



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

MEMORIAL DESCRITIVO E DE CÁLCULO

**EXECUÇÃO DE OBRAS DE REQUALIFICAÇÃO
URBANA E DRENAGEM NA RUA JOÃO CAETANO, Nº
255 – BAIRRO CAXAMBU – PETRÓPOLIS.**

DEZEMBRO /2024

inea instituto estadual
do ambiente

Secretaria do
Ambiente e
Sustentabilidade



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO



Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312

Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196

www.inea.rj.gov.br



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
1.1 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS.....	3
2. LOCALIDADE E JUSTIFICATIVA.....	3
2.1 JUSTIFICATIVA.....	4
3. NORMAS UTILIZADAS.....	5
4. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA.....	5
5. ESCOLHA DA SOLUÇÃO	7
5.1 Análise de estabilidade	7
6. SOLUÇÃO PROPOSTA.....	10
7. QUANTITATIVO.....	12
8. ANEXO 1 – DIMENSIONAMENTO DA CONTENÇÃO.....	14
8.1 CORTINA ATIRANTADA	14
8.2 BARREIRA DE IMPACTO	29
9. ANEXO 2 – MEMÓRIA DE CÁLCULO DE DRENAGEM.....	29
9.1 Cálculos hidrológicos.....	29
9.2 Cálculos Hidráulicos	31



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

1. INTRODUÇÃO

Devido ao escorregamento translacional de solo ocorrido na encosta próxima a rua João Caetano, Caxambu, Petrópolis – RJ, um ponto de risco geotécnico foi identificado.

Para mitigar o risco geotécnico identificado, o INEA designou a elaboração de projeto básico de estabilização e proteção de talude.

1.1 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

O presente documento tem como objetivo apresentar e descrever o projeto básico de proteção e estabilização desenvolvido para o ponto de risco na encosta próxima ao número 255, na rua João Caetano, Caxambu, Petrópolis – RJ.

Nesta área não se observaram muitos trechos instáveis e escorregamentos pretéritos além da área afetada no último evento.

O presente projeto visa remediar os acidentes geotécnicos e garantir a estabilidade dos taludes existentes na área, principalmente os que possuem edificações construídas em áreas suscetíveis a escorregamentos.

2. LOCALIDADE E JUSTIFICATIVA

A região escorregada integra a vertente sul do morro do Floresta, talude ocupado por edificações na crista e no pé, com vegetação densa e com a presença de árvores.

A ocupação da crista é feita de maneira desordenada urbanisticamente e a expansão da área ocupada modificou os caminhos de drenagem consolidados. Os novos caminhos de drenagem não estão preparados para receber a contribuição das águas das chuvas, e isso foi o gatilho do escorregamento.

A figura a seguir apresenta a região afetada pelo escorregamento.



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

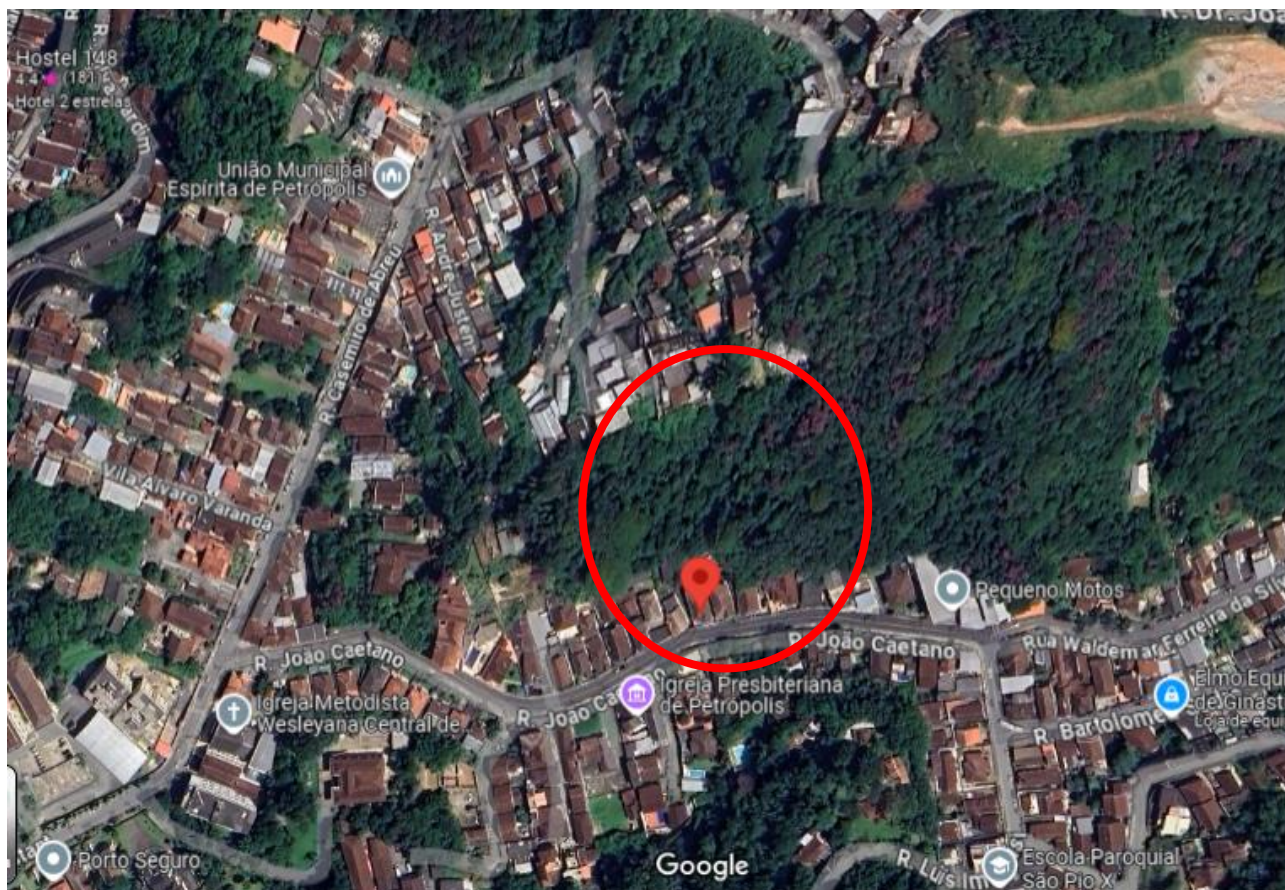


Figura 1 - Localização da intervenção

2.1 JUSTIFICATIVA

No intuito de dirimir todo e qualquer risco das edificações da região do escorregamento justificou-se as intervenções propostas no presente documento.

A cortina atirantada é necessária para garantir a estabilidade das edificações de montante.

O sistema de barreiras flexíveis será implantado junto ao pé do talude para interceptar possíveis novos escorregamentos superficiais, esta solução se impõe devido a rápida implantação e por ser implantada em pequena área, uma vez que não existe espaço livre entre o pé do talude e as edificações.



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

O sistema de drenagem indicado tem como intuito fazer o deságue controlado das águas que se direcionam para o talude que sofreu erosão

A indicação de proteção superficial do talude com geomanta para recuperar a vegetação do local erodido e melhorar o escoamento da água da chuva no talude erodido.

3. NORMAS UTILIZADAS

- Álbum de Projetos – Tipo de dispositivos de drenagem – DNIT - 2ª ed. – IPR 725;
- ABNT NBR 11682:1996 – Estabilidade de encostas;
- ABNT NBR 5629:1996 – Execução de Tirantes Ancorados no Terreno;
- ABNT NBR 6118:2007 - ABNT NBR 8044:1983 – Projeto geotécnico - Procedimento;
- ABNT NBR 6484:2001 – Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT - Metodologia de Ensaio;
- ABNT NBR 8964:2013 – Arames de aço de baixo teor de carbono, revestidos, para gabiões e demais produtos fabricados com malha de dupla torção;
- NBR 13044:2012 – Concreto Projetado: Reconstituição da mistura recém-projetada;
- NBR 13069:2012 – Concreto Projetado: Determinação dos tempos de pega em pasta de cimento Portland, com ou sem utilização de aditivo acelerador de pega;
- NBR 13070:2012 – Moldagem de placas para ensaio de argamassa de concreto projetado;
- NBR 13354:2012 – Concreto Projetado: Determinação do índice de reflexão em placas;
- NBR 13371:2005 – Concreto Projetado: Determinação do índice de reflexão por medição direta;
- DNER-ME 129:94 – Solos - Compactação utilizando amostras não trabalhadas;
- Manual da GEO-RIO.

4. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA

A área de interesse do projeto de proteção e estabilização localiza-se no talude do morro do Floresta e apresenta uma declividade acentuada.

A área interessada foi objeto de levantamento topográfico planialtimétrico e estudos geotécnicos através de furos de sondagem a percussão, para subsídio ao desenvolvimento do projeto de proteção e estabilização. Como resultado desse levantamento topográfico tem



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

o desenho DRM-BBGB-PPP-GER-1-CCA-B001-DE-R0, e as seções transversais mais representativas da área de estudo foram desenvolvidas com base nesse levantamento.

A Figura 2 apresenta o perfil geotécnico do trecho envolvido no processo de instabilização, elaborado a partir dos resultados do levantamento topográfico e das investigações geotécnicas (sondagens).

As sondagens realizadas foram as descritas na Tabela 01.

Tabela 01: Sondagens Geotécnicas.

SONDAGEM	COORDENADAS		COTA	PROFUNDIDADE (m)
	N	E		
SP-01	7.510.068,00	688.888,00	916	12,25
SP-02	7.509.979,00	688.879,00	845	6,25
SP-03	7.510.167,00	688.991,00	977	16,15

Foi também realizada a caracterização geotécnica do maciço terroso existente no local, com recurso à realização de sondagens à percussão. Foram realizadas três sondagens à percussão (SP-01, SP-02 e SP-03), a primeira localizada na porção central do talude, a segunda no pé do talude e a terceira no topo do talude. Os parâmetros adotados nos cálculos através do perfil geotécnico estão na Figura 2.



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

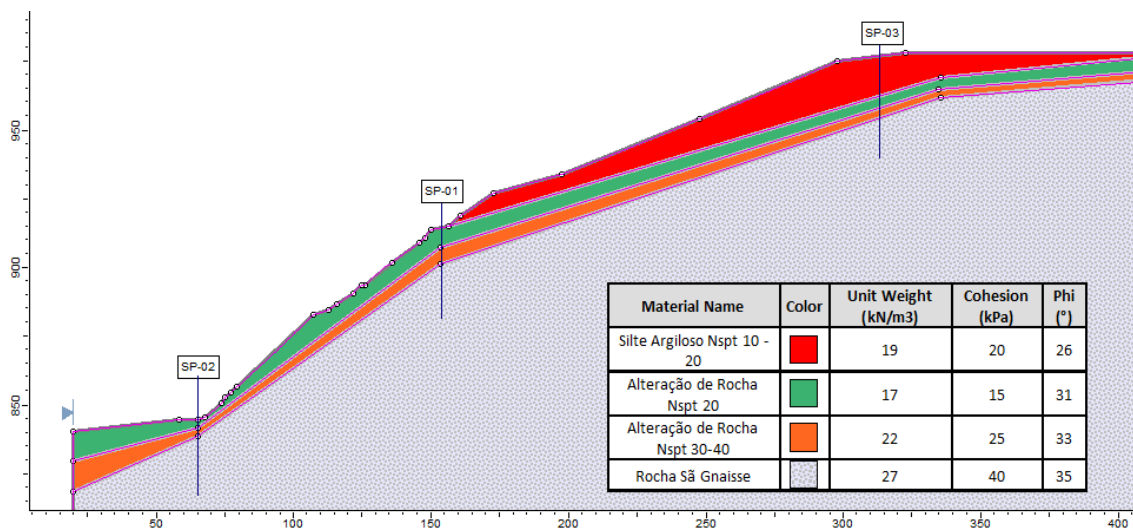


Figura 02: Perfil Geotécnico.

5. ESCOLHA DA SOLUÇÃO

A escolha da solução foi decidida considerando os seguintes aspectos:

- Aspecto econômico;
- Prazo;
- Segurança;
- Aspecto ambiental;
- Interferências;
- Aspectos construtivos.

5.1 Análise de estabilidade

Para a realização dos estudos de análise da estabilidade de taludes, foi definido o modelo geotécnico para a realização da modelação com o programa de cálculo SLIDE 2 da Rocscience. O modelo foi definido com base no levantamento topográfico realizado e nos resultados das sondagens executadas no local.

A primeira análise foi para identificar o Fator de Segurança da condição atual do Talude. A figura a seguir apresenta o resultado da análise e observamos que ocorre ainda uma massa superficial com alguma possibilidade de iniciar o movimento. Porém, grade parte da encosta apresenta fator de segurança entre 1,2 e 1,3 o que é aceitável para encostas naturais, mas



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

não é o ideal para locais que apresentam riscos a vidas humanas, como detalha a NBR11682 em seu item 7.3.7.2 na tabela 3 – Fatores de segurança mínimos para deslizamentos.

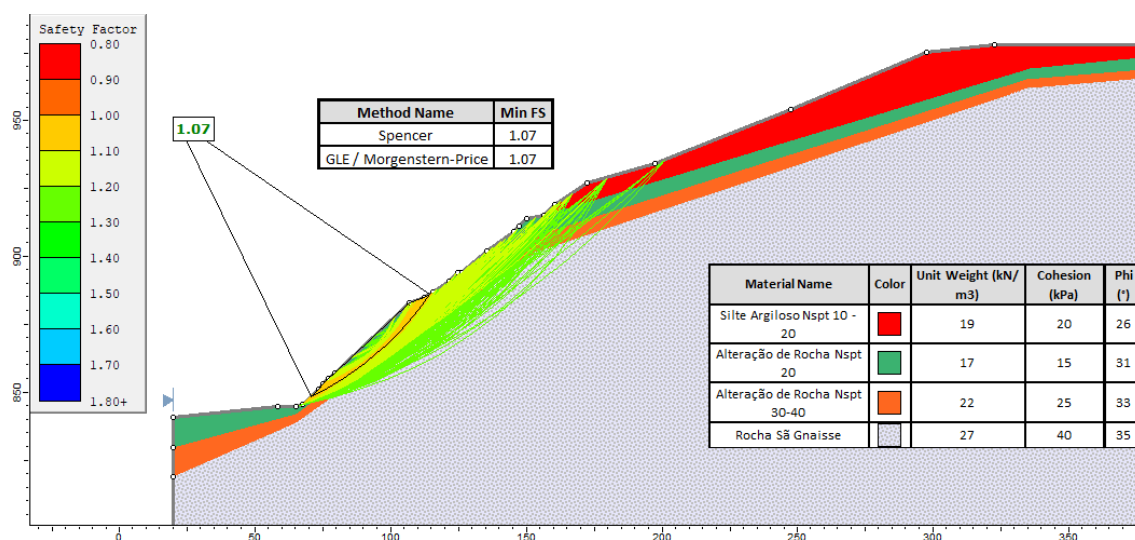


Figura 03: Superfície de ruptura no talude com um fator de segurança.

Assim, como alternativa de solução, primeiro foi feita a simulação de intervenção em todo o talude com uma tecnologia de solo grampeado com face verde. Essa solução é facilmente aplicada a taludes inclinados, sem necessidade de cortes adicionais. A seguir a figura apresenta o resultado da análise.

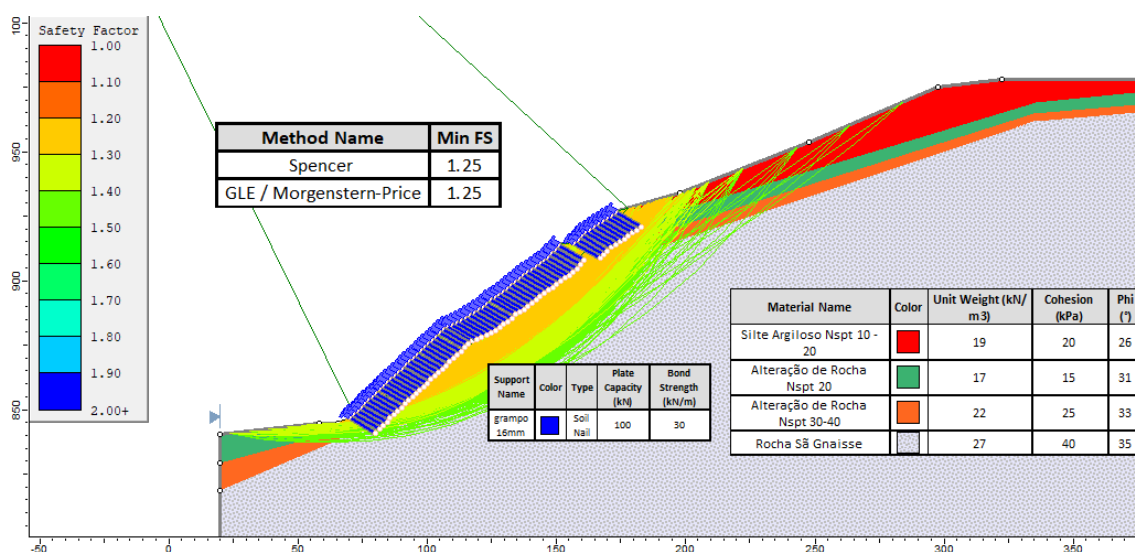


Figura 04: Superfície de ruptura no talude com solo grampeado.



