2.4.4 袖形状

(1) 袖形状

SABO マニュアルに準拠し、袖天端の幅は水通し天端幅と同一とし、袖天端の勾配は現河床勾配に準拠して L=3.0m、H=1.0m とした。

(2) 両岸斜面へのかん入

ボーリング調査結果から、提体基礎は砂礫と判断し、測量成果に基づき提体のかん入深が確保される形状を設定した。

(3) 安定計算

袖部の安定計算は、礫の衝撃力と流木の衝撃力の大きい方に、土石流流体力を加えた荷重を考慮して検討する。袖部の検討に用いる設計外力は以下のとおりである。

- 袖部の自重
- 土石流流体力
- 礫もしくは流木の衝撃力

a) 安定性評価を行うブロックの設定

安定性の評価を行うブロックは、打設範囲を考慮した袖ブロックに分割し、右岸側は R1 と R2 の 2 ブロック、左岸側は L1 と L2 の 2 ブロックをそれぞれ設定した。ブロックの設定結果を以下に示す。

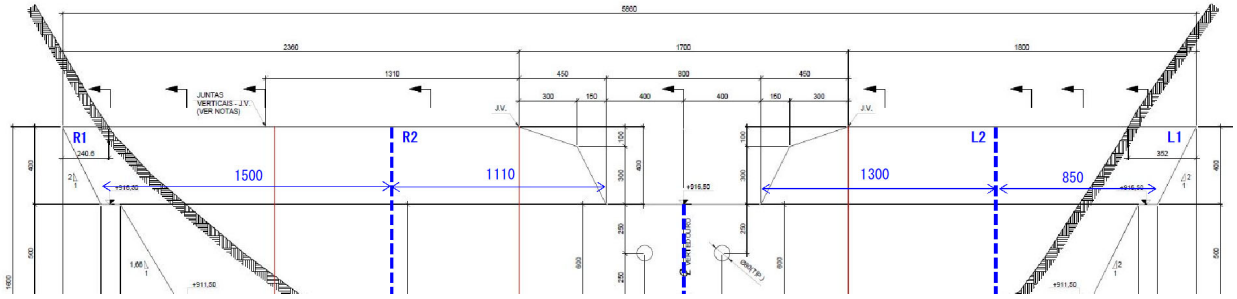


図 2.4.8 袖部の安定計算位置

出典：砂防プロジェクトにて作成

b) 安定計算結果

安定計算の結果、各ブロックとも安定条件を満足することが確認されたため、袖部の補強は不要と判断した。各ブロックの安定計算結果を以下に示す。

表 2.4.1 袖部の安定計算結果一覧

	R1 ブロック	R2 ブロック	L2 ブロック	L1 ブロック
袖の自重（kN/m）	276.00	241.50	241.50	276.00
礫の衝撃力（kN/m）	230.68	340.26	291.98	372.36
流木の衝撃力（kN/m）	55.75	85.58	78.89	93.33
土石流流体力（kN/m）	6.13	6.13	6.13	6.13
滑動安全率（n>4）	33.25	22.66	26.33	20.80
許容圧縮応力（kN/m^2） σ´ca < 5850	207.92	251.16	227.01	279.68
許容曲げ引張応力（kN/m^2) σca > -337.5	-23.92	-90.16	-66.01	-95.68

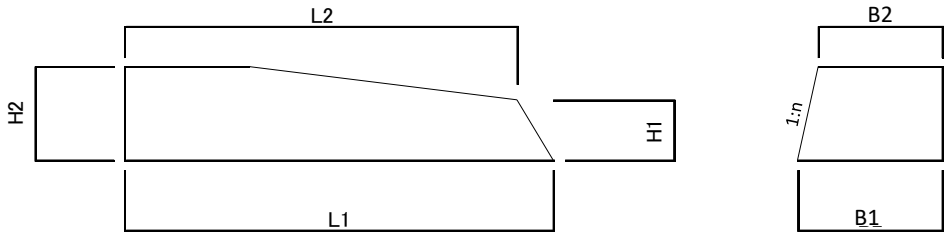
出典：砂防プロジェクトにて作成

計算結果の抜粋として R2 ブロックの計算結果を以下に示す。

袖部の計算

ブロック番号 R2

記号	項目	単位	値	
	袖部の形状			
B1	袖底幅	m	3.00	
B2	袖天端幅	m	3.00	
L1	袖底長	m	11.10	
L2	袖上部斜長	m	9.60	
H1	袖高	m	3.00	
H2	袖高	m	4.00	
1:n	袖部の下流法勾配		1:0.00	
	基本条件			
π	円周率		3.14	
g	重力加速度	m/s^2	9.81	
n	滑動に対する安全率		4.0	
	コンクリートの諸元			
E1	コンクリートの終局強度 割線弾性係数	N/㎡	2.55	×10^9
ν1	コンクリートのポアソン比		0.194	
We	コンクリートの単位体積重量	kN/m^2	23	
τc	コンクリートの許容せん断応力度	kN/m^2	2560	
f	コンクリートの摩擦係数		0.7	
σ´ca	コンクリートの許容圧縮応力度	kN/m^2	3900	
	[1.5:短期割増]		5850	
σca	コンクリートの許容曲げ引張応力度	kN/m^2	225	
	[1.5:短期割増]		337.5	
	土石流の諸元			
U	土石流の流速	m/s	2.9	
F	土石流流体力	kN	6.13	
Dd	土石流水深	m	0.37	
Bd	土石流の平均流下幅	m	23.0	
	礫の諸元			
R	礫の半径	m	0.75	
E2	礫の弾性係数	N/㎡	49.05	×10^9
ν2	礫のポアソン比		0.23	
σ	礫の密度	kg/m^3	2550	
	流木の諸元			
Hwm	上流から流出する立木の最大樹高	m	10.0	
Rwm	上流の立木の最大胸高直径	m	0.50	
E3	流木の弾性係数	N/㎡	7.35	×10^9
ν3	流木のポアソン比		0.4	
ρR	流木の密度	kg/m^3	330	



出典：砂防プロジェクトにて作成

1.礫の衝撃力(P1)の算出

礫の衝突による衝撃力
(袖部コンクリートの単位幅当たりに作用する衝撃力)

(1)コンクリートの質量

平均高さ	H=	3.50	m
平均長さ	L=	10.35	m
天端幅(平均)	B=	3.00	m
コンクリートの単位体積重量	We=	23.00	kN/m^2
重力加速度	g=	9.81	m/s^2

コンクリートの質量

m_1= H×L×B×We×1000/g= 3.50×10.35×3.00×23.00×1000/9.81
= 254793.58 kg

(2) 礫の質量

円周率	π=	3.14	
礫の単位体積重量	σ=	2550	kN/m^3
礫の半径	R=	0.75	m

礫の重量

m_2= 4/3・π・R^3・σ= 4/3×3.14×0.750^3×2,550
= 4504 kg

(3) 必要係数の算出

コンクリートの終局強度割線弾性係数	E_1=	2.550	×10^9N/㎡
コンクリートのポアソン比	ν_1=	0.194	
礫の弾性係数	E_2=	49.1	×10^9N/㎡
礫のポアソン比	ν_2=	0.23	
礫の速度(土石流の流速に等しい)	V=	2.90	m/s
礫の衝突速度による補正係数	β		

マスコンクリートに礫が衝突した場合、衝突速度が大きくなるとマスコンクリートに作用する衝撃力は小さくなることが知られているので、前途の衝撃力Pを下図に従って実際に袖部のコンクリートに作用する衝撃力を計算する。

