paramento acabado c*d	0,234	t
		f	distância da jazida de areia	60	km
		g	momento de transporte por m2 de paramento acabado e*f	14,058	tkm
1.4	SICRO	5914389	Transporte com caminhão basculante de 10 m ³ - rodovia pavimentada (brita)	5,559	tkm
		a	concreto necessário na projeção, incluindo perdas	1,42	m3/m3
		b	pedra por metro cúbico do concreto	0,87	t/m3
		c	pedra necessária, incluindo perdas a*b	1,2354	t/m3
		d	volume de concreto projetado por metro quadrado na projeção vertical (vide item 1.2)	0,150	m3
		e	peso da pedra por m2 de paramento acabado c*d	0,185	t
		f	distância da jazida de pedra	30	km
		g	momento de transporte por m2 de paramento acabado e*f	5,559	tkm
1.5	SICRO	5914479	Transporte com caminhão carroceria de 15 t - rodovia pavimentada (cimento)	2,30	tkm
		a	concreto necessário na projeção, incluindo perdas	1,42	m3/m3
		b	cimento por metro cúbico do concreto	0,36	t/m3
		c	cimento necessário, incluindo perdas a*b	0,511	t/m3

Projeto de Contenções – Alça Sul
Data: 15/07/2021

Versão: 01

			d volume de concreto projetado por metro quadrado na projeção vertical (vide item 1.2)	0,150	m3
			e peso do cimento por m2 de paramento acabado c*d	0,077	t
			f distância de frete do cimento	30	km
			g momento de transporte por m2 de paramento acabado e*f	2,30	tkm
1.6	SICRO	408067	Tela de aço eletrosoldada - fornecimento, preparo e colocação	8,602	kg/m2
			a densidade do aço CA-60 Q246	3,91	kg/m2
			b densidade da armadura no concreto projetado, considerando a inclinação do paramento e 10% de sobreposição (2*a)*((item 1.2b)*1,1)	8,602	kg/m2
1.7	SICRO	M0107	GEOCOMPOSTO PARA DRENAGEM	0,13	m2/m2
			a proporção da área coberto pelo geocomposto: 0,2/1,5	0,13	m2/m2
			b área do geocomposto na projeção vertical a*item 1.2b	0,13	m2/m2
1.8	SICRO	2003821	Dreno tipo barbacã - DRB 02 - D = 50 mm em estrutura de contenção de encosta - excluso o tubo de drenagem	0,07	unid/m2
			a densidade do barbacã no paramento 1unid / 15m2	0,07	unid/m2
1.9	SICRO	M1656	Tubo de PVC esgoto - D = 75 mm	0,03	m/m2
			a comprimento unitário do barbacã	0,5	m
			b densidade do barbacã no paramento 1unid / 15m2	0,07	unid/m2
			c comprimento de barbacã por área contida	0,03	m/m2

Projeto de Contenções – Alça Sul
Data: 15/07/2021

Versão: 01

CORTINA ATIRANTADA					
1.1	DER-MG	RO-41614	FORMAS PLANAS DE MADEIRA DE PINHO DE 3ª (EXECUÇÃO, INCLUINDO DESFORMA, FORNECIMENTO E TRANSPORTE DE TODOS OS MATERIAIS)	1	m ² /m ²
a área de forma por metro quadrado de contenção				1	m ²
1.2	DER-MG	RO-41387	ARMAÇÃO DE AÇO TIPO CA-50 (EXECUÇÃO, INCLUINDO PREPARO, DOBRAGEM, COLOCAÇÃO NAS FORMAS E TRANSPORTE DE TODOS OS MATERIAIS)	48	kg/m ²
a densidade do aço por volume de concreto				120	kg/m ³
b volume do concreto por metro quadrado do paramento (vide item 1.3)				0,4	m ³ /m ²
c peso do aço por metro quadrado de paramento a*b				48	kg/m ²
1.3	DER-MG	RO-41633	CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND, FCK >= 30,0 MPA (EXECUÇÃO, INCLUINDO O FORNECIMENTO E TRANSPORTE DOS AGREGADOS)	0,4	m ³ /m ²
a espessura do paramento				0,4	m
b volume de concreto por metro quadrado				0,4	m ³ /m ²
1.4	SICRO	5605938	Perfuração para tirantes em material de 1ª categoria com diâmetro de até 120 mm	2	m/m ²
a comprimento médio da perfuração do tirante				15	m
b área de influência do tirante 2,5*3				7,5	m ²
c comprimento do tirante por metro quadrado de paramento				2	m/m ²
1.5	SICRO	5605968	Tirante permanente protendido de aço D = 63 mm, tensão de escoamento = 600 MPa e tensão de ruptura = 720 MPa - exceto perfuração	2	m/m ²
a comprimento médio da perfuração do tirante				15	m
b área de influência do tirante 2,5*3				7,5	m ²
c comprimento do tirante por metro quadrado de paramento				2	m/m ²
1.6	SICRO	5605951	Protensão de tirante permanente protendido de aço D = 63 mm, tensão de escoamento = 600 MPa e tensão de ruptura = 720 MPa - inclusive ancoragem e groutamento da cabeça	0,13	unid/m ²
a área de influência do tirante 2,5*3				7,5	m ²
b quantidade de ancoragem por metro quadrado 1/a				0,13	unid/m ²