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

Essa alternativa torna-se inviável devido a grande quantidade de perfurações a serem promovidas uma vez que a malha de grampos seria de 2m x 2m, sendo cada grampo uma barra de aço de 12m de comprimento de 16mm de diâmetro. Essa solução além de não atingir um fator de segurança alto, seria muito custosa uma vez que o quantitativo de perfuração seria grande.

Para solucionar esse problema foram posicionadas barreiras de impacto no pé do talude, para retenção da camada de solo superficial com possibilidade de colapso, demonstrada na primeira análise. Este tipo de solução é o mais indicado quando se torna economicamente inviável a estabilização da massa potencialmente instável no seu próprio local, devido à grande extensão envolvida.

Para estabilizar e promover segurança para as edificações na crista do talude que rompeu, a solução proposta foi cortina atirantada ao longo de todo o trecho adjacente as edificações.

A figura a seguir apresenta a análise com a cortina implementada.

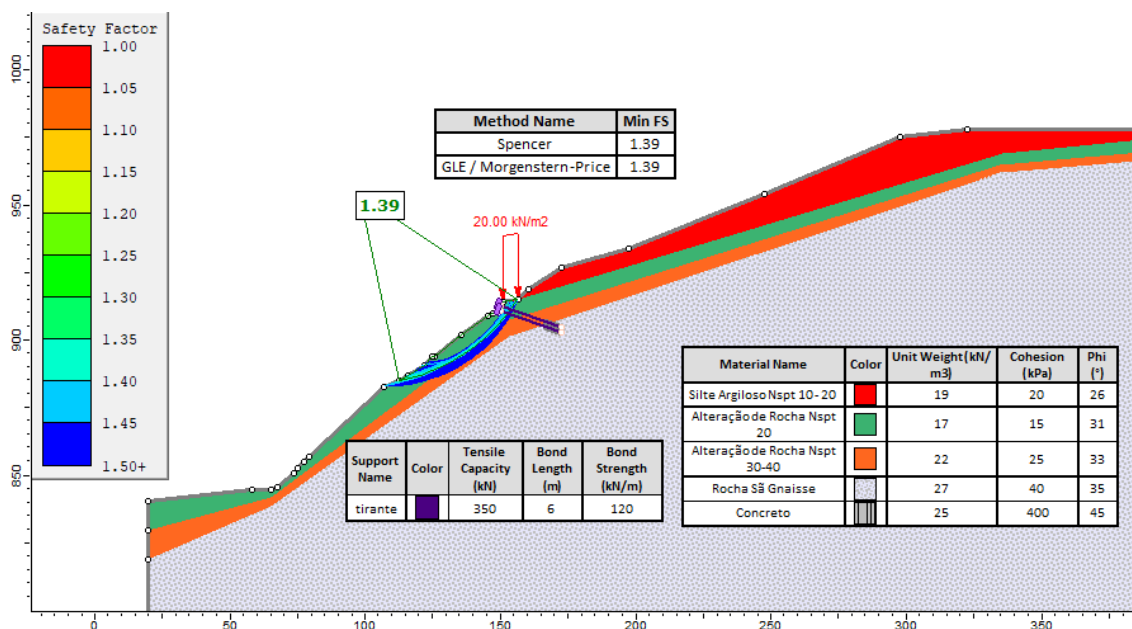


Figura 05: Superfície de ruptura no talude com cortina atirantada.

Para proteger o talude e estrutura do gatilho erosivo, que é a água das chuvas, foi projetado uma drenagem superficial desaguando de forma difusa e dispersa por dispositivos de deságue.



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

O resultado dos cálculos encontra-se detalhado no Anexo 1.

6. SOLUÇÃO PROPOSTA

A solução proposta foi cortina atirantada ao longo de todo o trecho a jusante das edificações na crista do talude que rompeu. Drenagem superficial para minimizar a penetração de água da chuva no terreno. Barreiras de Impacto no pé do talude, para promover de forma mais rápida o retorno da segurança contra deslizamentos superficiais. Além, de promover a proteção do talude exposto com a aplicação de geomanta a fim de retornar a cobertura vegetal do talude.

A seguir as figuras apresentam as soluções propostas.

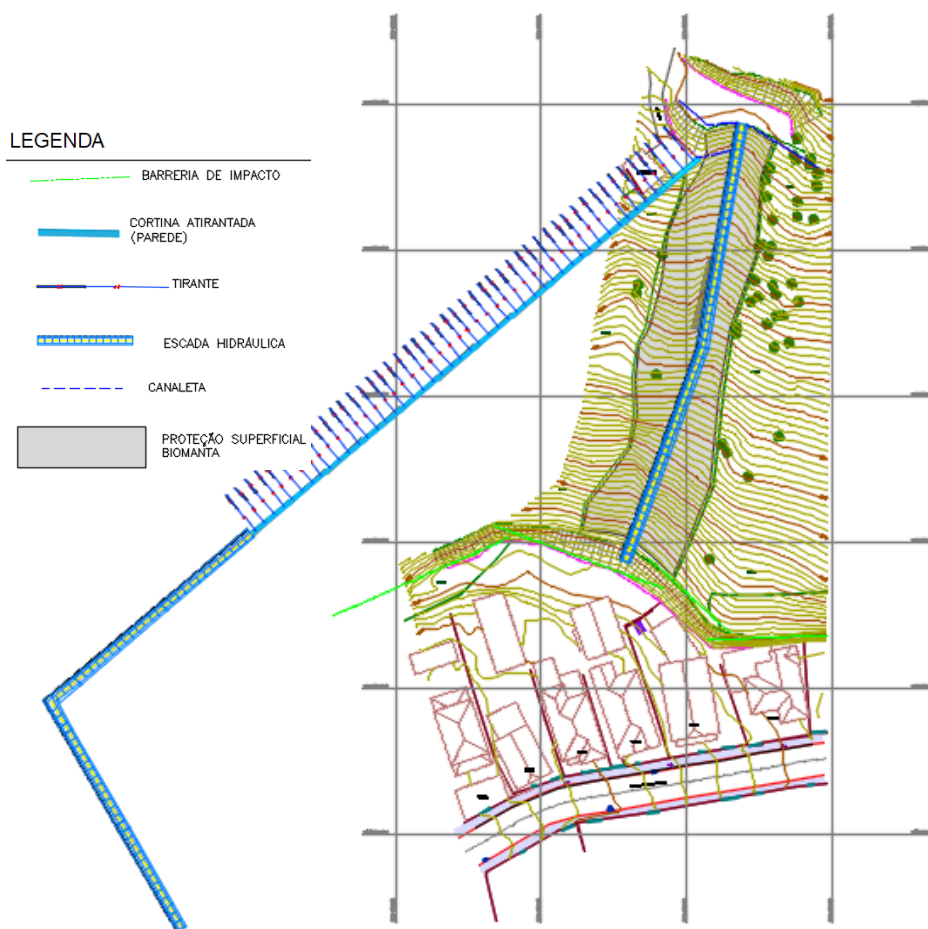


Figura 06: Localização das soluções propostas em planta.