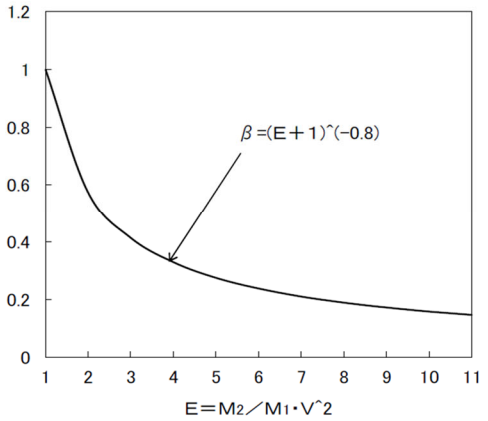


図 礫の衝突速度と衝撃力の補正係数

水山、伊巻:砂防ダムに対する土石流衝撃力実験、土木技術資料 Vol22-No11

$$E=\frac{m_2}{m_1} \times V^2 = \frac{4,504}{254,793.58} \times 2.90\hat{}2 = 0.149$$

$$\beta = (E+1)^{-0.8} = (0.149+1.00)\hat{}-0.8 = 0.895$$

$$n_1=\frac{1}{m_2} = \frac{1}{4,504} = 0.00022$$

$$K_1=\frac{1-\nu_1{}^2}{\pi E_1} = \frac{1-0.194\hat{}2}{3.14\times 2.550\times 10\hat{}9} = 1.20 \times 10\hat{}-10$$

$$K_2=\frac{1-\nu_2{}^2}{\pi E_2} = \frac{1-0.23\hat{}2}{3.14\times 49.1\times 10\hat{}9} = 6.15 \times 10\hat{}-12$$

$$n=\sqrt{\frac{16R}{9\pi^2\cdot(K_1+K_2)^2}} = \sqrt{\frac{16\times 0.75}{9\times 3.14\hat{}2\times(1.20\times 10\hat{}-10+6.15\times 10\hat{}-12)\hat{}2}} = 2.92 \times 10\hat{}9$$

$$\alpha = \left(\frac{5V^2}{4n_1\cdot n}\right)^{2/5}=\left(\frac{5\times 2.90\hat{}2}{4\times 0.00022\times 2.92\times 10\hat{}9}\right)\hat{}^{2/5}= 1.22 \times 10\hat{}-2$$

$$P= \beta\cdot n\cdot \alpha^{3/2} = 0.90\times 2.92\times 10\hat{}9\times(1.22\times 10\hat{}-2)\hat{}(3/2) = 3,521,645 \quad N= 3,521.65kN$$

従って、単位幅あたりの衝撃力は次式により、P1=340.26kN/mとなる。

P1 =P/B　3,521.65kN/10.35m = 340.26 kN/m

2.流木の衝撃力(P2)の算出

流木の衝突による衝撃力
(袖部コンクリートの単位幅当たりに作用する衝撃力)

(1) 流木の最大長、最大直径の算出
流木の最大長(L_{wm})は、次式により算定する。

$H_{wm} \geqq 1.3B_d$ の場合　$L_{wm} \fallingdotseq 1.3B_d$
$H_{wm} < 1.3B_d$ の場合　$L_{wm} \fallingdotseq H_{wm}$

Lwm：流木の最大長(m)
Hwm：上流から流出する立木の最大樹高(m) = 10.0 m
Bd ：土石流の平均流下幅 = 23.0 m
（土石流発生時に侵食が予想される平均渓床幅)(m)

H_{wm}= 10m < 1.3Bd= 1.3×23.0 = 29.9 m
よって、L_{wm}= 10 = 10 m

また、流木の最大直径(R_{wm})は上流域において流木となると予想される立木の最大胸高直径とほぼ等しいとして推定する

よって、R_{wm}= 0.5 m

(2) 流木の質量

円周率	π =	3.14
流木の最大直径	R_{wm}=	0.5 m
流木の最大半径	R=	0.25 m
流木の最大長	L_{wm}=	10 m
流木の密度	σ_R=	330 kg/m^3

流木の質量

$m_3 = \pi \cdot R^2 \cdot L_{wm} \cdot \rho_R =$ 3.14×0.25^2×10.0×330

= 648 kg

(3) 必要係数の算出

コンクリートの終局強度割線弾性係数	E_1=	2.550 ×10^9N/㎡
コンクリートのポアソン比	ν_1=	0.194
コンクリートの質量	m_1=	254,793.58 kg
流木の弾性係数	E_3=	7.35 ×10^9N/㎡
流木のポアソン比	ν_3=	0.4
流木の流速(土石流の流速に等しい)	V=	2.90 m/s
礫の衝突速度による補正係数	β	

$$E = \frac{m_3}{m_1} \times V^2 = \frac{648}{254{,}793.58} \times 2.90\text{^}2 = 0.021$$

$$\beta = (E+1)^{-0.8} = (0.021+1.00)\text{^}-0.8 = 0.983$$

$$n_1 = \frac{1}{m_3} = \frac{1}{648} = 0.00154$$

$$K_1 = \frac{1-\nu_1^2}{\pi E_1} = \frac{1-0.194\text{^}2}{3.14 \times 2.550 \times 10\text{^}9} = 1.2 \times 10\text{^}-10$$

$$K_2 = \frac{1-\nu_3^2}{\pi E_3} = \frac{1-0.40\text{^}2}{3.14 \times 7.4 \times 10\text{^}9} = 0.36 \times 10\text{^}-10$$

$$n = \sqrt{\frac{16R}{9\pi^2 \cdot (K_1+K_2)^2}} = \sqrt{\frac{16 \times 0.25}{9 \times 3.14\text{^}2 \times (1.20 \times 10\text{^}-10+0.36 \times 10\text{^}-12)\text{^}2}} = 13.60 \times 10\text{^}8$$

$$\alpha = \left(\frac{5V^2}{4n_1 \cdot n}\right)^{2/5} = \left(\frac{5 \times 2.90\text{^}2}{4 \times 0.00154 \times 13.60 \times 10\text{^}8}\right)\text{^}2/5 = 0.76 \times 10\text{^}-2$$

$P = \beta \cdot n \cdot \alpha^{3/2} =$ .983×13.60×10^8×(0.76×10^-2)^(3/2) = 885,750 N= 885.75kN

従って、単位幅あたりの衝撃力は次式により、P2=85.58kN/mとなる。

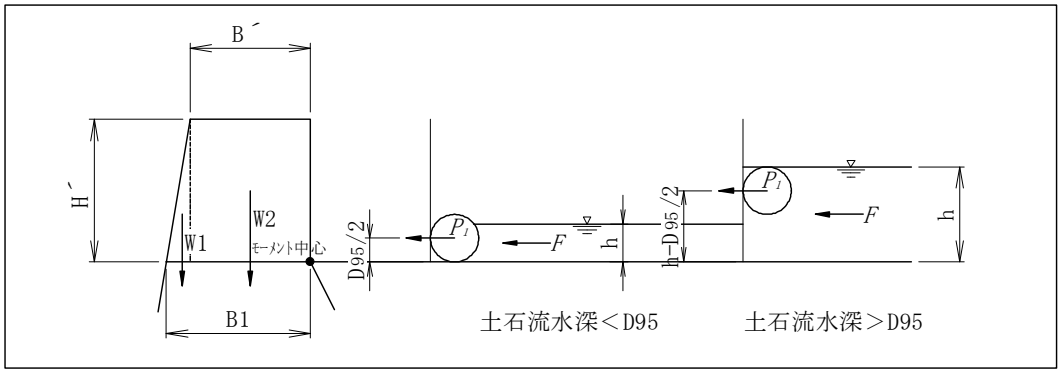
P2 =P/B 885.75kN/10.35m = 85.58 kN/m

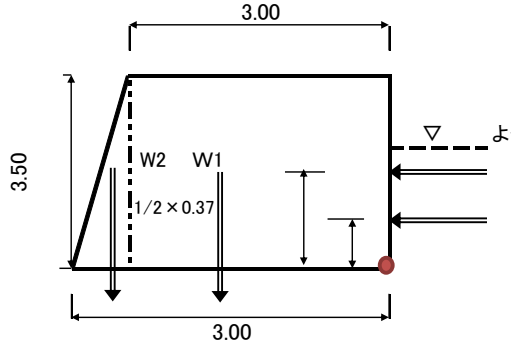
3.袖部に作用する荷重

以上のとおり算出した、単位幅あたりの礫の衝撃力(P1)と、流木の衝撃力(P2)を比較し、
大きいほうを袖部の安定計算に用いる土石流衝撃力とする。
従って、以下の通りとなり、土石流衝撃力は、(340.26kN/m)を採用する。