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

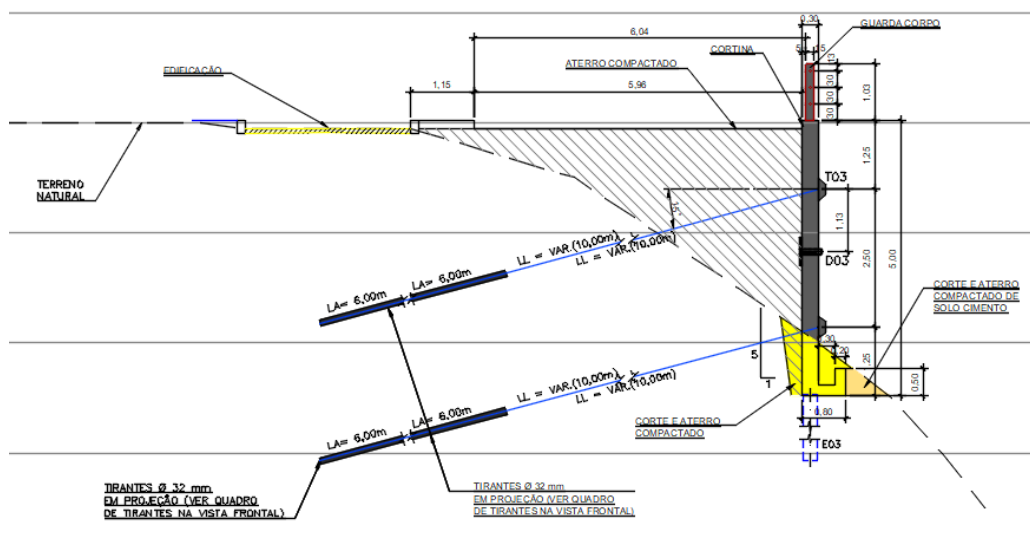


Figura 07: Solução Cortina Atirantada.

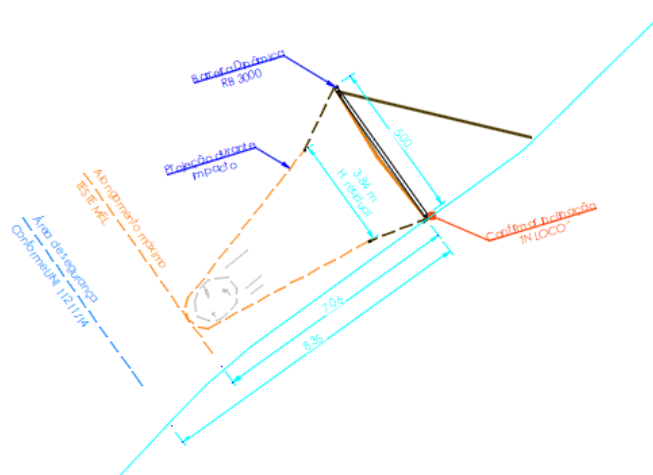


Figura 08: Solução Barreira de Impacto.



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

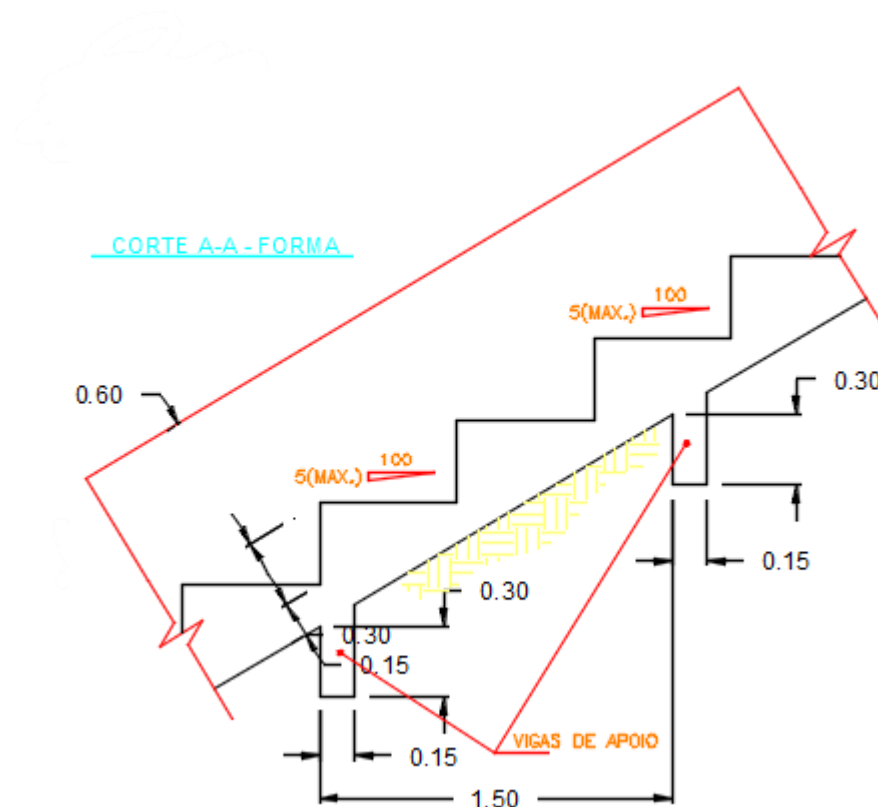


Figura 09: Solução descida em degraus, integrante do sistema de drenagem superficial.

7. QUANTITATIVO

A seguir apresentamos os quantitativos para implantação da solução proposta:

PLANILHA DE SERVIÇOS E QUANTIDADES ESTIMADAS			
ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANTID. ESTIMADA
1.	ESTUDOS, SONDAgens E INSTRUMENTAÇÃO		
1.1	Mobilização equip. sondagem mista até frente de serviço	eq	1
1.2	Instalação equip. sondagem mista em cada pto. incl. plataf.	un	1
1.3	Sondagem mista em solo ou alt. rocha c/ SPT c/metro	m	8
1.4	Sondagem rotativa vertical em rocha no diâmetro N	m	2



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

PLANILHA DE SERVIÇOS E QUANTIDADES ESTIMADAS			
ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANTID. ESTIMADA
1.5	Sondagem rotativa vertical em rocha no diâmetro B	m	2
1.6	Levantamento dados planialtimétricos/cadastrais, p/ est/projs.	vb	1
1.7	Elaboração de estudos/projetos geotec/estrut. de contenção	vb	1
2	OBRAS DE CONTENÇÃO: CORTINA ATIRANTADA		
2.1	Andaime tubular equipado	m³	200
2.2	Plataforma de madeira	m²	100
2.3	Instalação equpto. perfuração drenos/ tirantes/ chumbadores	un	102
2.4	Perfuração p/ drenos/ chumb./ tirantes diâm. até 4" em solo	m	1305,6
2.5	Perf. p/ drenos/ chumb/ tir. até 4" em rocha/ blocos/ matacões	m	326,4
2.6	Fornecimento e instalação tirante carga de trabalho 35tf	m	1632
2.7	Injeção de calda de cimento em tirante e chumbador	sc	2000
2.8	Protensão e ancoragem de tirantes	un	102
2.9	Execução estaca raiz D=200mm carga trab. até 30tf em solo	m	244,8
2.10	Exec. estaca raiz D=200mm carga trab. 30tf rocha/ bl/mat.	m	61,2
2.11	Exec. placa concr. armado incl. forma/ esc/ arm/ concr/ barb.	m²	620
2.12	Meia cana concr pré-mold Ø 50cm encaixada e assente argam.	m	130
2.13	Escavação mecanizada de cavas ou valas em material de 1ª categoria - profundidade até 3,0m.	m³	625
2.14	Compactação de aterro a 98% do Proctor Normal	m³	1375
3	OBRA DE PROTEÇÃO SUPERFICIAL		
3.1	Fornec. aplic. tela vegetal, incl acerto superfície	m²	1600
4	OBRA DE DRENAGEM		
4.1	Meia canaleta retangular 30x30cm.	m	60
4.2	Descida d'água em degraus em concreto armado 80x60cm	m	200



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

PLANILHA DE SERVIÇOS E QUANTIDADES ESTIMADAS			
ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANTID. ESTIMADA
4.3	Caixa passagem / dissipação concreto armado até 80x80x110cm	un	1
4.4	Dispositivo de Deságue 200x70cm	un	2
5	OBRA DE CONTENÇÃO: BARREIRAS DE IMPACTO		
5.1	Fornec. e Impl. Barreira de Impacto RB 3000 - H=5,00	m	120
6	TAXAS DIVERSAS		
6.1	Mobilização instalação equipes/ equiptos em cada frente serv	%	5
6.2	Implantação sistema sinalização viária nos locais de trabalho	vb	1

8. ANEXO 1 – DIMENSIONAMENTO DA CONTENÇÃO

8.1 CORTINA ATIRANTADA

Sondagem representativa

Para a caracterização do local da cortina a sondagem SP-01 é a sondagem representativa.

Análise de estabilidade global

Como demonstrado anteriormente no item 5.1, a cortina atende aos critérios de fator de segurança para o talude.

Dimensionamento do tirante

Para o dimensionamento dos tirantes foi utilizado o método de Culman cujo conceito consiste no equilíbrio de uma cunha de solo que se forma na parte posterior do muro, conforme ilustrado na Figura .



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

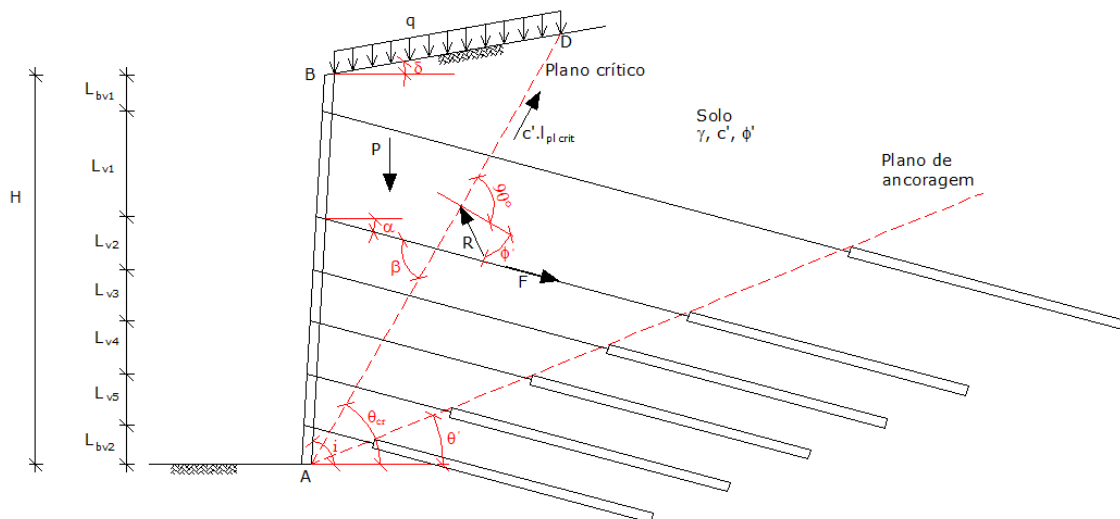


Figura 10 – Método de Culman para estruturas de concreto armado atirantadas.

Simbologia:

α_{cr}	ângulo formado pela horizontal com o plano crítico de deslizamento
α	ângulo formado pela horizontal com um plano qualquer de possível deslizamento
i	inclinação do talude (cortina) com a horizontal
α'	ângulo formado pela horizontal com o plano de ancoragem
β	ângulo formado pela horizontal com o terrapleno adjacente
θ	ângulo formado pelo tirante com a horizontal
θ'	ângulo formado pelos tirantes com o plano crítico de deslizamento
P	peso da cunha mais provável de deslizamento (em caso de sobrecarga, essa será adicionada)
R	reação do maciço terroso sobre a cunha de deslizamento ABD
$l_{pl\ crit}$	comprimento da maior declividade do plano crítico



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

Simbologia:

$c' \cdot l_{pl\ crit}$	força de coesão necessária para manter a cunha de deslizamento ABD em equilíbrio
FS	fator de segurança ao deslizamento
FS_{min}	fator de segurança mínimo, pelo plano de deslizamento
FS_p	fator de segurança obtido com as forças de protensão
F	força de protensão necessária para dar um fator de segurança FS_p de 1,5 à cunha ABD
H	altura da cortina
q	sobrecarga
H_{eq}	altura equivalente para efeitos de cálculo do peso da cunha considerando a sobrecarga

A seguir são apresentadas as fórmulas utilizadas para a determinação do número de linhas horizontais (nh) ou número de tirantes distribuídos na vertical, e na Tabela os resultados obtidos.

- Ângulo do plano crítico de deslizamento:

$$\theta_{crit} = \frac{i + \phi}{2}$$

- Ângulo formado pelos tirantes com a superfície crítica de deslizamento:

$$\beta = \alpha + \theta_{crit}$$

- Coeficiente de segurança referente à superfície crítica de deslizamento com base na geometria da cunha crítica:

$$FS_{min} = \frac{c \cdot l_{plcrit} \cos \phi'}{P \sin(\theta_{crit} - \phi')}$$

- Força de protensão necessária (F):

Considerando $FS=FS_p = 1,5$ o menor fator de segurança possível, de forma a atender aos critérios da NRB 5629 (ABNT 1996):



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

$$\lambda = \frac{FS}{FS_{min}}$$

$$F = \frac{\lambda - 1}{\lambda} \cdot P \cdot \frac{\sin(\theta_{crit} - \phi)}{\cos(\beta - \phi)}$$

- Plano de ancoragem dos tirantes (θ') considerando um fator de segurança de 1,5:

$$K = \frac{2c}{\gamma H} \sin i \cos \phi$$

$$FS = \frac{K}{\sin(i - \theta') \cdot \sin(\theta' - \phi)}$$

O número de tirantes necessários na vertical pode ser determinado a partir da força de protensão necessária para o equilíbrio (F), e da adoção de um espaçamento horizontal entre tirantes para uma determinada carga de trabalho.

Tabela 1 – Determinação do número de tirantes necessários através do Método de Culman.

Cortina	θ_{cr} (°)	θ' (°)	FS _{min}	λ	F (kN/m)	e _h (m)	Tirante adotado		Nº de linhas horizontais (n _h)	
							Φ (mm)	Qw(kN)	Calc.	Adot.
Painel 1	59	28,1	0,01	213,8	128,34	2,50	32	350	2	2
Painel 2	59	28,1	0,01	203,2	111,59	2,50	32	350	2	2
Painel 3	59	28,1	0,01	183,4	82,95	2,50	32	350	2	2

Dimensionamento do bulbo de ancoragem

Para a execução de tirantes ancorados no terreno o comprimento do bulbo de ancoragem deve atender as seguintes condições:

- a. Aderência entre o tirante e a pasta:

$$l_{anc} \geq \frac{10}{3 \cdot \eta} \cdot \frac{f_y}{f_{ck}} \cdot d$$

- b. Aderência entre a pasta e o maciço:



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

$$l_{anc} \geq \frac{T}{\pi \cdot D \cdot \tau_b}$$

Simbologia:

l_{anc}	comprimento de ancoragem do tirante (maior valor dos dois calculados acima)
f_y	tensão de escoamento do tirante
f_{ck}	tensão de ruptura da pasta
α	coeficiente de aderência ($\alpha = 1,6$ para o aço CA-50)
d	diâmetro do tirante
D	diâmetro do cilindro da pasta, no trecho da ancoragem
$T = Q_e$	esforço do teste de tração no tirante (carga de ensaio)
α_b	resistência devido à aderência pasta-rocha ou aderência pasta-solo

Os parâmetros adotados para a definição do comprimento do bulbo de ancoragem para cada um dos painéis são apresentados na Tabela .

Tabela 2 – Cálculo do comprimento de ancoragem.

Painel	T (kN)	D (mm)	d (mm)	α	α_b (MPa)	f_y (MPa)	f_{ck} (MPa)	$L_{calculado}$ (m)	$L_{adotado}$ (m)
1 a 3	612,5	100	32	1,6	0,22	600	20	5,57	6,0

Cálculo da armação da cortina

O dimensionamento estrutural da cortina é realizado com base na teoria das lajes cogumelo, segundo a qual as cargas são distribuídas segundo duas direções ortogonais entre si, tomando-se para cada direção o valor total da referida carga.

Assim, estuda-se cada uma das direções separadamente, decompondo-se em faixas que constituem as áreas de influência de cada linha dos tirantes, como apresentado na Figura . A faixa em estudo assume assim a configuração de uma viga contínua com os tirantes servindo de apoio e a ação do talude de carregamento.