礫の衝撃力P1	340.26 kN/m
流木の衝撃力P2	85.58 kN/m
土石流の衝撃力	340.26 kN/m

設計荷重	記号	計算式	鉛直力 (kN)	水平力 (kN)	アームの計算式	アーム長	モーメント
袖の自重	W1	3.00×3.50×23.00	241.50		1/2×3.00	1.50	362.3
	W2	1/2×(3.00−3.00)×3.50×23.00	0.00		3.00+1/3×(3.00−3.00)	3.00	0.0
土石流の衝撃力	P1			340.26	0.37−1/2×1.5	0.75	255.2
土石流の流体力	F			6.13	1/2×0.37	0.19	1.16
合計			241.50	346.39			618.6





ここで、 Dd＝ 0.37 ≦ D95＝ 1.5

となるため、礫は水に浮かない状態で衝突することになる。

よって、土石流の衝撃力の腕の長さ は、最大礫径の1/2の位置となる。

P1= 340.26
F= 6.13

出典：砂防プロジェクトにて作成

4.袖部の安定計算

水平力の合計	H=	346.39	
鉛直力の合計	V=	241.50	
モーメントの合計	M=	618.6	
コンクリートの許容せん断強度	τ_c=	2560	kN/m^2
天端幅	L=	3.00	m
摩擦係数	f=	0.70	
滑動に対する安全率	n=	4.00	

(1)滑動に対する検討

$$n=\frac{f\cdot V+\tau_c\cdot L}{H}=\frac{0.70\times 241.50+2{,}560\times 3.000}{346.39}=22.66$$

22.66 ＞ 4.0 OK

(2)袖部の補強に関する検討

$$x=\frac{M}{V}=\frac{618.6097}{241.5}=2.562\ \text{m}$$

$$e=x-\frac{1}{2}B$$

$$=2.562-\frac{1}{2}\times 3.00=1.06\ \text{m}$$

$$\sigma=\frac{V}{B}\times\{1\pm(6\times\frac{e}{B})\}$$

$$\sigma max=\frac{241.50}{3.00}\times\{1+(6\times\frac{1.06}{3.00})\}=251.16\ \text{kN/m}^2 < 5850\ \text{kN/m}^2$$

・・・・・ OK

$$\sigma min=\frac{241.50}{3.00}\times\{1-(6\times\frac{1.06}{3.00})\}=-90.16\ \text{kN/m}^2 > -337.5\ \text{kN/m}^2$$

・・・・・ OK

以上より、袖部は土石流の衝撃力・流体力に対して安全である。

2.4.5　前庭保護工

(1) 前庭保護工の形式

砂防堰堤計画位置は、土石流堆積物上で転石と堆積土砂で構成されていることから、前庭保護工には水叩きと側壁護岸が必要と判断した。ただし、越流水によって河床が大きく洗堀される可能性は低く、中心線形も屈曲していないことから、水叩きの下流側は垂直壁とした。

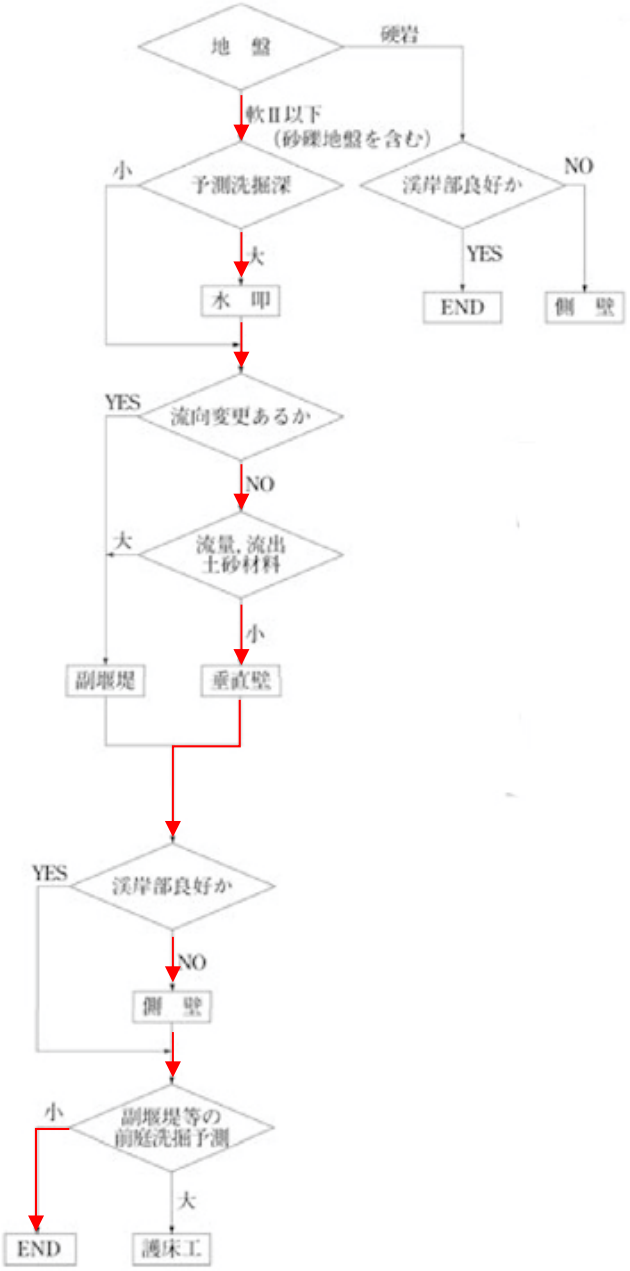


図 2.4.9 前庭保護工の工種選択のためのフローチャート

出典：砂防プロジェクトにて作成

(2) 水叩き厚さ

水叩きの厚さは、SABO マニュアルに準拠して下式から算定し、1.6m を採用した。

$$t = 0.2 \cdot (0.6H + 3h_3 - 1.0)/1.12$$

Onde:

H　　：堤高(m)

h_3　：越流水深 (m).

(3) 水叩きの長さ

水叩きの長さは、SABO マニュアルに準拠して下式から算定し、24.7m（水叩き 22.0m、垂直壁 2.7m）とした。

$$L = (1.5 \sim 2.0) \cdot (H_1 + h_3)$$

Onde:

L　：前庭部の長さ

H_1　：水通し高から水叩きまでの高さ (m)

h_3　：越流水深 (m)

(4) 側壁

安定計算に用いた前庭部（水叩き・側壁）の形状を以下に示す。

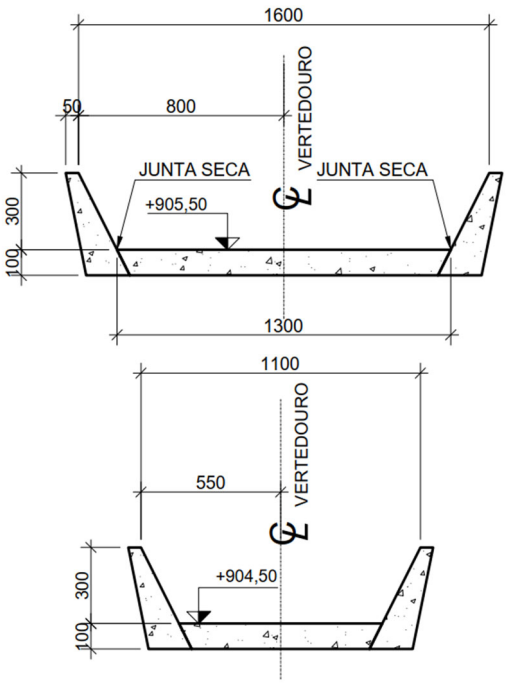


図 2.4.10 前庭部の形状

出典：技術委員会設計報告書

安全性を考慮し、以下の状況を想定した。

- 流路が満水で土圧がない場合.
- 土圧があって水圧がない場合

側壁の力とモーメントの合計は、以下のとおりである。

- 鉛直力の合計: 101,20kN/m
- 水平力の合計 54,00kN/m
- 抵抗モーメントの合計 166,98kNm/m
- 転倒モーメントの合計 54,00kNm/m

安定計算の概要を以下に示す:

- □ 転倒の安定性:

$$FS_2 := \frac{M_{Estabilizante}}{M_{Tombamento.Água}} = 3.092$$

$$e_0 := \frac{M_{Estabilizante} - M_{Tombamento.Água}}{W} = 1.116\ m$$

$$e_f := e_0 - \frac{170\ cm}{2} = 0.266\ m$$

$$\frac{170\ cm}{6} = 0.283\ m$$

以上の結果から、この構造が所定の転倒安定性を示すことが確認された。

- □ 滑動の安定性:

安全性を考慮し、側壁と基礎の間の粘着力は評価しないものとした。

$$FS_{2.4} := \frac{\tan(\phi) \cdot W}{P_H} = 1.312$$

以上の結果から、この構造が所定の滑動安定性を示すことが確認された。

- □ 基礎の支持力:

$$\sigma_{jusante.2} := \frac{W}{170\ cm} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot e_f}{B_{base}}\right) = 68.858\ kPa$$

$$\sigma_{montante.2} := \frac{W}{170\ cm} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot e_f}{170\ cm}\right) = 3.557\ kPa$$

以上の結果から、下流側及び上流側の基礎の応力が、地盤支持力以下であることを確認した。

(5) 垂直壁

安定計算で使用した垂直壁の形状を以下に示す。

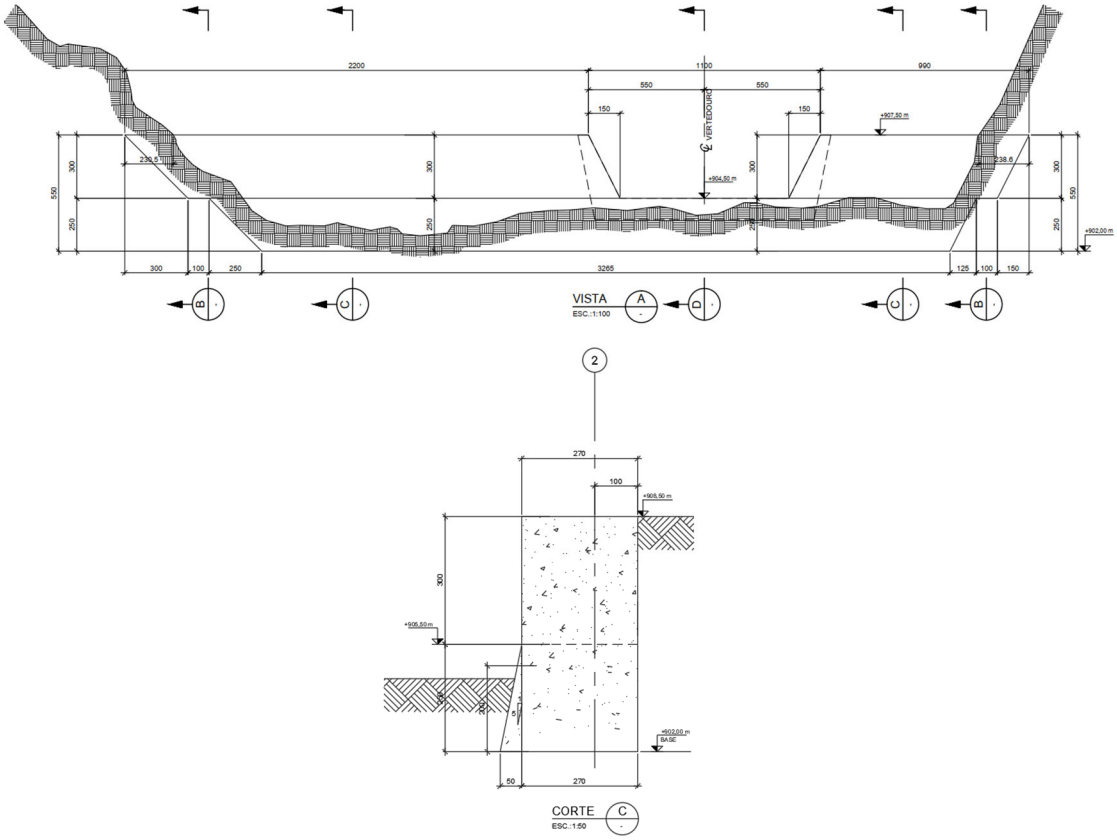


図 2.4.11 垂直壁の形状

出典：技術委員会設計報告書

安全性を考慮し、埋設部下流側の土圧は無視した。

力とモーメントの合計は、以下のとおりである。

- 鉛直力の合計: 367,21kN/m
- 水平力の合計 73,78kN/m
- 抵抗モーメントの合計 538,03kNm/m
- 転倒モーメントの合計 135,26kNm/m

安定計算の概要を以下に示す。:

➢ 転倒の安定性:

$$FS_2 := \frac{M_{Estabilizante}}{M_{Tombamento}} = 3.963$$

$$e_0 := \frac{M_{Estabilizante} - M_{Tombamento}}{F_V} = 1.091\ m$$

$$e_f := \frac{B}{2} - e_0 = 0.509\ m$$

$$\frac{B}{6} = 0.533\ m$$

以上の結果から、この構造が所定の転倒安定性を示すことが確認された。

➢ □ 滑動の安定性:

安全性を考慮し、提体と基礎の間の粘着力は評価しないものとした。

$$FS_{2.4} := \frac{\tan(\phi) \cdot F_V}{P_T} = 3.485$$

以上の結果から、この構造が所定の滑動安定性を示すことが確認された。

➢ □ 基礎の支持力:

$$\sigma_{jusante.2} := \frac{F_V}{B} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot e_f}{B}\right) = 224.186\ kPa$$

$$\sigma_{montante.2} := \frac{F_V}{B} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot e_f}{B}\right) = 5.32\ kPa$$

以上の結果から、下流側及び上流側の基礎の応力が、地盤支持力以下であることを確認した。

2.5 維持管理用道路の設計

砂防堰堤堆砂地の空き容量を確保するにあたって、堆砂地に土砂が堆積した場合は土砂を撤去するため、維持管理用道路が必要となる。また砂防堰堤の施工にあたって重機の進入路や資材運搬路とするため、工事用道路も必要である。ノバフリブルゴ市の対象渓流においては維持管理用道路を工事用道路としても使用するものとし、道路の設計を行った。

2.5.1 進入ルートの検討

維持管理用道路の進入ルートは、右岸側左岸側それぞれ下図に示す 1～3 の進入ルート案を検討した結果、旧道があり、施工可能な地形条件を有する右岸側から進入する案（ルート案 1）を採用した。既設道路との接続位置についても複数案を検討し、実現可能性を有するコンドミニアムの既設道路と接続する案を採用した。維持管理用道路は、砂防堰堤の堆砂地側にアクセスする必要があるため、乗り越え道路としてスイッチバック案と直線道路案を比較し、距離は伸びるが安全性が高い直線道路案を採用した。