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

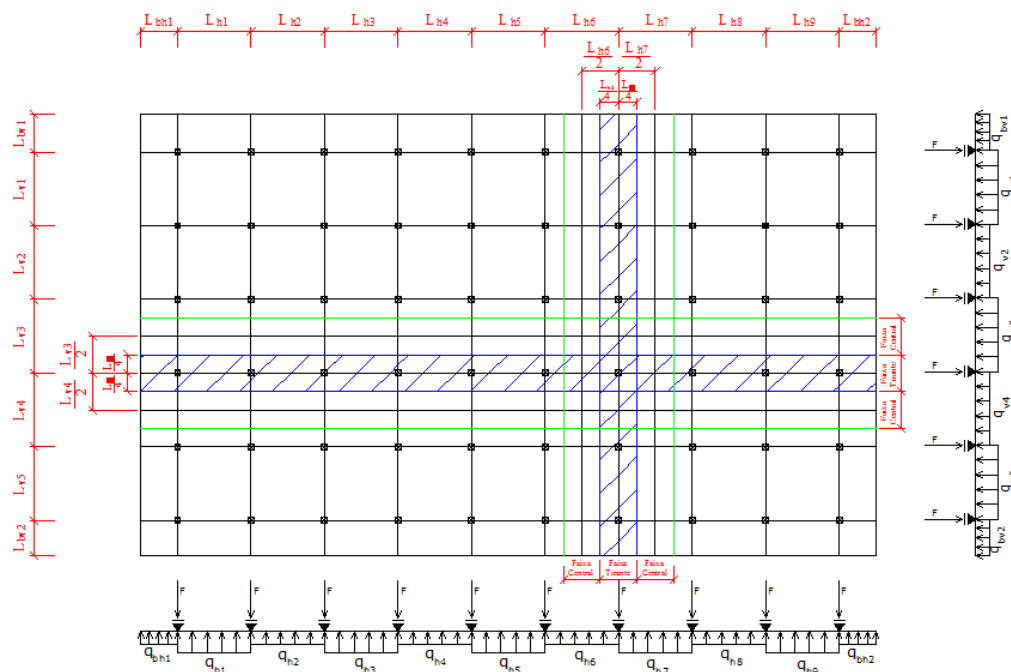
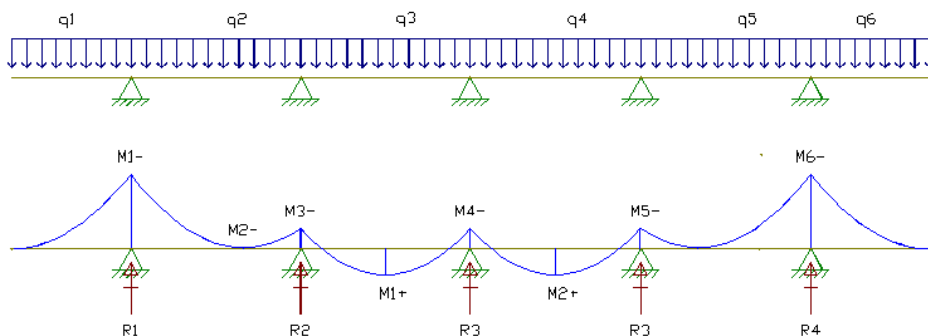


Figura 11 – Modelo para cálculo estrutural da cortina.

Determinação dos esforços atuantes:

Com as cargas obtidas determina-se o diagrama de momentos fletores na direção horizontal e na direção vertical (Figura). O maior momento negativo e o maior momento positivo deverão ser majorados em 40% (aplicando um fator de segurança $\gamma_f=1,4$), conforme a expressão seguinte:

$$M_d = \gamma_f \cdot M$$





Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

Figura 11 – Diagramas de cargas e de momentos fletores.

De acordo com a NBR 6118/2014, os momentos fletores negativos e positivos em ambas as direções deverão ser distribuídos pelas faixas dos tirantes e pela faixa central (entre tirantes) conforme descrito a seguir:

- 45% do momento positivo para a faixa central;
- 27,5% do momento positivo para cada faixa de tirantes (2 faixas $\Rightarrow 2 \times 27,5\% = 55\%$);
- 25% do momento negativo para a faixa central;
- 37,5% do momento negativo para cada faixa de tirantes (2 faixas $\Rightarrow 2 \times 37,5\% = 75\%$).

De acordo com a Figura , a largura de cada uma das faixas (em ambas as direções) é definida como segue:

$$b_{\text{faixa tirantes}} = \frac{l_{n-1}}{4} + \frac{l_n}{4}$$
$$b_{\text{faixa entre tirantes}} = \frac{l_n}{2}$$

Após a majoração dos momentos fletores e da sua distribuição pelas faixas dos tirantes e faixas entre tirantes é realizado o cálculo das armaduras em ambas as direções através da aplicação das expressões seguintes:

$$\mu = \frac{M_d}{f_{cd} \cdot b \cdot d^2} \quad \text{sendo;} \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$
$$A_s = \frac{M_d}{z \cdot f_{syd}} \quad \text{sendo;} \quad f_{syd} = \frac{f_{syk}}{\gamma_s}$$

onde:

f_{ck} – valor característico da resistência do concreto;

f_{cd} – valor de cálculo da resistência do concreto;

f_{syk} – valor característico da resistência do aço;



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

f_{syd} – valor de cálculo da resistência do aço;

γ_c – coeficiente de segurança para a resistência do concreto;

γ_s – coeficiente de segurança para a resistência do aço;

d – altura útil da seção.

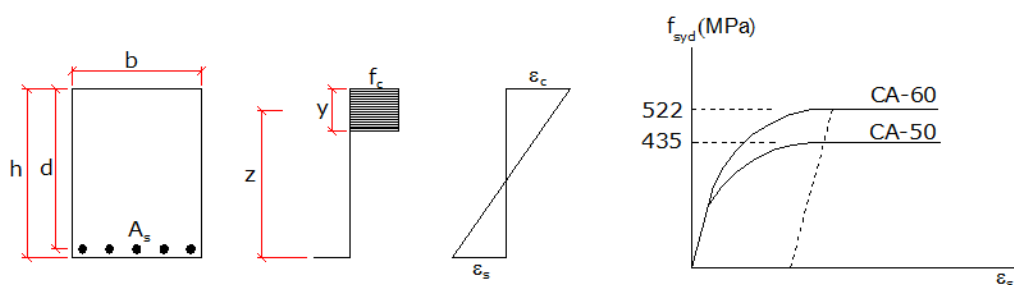


Figura 2 – Variáveis utilizadas no cálculo das armaduras.

A partir do valor de μ obtido entra-se numa tabela de dimensionamento à flexão para obter o valor de z/d , partir do qual é determinado o valor de z a usar, uma vez que d representa a altura útil da seção.

Com base na área de aço calculada, define-se o número de barras necessário e a bitola das mesmas.

A armadura mínima a colocar é determinada através da expressão seguinte:

$$A_{s\min} = \rho_{\min} \cdot b_w \cdot h$$

onde:

ρ_{\min} é a taxa de armadura mínima para a classe de concreto utilizado (Tabela 1);

b_w é a largura da faixa em cálculo;

h é a espessura da cortina.

Tabela 1 – Valores da taxa de armadura mínima em função da classe de concreto (seções retangulares).

f_{ck} (MPa)	20	25	30	35	40	45	50
ρ_{\min} (%)	0,150	0,150	0,173	0,201	0,230	0,259	0,288



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

Cálculo da armadura na direção horizontal

Para o cálculo estrutural na direção horizontal foi adotado o esquema estrutural representado na Figura 3 para os painéis 1. A carga atuante para vão, apresentada na Tabela 2, é determinada pela reação dos apoios sobre o comprimento do vão corrente.

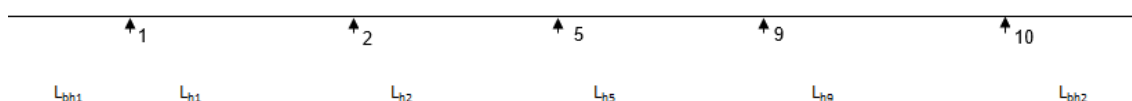


Figura 3 – Esquema estrutural para a direção horizontal – painéis 1.

Tabela 2 - Vãos e cargas atuantes nos painéis para a direção horizontal.

Cortina	L_{bh1} (m)	L_{h1} (m)	L_{h2} (m)	L_{h3} (m)	L_{h5} (m)	L_{h6} (m)	L_{h7} (m)	L_{h8} (m)	L_{h9} (m)	L_{bh2} (m)
Painel 1	1,25	2,50	-	-	2,50	-	-	2,50	1,25	1,00
Cortina	q_{bh1} (kN/m)	q_{h1} (kN/m)	q_{h2} (kN/m)	q_{h3} (kN/m)	q_{h5} (kN/m)	q_{h6} (kN/m)	q_{h7} (kN/m)	q_{h8} (kN/m)	q_{h9} (kN/m)	q_{bh2} (kN/m)
Painel 1	110,00	110,00	-	-	110,00	-	-	110,00	110,00	110,00

As Figuras 15 a 16, apresentam o diagrama de momentos não majorados para cada um dos painéis, considerando-se as linhas de tirantes na vertical como apresentado nas Figuras 15 a 17.

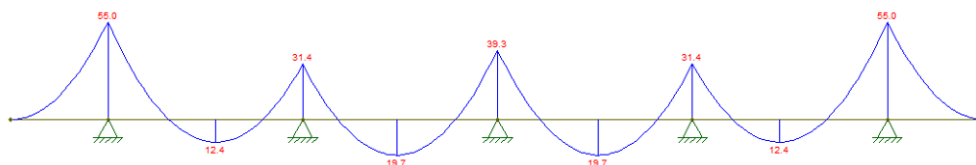


Figura 4 – Diagrama de momentos para a cortina – Painel 1 - direção horizontal.



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

Na Tabela 3 apresenta-se o cálculo da armadura para os painéis da cortina, na direção horizontal.

Tabela 3 – Armadura na direção horizontal.

PAINEL	Momento máximo	Distribuição		b_w	α	z/d	A_s	$A_{s \text{ min}}$	$A_s \text{ colocada}$
	(kN.m/m)	(m)	kN.m/m	(m)			(cm ²)	(cm ²)	(cm ²)
Painel 1	$X_d = -77,00$ (Face interna-apoio)	F. central 25%	19,25	1,00	0,021	0,974	2,19	4,33	Ø10,0 - c10cm
		F. tirantes 75%	57,75	1,00	0,063	0,955	6,74	4,33	Ø10,0 - c10cm
	$M_d = 27,58$ (Face externa-vão)	F. central 45%	12,41	1,00	0,013	0,980	1,40	4,33	Ø10,0 - c15cm
		F. tirantes 55%	15,17	1,00	0,016	0,977	1,72	4,33	Ø10,0 - c15cm
	(Face externa-vão)	F. tirantes 55%	11,24	1,00	0,016	0,977	1,27	3,41	Ø10,0 - c15cm

Cálculo da armadura na direção vertical

Para o cálculo estrutural na direção vertical foi adotado o esquema estrutural representado na Figura 5 para os painel 1. A carga atuante para cada vão, apresentada na Tabela 4 - Vãos e cargas atuantes nos painéis para a direção vertical.

Cortina	L_{bv2} (m)	L_{v5} (m)	L_{bv3} (m)	L_{bv1} (m)	L_{bv1} (m)
Painel 1	0,90	2,15	2,15	-	0,90
Painel 1	0,90	1,97	1,97	-	0,90
Cortina	q_{bv2} (kN/m)	q_{v5} (kN/m)	q_{v3} (kN/m)	q_{v1} (kN/m)	q_{bv1} (kN/m)
Painel 1	111,4	106,7	106,7	-	111,4
Painel 1	116,7	114,1	114,1	-	116,7

, é determinada pela reação dos apoios sobre o comprimento do vão corrente.



Governo do Estado do Rio de Janeiro
 Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
 Instituto Estadual do Ambiente - INEA
 Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

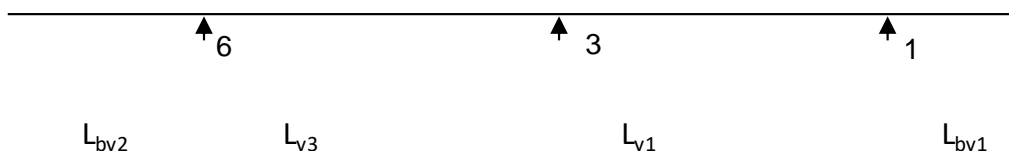


Figura 5 – Esquema estrutural para a direção vertical – painéis 1, 2 e 3.

Tabela 4 - Vãos e cargas atuantes nos painéis para a direção vertical.

Cortina	L_{bv2} (m)	L_{v5} (m)	L_{bv3} (m)	L_{bv1} (m)	L_{bv1} (m)
Painel 1	0,90	2,15	2,15	-	0,90
Painel 1	0,90	1,97	1,97	-	0,90
Cortina	q_{bv2} (kN/m)	q_{v5} (kN/m)	q_{v3} (kN/m)	q_{v1} (kN/m)	q_{bv1} (kN/m)
Painel 1	111,4	106,7	106,7	-	111,4
Painel 1	116,7	114,1	114,1	-	116,7

As Figuras 25 a 27, apresentam os diagramas de momentos não majorados para os três painéis da cortina, respectivamente, considerando-se as linhas de tirantes na horizontal como apresentado nas Figuras 21 e 22.

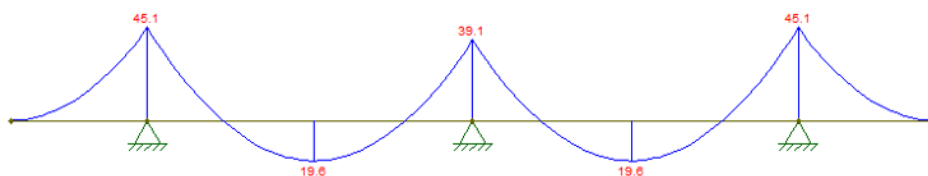


Figura 6 – Diagrama de momentos para a cortina – Painel 1 - direção vertical.

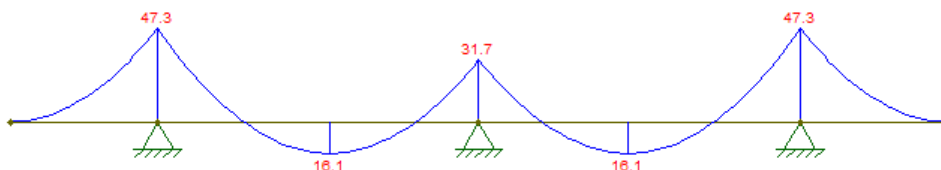


Figura 7 – Diagrama de momentos para a cortina – Painel 1 - direção vertical.



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

Na Tabela 5 apresenta-se o cálculo da armadura para os três painéis, na direção vertical.

Tabela 5 - Armadura na direção vertical.

Painel	Momento máximo	Distribuição		b _w	□	z/d	A _s	A _{s min}	A _{s colocada}
	(kN.m/m)	(m)	kN.m/m	(m)			(cm ²)	(cm ²)	(cm ²)
Painel 1	X _d =-66,22	F. central 25%	16,56	1,00	0,018	0,977	1,88	4,65	Ø10 - c15cm
	(Face interna-apoio)	F. tirantes 75%	49,67	1,00	0,055	0,958	5,77	4,65	Ø10 - c15cm + 7 Ø10
		F. central 45%	12,35	1,00	0,014	0,980	1,40	4,65	Ø10 - c15cm
	M _d =27,44	F. tirantes 55%	15,09	1,00	0,017	0,977	1,71	4,65	Ø10 - c15cm

Dimensionamento da armadura de fretagem

Para o dimensionamento da cortina atirantada foram utilizados tirantes com carga de ensaio de 612,5 kN. Desse modo, a seguir calcula-se a armadura de fretagem necessária, longitudinal e transversal, para os tirantes utilizados.

A armadura longitudinal é disposta paralelamente ao eixo do tirante e é determinada através da expressão:

$$A_s = \frac{\gamma_f \cdot T}{f_{syd}}$$

Sendo □f o coeficiente de majoração da carga, f_{syd} a resistência de cálculo do aço e o T obtido através da expressão seguinte:

$$T = 0.3 \cdot F_{co} = 0.3 \cdot Q_e$$



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

Para a armadura longitudinal necessária para os tirantes, com carga de ensaio $Q_e=612,5$ kN, tem-se:

$$T=0,3 \times F_{co}=0,3 \times Q_e=183,75 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{\gamma_f \cdot T}{f_{syd}} = \frac{1,4 \cdot 183,50}{500/1,15} = 3,72 \text{ cm}^2 \rightarrow 6\phi 10,0 \text{ mm com } 20 \text{ cm}$$

A armadura transversal é uma armadura helicoidal, cujo comprimento depende do diâmetro do furo e do passo considerado para ela.

Para a determinação da armadura transversal foi considerado um furo com 20 cm de diâmetro e um passo da armadura de 5 cm. Adotou-se uma armadura helicoidal com diâmetro de 6,3 mm e comprimento de 320 cm.

Verificação ao puncionamento

O modelo de cálculo ao puncionamento corresponde à verificação ao cisalhamento em duas ou mais superfícies críticas definidas no entorno de forças concentradas.

A primeira superfície crítica da carga concentrada (contorno C) foi verificada diretamente à tensão de compressão diagonal do concreto, através da tensão de cisalhamento. A segunda superfície crítica afastada $2d$ da carga concentrada (contorno C') foi verificada à capacidade de ligação à punção, associada à resistência à tração diagonal. Essa verificação também se faz através de uma tensão de cisalhamento, no contorno C'.

A tensão solicitante na superfície crítica C e na superfície C' é determinada através da expressão:

$$v_{atuante} = \frac{\gamma_f \cdot Q_w}{u \cdot d}$$

onde:

γ_f – coeficiente de majoração da carga dos tirantes;

Q_w – carga de trabalho dos tirantes;

u – perímetro crítico da superfície;

d – Altura útil da cortina.