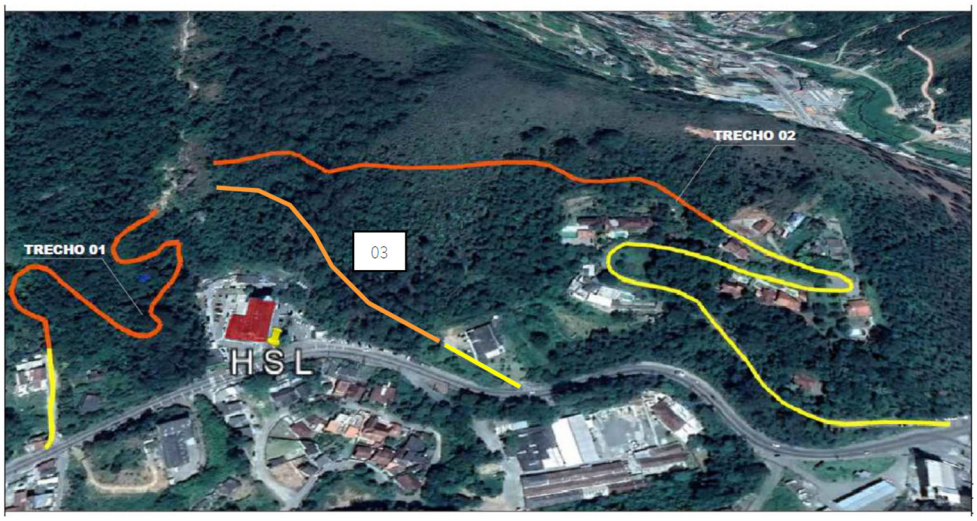


図 2.5.1 維持管理用道路のルート案

出典：砂防プロジェクトにて作成

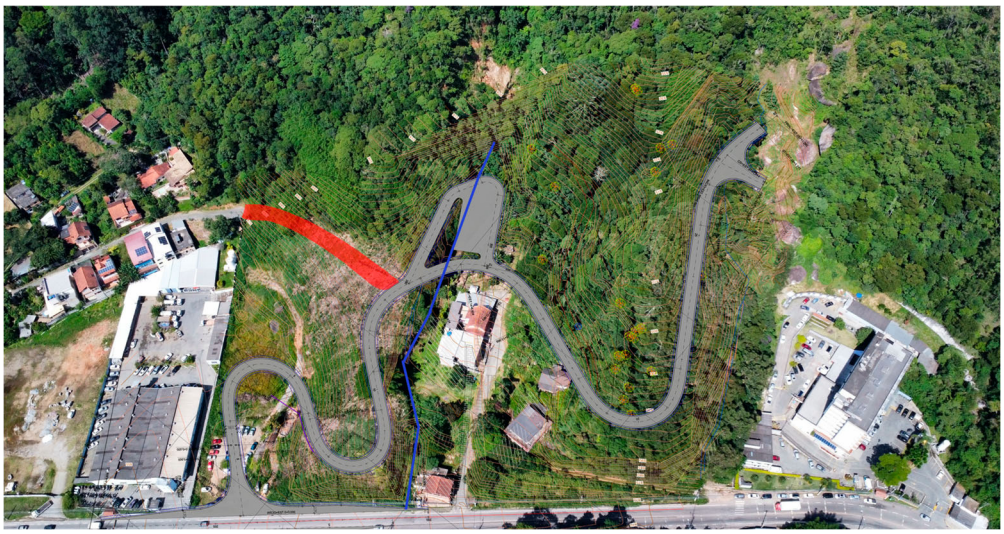
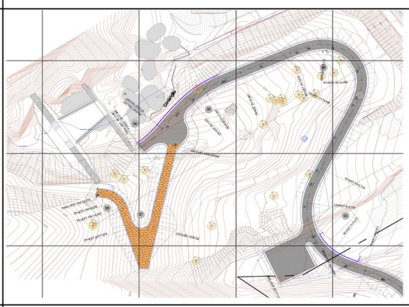
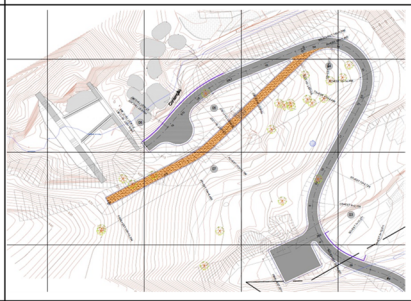


図 2.5.2 既設道路との接続位置の比較

出典：技術委員会作成資料

	技術委員会案Proposta do CT	日本専門家案Proposta do lado japonês
平面図 Planta baixa		
施工量 （）内は日本側提案との差分 Volumes Os valores dentro dos () são a diferença em comparação à proposta do lado japonês	○延長　L=90m（-43m） ○掘削量　Vc=3743m3（+877m3） ○盛土量　Va=69m3（-369m3） ○搬出量　Vt=3674m3（+1246m3） ○法面積　Aca=1015m2（+209m2） ○ Comprimento　L=90m (-43) ○ Vol. Escavação　Vc=3743m3（+877m3） ○Vol. Aterro　Va=69m3（-369m3） ○Vol. Bota-fora　Vt=3674m3（+1246m3） △	○延長　L=133m ○掘削量　Vc=2866m3 ○盛土量　Va=438m3 ○搬出量　Vt=2428m3 ○法面積　Aca=806m2 ○４つの巨礫と古い構造物跡の解体が生じる ○Comprimento　L=133m ○Vol. Escavação　Vc=2866m3 ○Vol. Aterro　Va=438m3 ○（△）
走行安全性 Segurança da trafecabilidade	○最大勾配：25% ○設計の特徴（スイッチバックはブラジルでは一般的でなく、かつ急勾配の道路に接続するため、走行安全性にかける） ○ Inclinação máxima: 25% ○ Especificidades do projeto: o switch-back não é muito comum no Brasil; há ligação com via de inclinação muito íngreme, fato que reduz a segurança no tráfego △	○最大勾配：21.3% ○設計の特徴（直進であり、勾配も比較的緩いため、走行安全性は比較的良い） ○Inclinação máxima: 21,3% ○Especificidades do projeto: é em linha reta; possui inclinação relatimavente menor, tornando a segurança do tráfego comparativamente melhor. ○
除石の容易さ Facilidade da remoção dos detritos	○転回場が常設であることは有利である。 ○勾配が25%の部分は少なくともキャタピラ車を用いることが想定されるため、効率性は落ちる。 ○Tem a vantagem de contar com a área de manobra definitiva. ○ O trecho com inclinação de 25% provavelmente demandará o trá fego por caterpillar, fato que reduz a eficiência. △	いという点では劣る。 ○21%の勾配であればダンプトラックが利用可能と想定しており、効率性は有利である。 ○Estima-se que área de manobra seja construída de forma provisória, tendo a desvantagem de não contar com área de manobra definitiva. ○ Entende-se que a inclinação de 21% permite o tráfego do caminhão caçamba, fato que favorece a eficiência. △
コスト Custos	○掘削量、搬出量、法面工が多く、比較的コストが高い ○Grande volume de escavação, bota-fora e taludamento, custo relativamente alto. △	○土工量全体として少なく、コストは比較的低い ○De forma geral há pouco volume de movimentação de material, custo relativamente baixo. ○
総合評価 Comparação geral	○施工量、走行安全性、コストのいずれの項目においても比較的劣る。 ○Há desvantagem na comparação dos itens de volumes de obra, segurança da trafecabilidade e custos. △	○施工量、走行安全性、コストのいずれの項目においても比較的優位である。 ○道路延長は長いが、土工のバランスが比較的優位であり、場外搬出の土量が1000m3以上減ることは、残土処理場への負荷、一般道路への負荷においても比較的優位である。 ○Há melhor desempenho na comparação dos itens de volumes de obra, segurança da trafecabilidade e custos. ○O comprimento da via é maior, mas o equilíbrio na movimentação de material (terraplanagem) é comparativamente mais vantajoso. A redução de mais de 1000m3 de material para bota-fora favorece também a press ão dos locais de recebimento do material retirado, bem como o tráfego nas vias convencionais do trajeto. ○

コンセプト Concepção		日本とブラジルの技術協力による最初の砂防堰堤であるため、メンテナンス用道路についても多少延長が長くなっても適切な道路を作ることとした。 Por ser a primeira barreira sabo a ser construída no âmbito da cooperaçã o técnica Brasil-Japão, estudou-se a via mais adequada, mesmo que ficasse uma via de manutenção um pouco mais longa.

図 2.5.3 砂防堰堤堆砂地側へのアクセス方法の比較

出典：砂防プロジェクトにて作成

図 2.5.4 採用された維持管理用道路の進入ルート

出典：技術委員会設計報告書

2.5.2 維持管理用道路の設計

維持管理用道路の設計は、ノバフリブルゴ市役所から提供された測量データを用いて、決定された維持管理用道路の進入ルートに基づいた設計を行った。

設計にあたっては、国家運輸インフラ局（DNIT）が一般的に採用している手法を基本とし、業務指示書 ISSO-208 に基づいて実施した。

(1) 前提条件

SABO プロジェクトにおける協議によって合意された内容、現地調査や計測によって収集された情報に基づき、維持管理用道路の設計を実施した。

維持管理用道路の設計は、以下の条件に基づき実施した。

・本プロジェクトで検討対象とする道路は、山岳地帯の起伏を利用したルートとする。

・建設期間中に通行する車両は、主に 3 軸トラックである。

・縦断計画において道路高と勾配を設定する際は、適切な排水を考慮する。

・本プロジェクトにおける道路規格は、地方道に分類される。

・維持管理用道路の検討ガイドラインでは、既存地形を最大限に活用することを基本としているため、以下の点に配慮することを重視した。

＞土工の削減

＞縦断計画の改善

＞砂防堰堤の工事及び維持管理に求められる特性への準拠

維持管理用道路の設計は、以下に示す表（地方道路の規定）に示されるパラメータ及び許容基準に準拠して実施した。

表 2.5.1 道路規定 – 地方道路 （出典: Publicação IPR – 740/2010）

設計要素	推奨値	限界値
設計速度	40km/h	30km/h
停止時の最小視距	50m	35m
水平曲線の最小半径		
e=2%	50m	25m
e=0%	55m	30m
片勾配の最大すり付け率	2%	2%
最大縦断勾配	6%	15%
最小縦断勾配	0.5%	0.2%
凸型曲線における K 値の最小値	4	2
凹型曲線における K 値の最小値	9	6
車道幅員	3.30m	3.00m
横断勾配	2%	3%
有効高さ（クリアランス）の最小値	4.50m	4.50m
駐車スペースの幅員	2.50m	2.20m