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

$$V_{atuante} \leq V_{admissivel}$$

Sendo, para o contorno C:

$$V_{admissivel} = 0.27 \cdot \alpha_v \cdot f_{cd} = 0.27 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot f_{cd} \quad \text{com } f_{ck} \text{ e } f_{cd} \text{ em MPa}$$

e, para o contorno C':

$$V_{admissivel} = 0.13 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{20}{d}}\right) \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{1/3} \quad \text{com } d \text{ em cm e } f_{ck} \text{ em MPa}$$

onde ρ representa a taxa geométrica de armadura de flexão aderente.

Assim, apresenta-se a verificação ao puncionamento para cada painel, onde a espessura da cortina na zona dos tirantes é igual a 0,25 m e o recobrimento das armaduras de 4,5 cm, sendo a altura útil, d, é igual a 0,21 m e considerou-se que a carga dos tirantes é aplicada sobre uma placa de aço com as dimensões 0,20 m x 0,20 m x 0,02 m.

Para a superfície C (perímetro crítico u=0,80 m):

Tensão atuante = 2253,66 kPa

Tensão admissível = 5091,43 kPa

$V_{atuante} \leq V_{admissivel}$, portanto verifica-se a resistência ao puncionamento para o contorno C.

Para a superfície C' (perímetro crítico u=3,38 m):

Tensão atuante = 534,03 kPa

Tensão admissível = 562,90 kPa

$V_{atuante} \leq V_{admissivel}$, portanto verifica-se a resistência ao puncionamento para o contorno C'.

Dimensionamento das estacas tipo raiz

Dimensionamento geotécnico das estacas



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

O dimensionamento geotécnico das estacas tipo raiz foi estimado conforme perfil próximo.

Dimensionamento estrutural das estacas

As estacas foram dimensionadas à flexo-compressão, considerando as cargas verticais de compressão e os momentos correspondem à ação da carga axial com uma excentricidade equivalente a 10% do diâmetro nominal da estaca.

No dimensionamento estrutural das estacas foram considerados:

Argamassa:

Resistência característica, $f_{ck}=20$ MPa

Fator de redução, $\gamma_c = 1,6$

Resistência de Cálculo, $f_{cd} = 12.500$ kPa

Módulo de Elasticidade, $E = 21.287,37$ MPa

Aço, CA50:

Resistência característica, $f_y = 500$ MPa

Fator de redução, $\gamma_s = 1,15$

Resistência de Cálculo, $f_{yd} = 420.000$ kPa

Módulo de Elasticidade, $E_s = 210.000$ MPa

Tipo de estaca, Raiz

Diâmetro da seção, $d_b = 16,8$ cm (Estaca de 20 cm)

Diâmetro da armadura, $d_a = 12,0$ cm

Área da seção, $A = 221,67$ cm²

Cargas:

Fator de majoração das cargas, $\gamma_f = 1,4$

Força Normal, $N = 252,0$ kN



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

Força Normal de Cálculo, $N_d = 352,8 \text{ kN}$

Momento Fletor, $M = 4,2 \text{ kNm}$

Momento Fletor de Cálculo, $M_d = 5,9 \text{ kNm}$

$$A_s = \frac{N_d \times (1 + 6/h) - 0,85 \times A \times f_{cd}}{f_{yd}}$$

Compressão Simples

Área de aço para compressão simples, $A_s = 5,79 \text{ cm}^2$

Área de aço mínima, $A_{s \text{ mín}} = 1,11 \text{ cm}^2$

Área de aço máxima, $A_{s \text{ máx}} = 13,30 \text{ cm}^2$

Área de aço transversal mínima, $A_{s \text{ mín}} = 2,35 \text{ cm}^2/\text{m}$

8.2 BARREIRA DE IMPACTO

O projeto de uma barreira de impacto depende do volume de detritos e da granulometria do material em movimento, do ângulo de deposição, da trajetória do material escorregado e da força ou energia de impacto.

A fatia mais crítica da superfície de ruptura tem as seguintes características:

Data Type	Value
Slice Weight (kN)	120.155
Base Normal Force (kN)	92.811
Base Normal Stress (kPa)	72.7405

A força de impacto F na estrutura pode ser calculada por: $F = A \cdot \gamma \cdot v^2/g$.

$F = 5 \times 17 \times 5^2 / 9,81 = 216 \text{ kN}$ de uma fatia

9. ANEXO 2 – MEMÓRIA DE CÁLCULO DE DRENAGEM

9.1 CÁLCULOS HIDROLÓGICOS

O dimensionamento hidráulico foi determinado para uma chuva recorrente de 25 anos.



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

a) Tempo de concentração inicial

O tempo de concentração inicial foi calculado pela fórmula de Georges Ribeiro.

Sendo:

$$t_c = \frac{16 \times L_1}{(1,05 - p)(100 \times S)^{0,04}}$$

t_C=Tempo de concentração em (min.)

L₁=Caminho percorrido pela gota mais remota no talvegue (km)

p=Percentagem decimal de cobertura vegetal

S = Declividade (m/m).

DADOS ÁREA 1	
L ₁ (km)	0,131
p	0,9
S (m/m)	0,81

Assim, o tempo de concentração inicial (t_c) para foi de 12min.

b) Chuva Máxima

A precipitação máxima foi calculada pela fórmula do método racional. Sendo:

$$Q_{\max} = \frac{C \cdot i_{\max} \cdot A}{360}$$

Q_{max} = vazão máxima no ponto de concentração (m³/s)

C = coeficiente de "run-off" (nesse projeto foi utilizado C=0,4 para áreas de gramado íngreme)

i_{max} = intensidade de chuva (mm/h)

A = área de contribuição (ha)



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

DADOS ÁREA 1	
C	0,4
i _{max} (mm/h)	149
A(ha)	0,72
n° canaletas	3

Segundo os cálculos e parâmetros utilizados a vazão máxima é de:

Área 1: 119 l/s, e a vazão máxima média em cada canaleta é de 40 l/s.

9.2 CÁLCULOS HIDRÁULICOS

a) Dimensionamento Canaletas - Retangulares

Utilizou-se a fórmula de Manning

$$v = \frac{R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}}{\eta}$$

onde:

R = raio hidráulico (m)= Área molhada (m²) / Perímetro molhado (m)

S = declividade (m/m)

η = coeficiente de Manning:

η = 0,015 para canais retangulares

Parâmetros de projeto:

Velocidade (*v*):

1 m/s < *v* < 4 m/s.

Enchimento (e):

e < 90% para canaletas retangulares.



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

A planilha de cálculos hidráulicos encontra-se abaixo.

DIMENSÕES CANAL - SEÇÃO RETANGULAR													
BASE (m)	ALTURA (m)	n	ÁREA (m ²)	PERÍM. (m)	Rh (m)	DECLIV. (m/m)	Q _{max} CANAL (m ³ /s)	STATUS VAZÃO	VEL. (m/s)	H _c (m)	REGIME	FOLGA (cm)	STATUS ALTURA
0,3	0,3	0,015	0,09	0,9	0,10	0,005	0,09	2,54702E-13 ok ≥ 1,9x10 ⁻¹³	1,02	0,21	SUBCRÍTICO	9	OK

Assim, a dimensão das canaletas será de 30x30cm.

b) Dimensionamento Canaletas Transversais de Descida (Escada)

Utilizou-se um método empírico em que, fixada a largura (L), define-se a altura do canal (H) e partir da seguinte expressão (DNER, 1990):

$$Q = 2,07 L^{0,9} H^{1,6}$$

onde,

Q = vazão de projeto a ser conduzida pela canaleta (m³/s)

L = largura da canaleta (m)

H = altura média das paredes laterais (m)

BASE (m)		Q (m ³ /s)
0,8	0,8	1,18
0,6	0,6	0,58
0,4	0,4	0,21

Assim, as dimensões das canaletas transversais de descida serão de 60x60cm.

c) Dimensionamento Caixas de Passagem

Utilizou-se a fórmula (DNER, 1990):

$$A = 0,226 \frac{Q}{c\sqrt{H}}$$



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

Onde,

A = área (m²)

c = coeficiente de vazão (0,6)

H = altura do fluxo (m)

Q = vazão de projeto que chega à caixa de passagem

ÁREA	A (m)	B (m)	ÁREA (m ²)	COEF. DE VAZÃO (c)	Q (m ³ /s)	ALTURA DO FLUXO (cm)
1	0,8	0,8	0,6	0,6	0,12	0,49

Assim, as dimensões das caixas de passagem serão de 80 x 80 x 80cm.