本プロジェクトの道路設計は、Autcad CIVIL 3D を用いて処理を実施した。ノバフリブルゴ市の地形測量成果をシステムに取り込んでいることから、水平要素及び高さ要素とも測量成果に準拠して電子的に計算されている。

(2) 路線計画

本プロジェクトの維持管理用道路では、3 つ路線が計画されている。計画されている路線を下表に示す。

表 2.5.2 路線計画

路線	延長	幅員	*説明*
0	397,35m	6,00m	工事用道路（砂防堰堤へのアクセス路）
100	123,03m	5,00m	維持管理用道路（堆砂地へのアクセス路）
200	31,48m	-	車両待機スペース

出典：技術委員会設計報告書

(3) 設計図

設計図の作成において、位置情報及び設計要素は以下のとおりとし、縮尺 1:500 精度のデジタル図面を作成した。

- UTM 座標系;
- 水平基準 SIRGAS-2000;
- 鉛直基準 Imbituba - SC
- 道路線形に沿って 20m 間隔で主要点を設定
- 水平曲線、変曲点（PI）、曲線点（PC）、接線（PT）の位置、測設、番号、PI 間の距離、それぞれの方位角、半径（R）、中心角（AC）、水平曲線および緩和曲線（LC）の接線の長さ（T）
- 測量範囲内の等高線（1m 間隔）;
- 路肩と歩道

(4) 縦断計画

縦断計画における標高データは、特定のグラフィックプログラムを用いてデジタル化された基準標高から得られた地形情報に基づいており、これらを用いて最終的な勾配（舗装勾配を含む）が設計されている。

設計された勾配は、道路規定の限界値に準拠しています。可能な限り最小限の勾配とし、良好な視程距離を確保する垂直曲線を採用することで、利用者の安全と快適性を確保することとした。縦断計画では、排水条件を満たすことを基本とし、既存の地形を最大限に活用し、緩やかな横断勾配エリアの標高を調整することで、排水設備の設置を可能としている。縦断計画の設計図は、縮尺 1:1000 および 1:100 で作成しており、平面図および縦断図それぞれについて以下が含まれています。

- 傾斜と傾斜区間の長さ
- 垂直方向の整合性、およびそれぞれの定義要素、杭、PCV、PIV、PTV の標高

(5) 横断計画

維持管理用道路の設計として提案された標準断面は、想定される通行車両に求められ

る設計条件を満足すること、すなわち設計特性を踏まえ、対象道路の最適な運用を満足させることを目的として設定した。

本プロジェクトにおける各道路の標準断面を以下に示す。

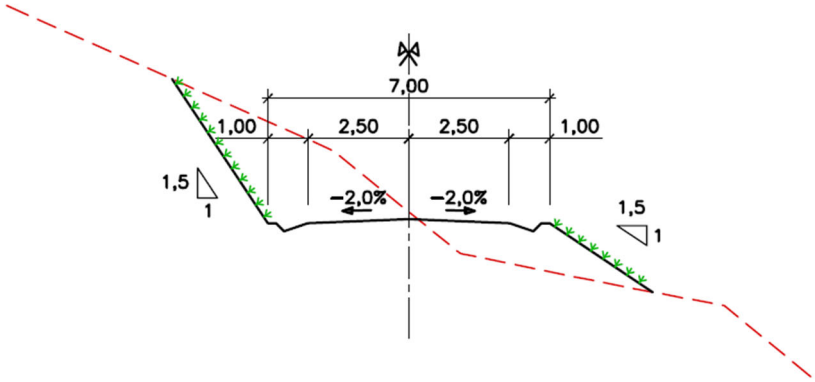


図 2.5.5 工事用道路 (路線 000)

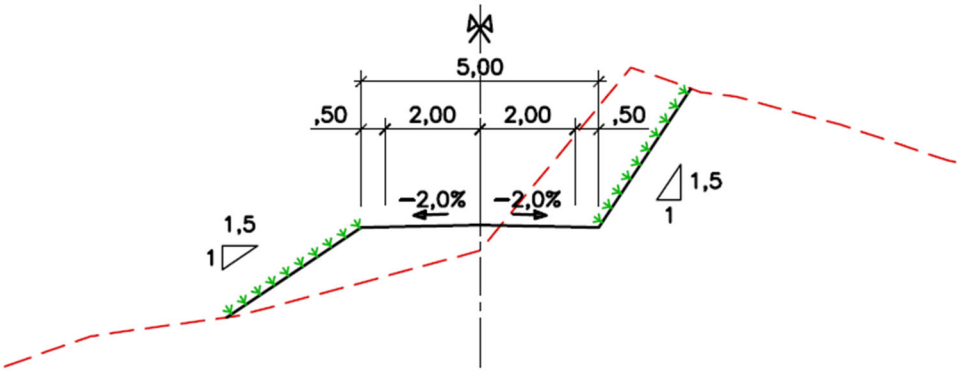


図 2.5.6 維持管理用道路 (路線 100)

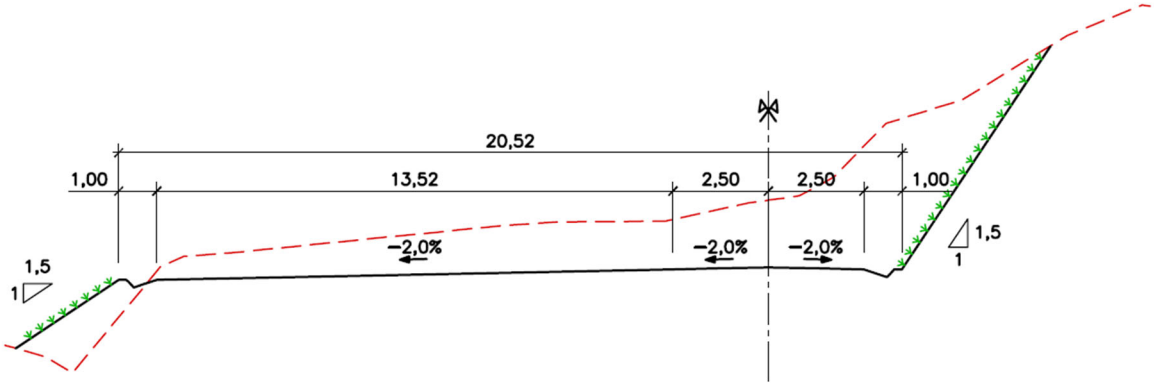


図 2.5.7 車両待機スペース (路線 200)

出典：技術委員会設計報告書

(6) 道路設計成果の概要表

設計された各路線の諸元表を以下の表に示す.

表 2.5.3　曲線諸元表 – 路線 0

QUADRO DE CURVAS - RAMO 000 - VIA PARA OBRA									
Curva Nº	Elementos Geométricos					Pontos Notáveis	Estacas	Coordenadas	
	Raio	LC	AC	D/Dθ	T/TS			N	E
0	-	-	-	-	-	INÍCIO	0	7.536.230,2176	753.764,6897
1	27,500	21,000	127°49'04"	5,966	25,480	TE	0+7,902	7.536.235,2162	753.758,5697
						EC	1+8,902	7.536.250,3566	753,744,2140
						PI	-	7.536.251,3357	753.738,8339
						CE	1+14,868	7.536.255,8506	753.741,9194
						ET	2+15,868	7.536.276,7038	753.741,2422
2	25,000	21,000	102°50'17"	12,668	30,937	TE	3+15,401	7.536.296,1497	753.743,0883
						EC	4+16,401	7.536.316,9643	753.742,1481
						PI	-	7.536.326,9760	753.746,0148
						CE	5+9,069	7.536.327,4566	753.735,2932
						ET	6+10,069	7.536.336,6788	753.716,6094
3	30,000	20,000	80°51"10"	31,913	45,830	TE	6+10,211	7.536.336,7232	753.716,4748
						EC	7+10,211	7.536.345,0146	753.698,3829
						PI	-	7.536.351,0839	753.672,9534
						CE	9+2,124	7.536.373,1955	753.686,9024
						ET	10+2,124	7.536.391,7691	753.694,0501
4	20,000	20,000	40º02'28"	28,855	67,016	TE	11+14,458	7.536.420,4731	753.708,9341
						EC	12+14,458	7.536.439,2965	753.715,0065
						PI	-	7.536.480,0164	753.739,8095
						CE	14+3,312	7.536.458,7507	753.697,1355
						ET	15+3,312	7.536.454,2942	753.677,8654
5	60,000	21,000	151º15'23"	9,100	25,901	TE	16+10,907	7.536.443,7119	753.652,3811
						EC	17+11,907	7.536.434,5542	753.633,3811
						PI	-	7.536.433,7633	753.628,4230
						CE	18+1,007	7.536.429,0927	753.626,2467
						ET	19+2,007	7.536.413,5194	753.612,2012
6	55,000	-	164º26'57"	14,928	7,510	PC	19+2,420	7.536.413,1968	753.611,9427
						PI	-	7.536.407,3362	753.607,2465
						PT	19+17,348	7.536.402,9492	753.601,1511
7	-	-	-	-	-	FIM	19+17,348	7.536.402,9492	753.601,1511

表 2.5.4　曲線諸元表 – 路線 100

QUADRO DE CURVAS - RAMO 100 - VIA PARA MANUTENÇÃO									
Curva Nº	Elementos Geométricos					Pontos Notáveis	Estacas	Coordenadas	
	Raio	LC	AC	D/Dθ	T/TS			N	E
100	-	-	-	-	-	INÍCIO	100	7.536.455,5506	753.680,9304
101	-	-	67º1'56"	-	-	PI-101	100+3,856	7.536.451,9694	753.682,3602
102	52,500	-	16º39'55"	15,270	7,690	PC	103+11,184	7.536.404,5837	753.634,5302
						PI	-	7.536.399,1718	753.629,0676
						PT	104+6,455	7.536.395,5538	753.622,2824
103	-	-	-	-	-	FIM	106+13,034	7.536.373,6379	753.581,1810

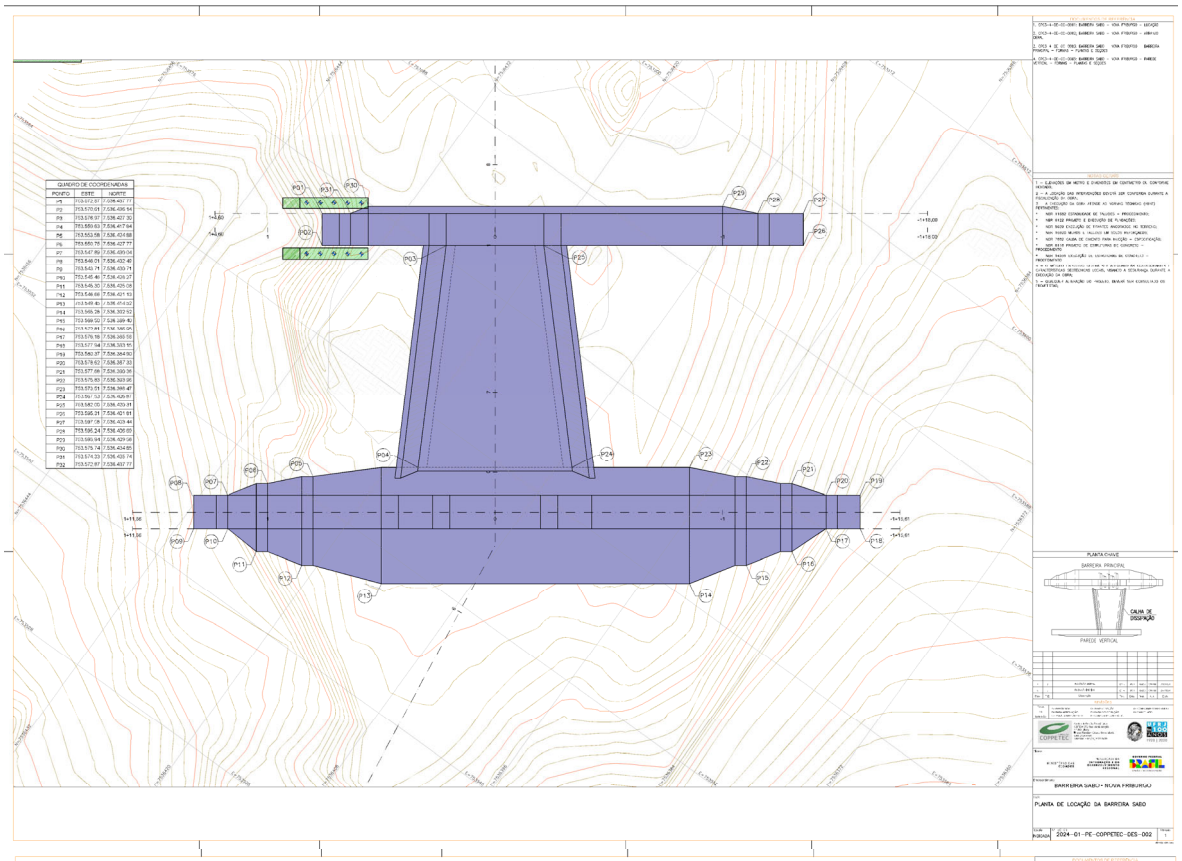
表 2.5.5　曲線諸元表 – 路線 200

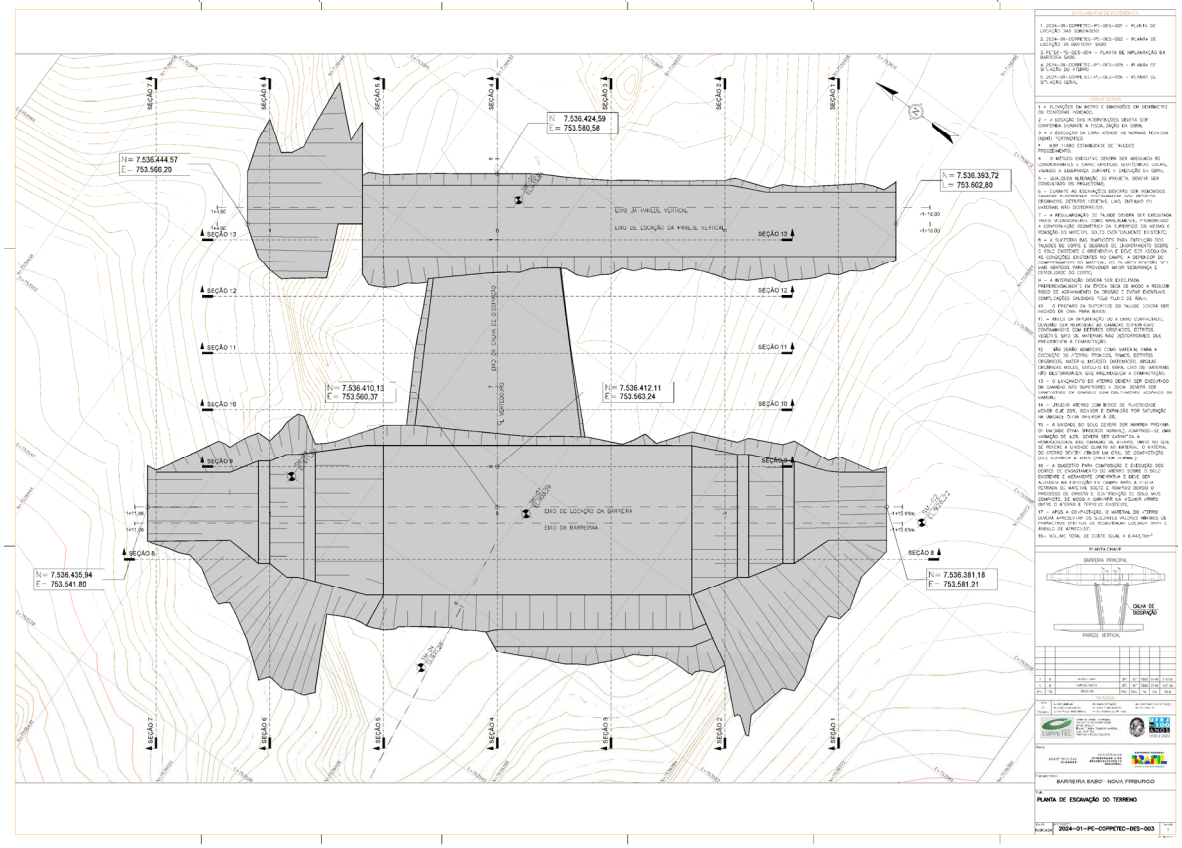
QUADRO DE CURVAS - RAMO 200 - ESTACIONAMENTO									
Curva Nº	Elementos Geométricos					Pontos Notáveis	Estacas	Coordenadas	
	Raio	LC	AC	D/Dθ	T/TS			N	E
200	-	-	-	-	-	INÍCIO	200	7.536.356,1132	753.689,4300
201	-	-	-	-	-	FIM	201+11,475	7.536.342,3128	753.661,1416

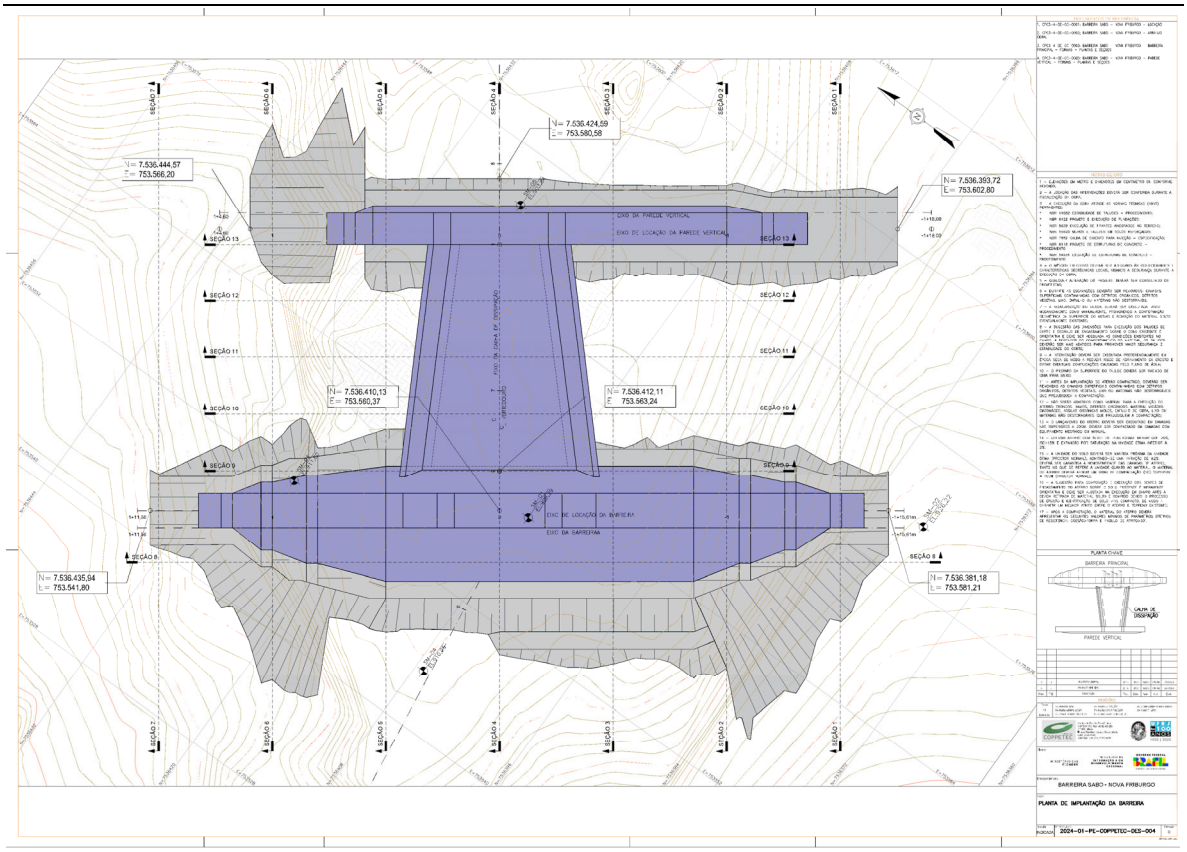
出典：技術委員会設計報告書

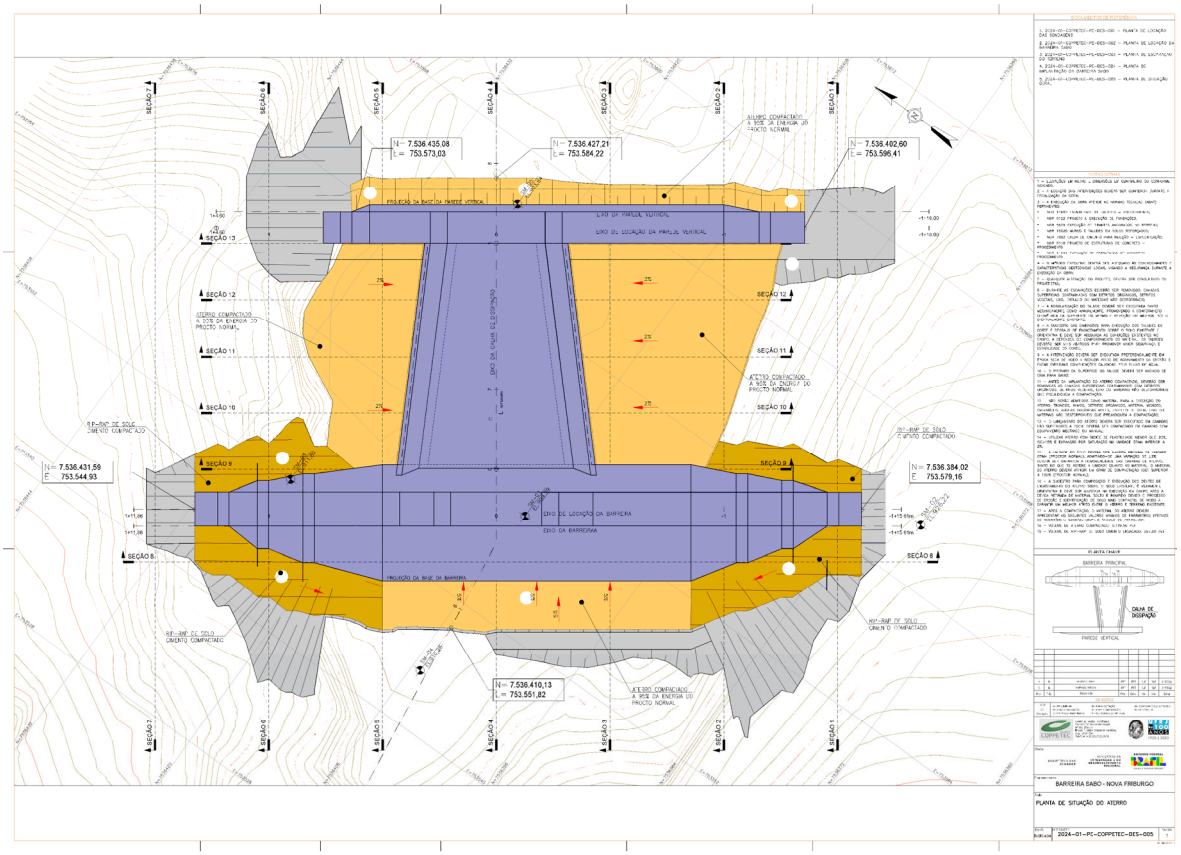
2.6 設計図面

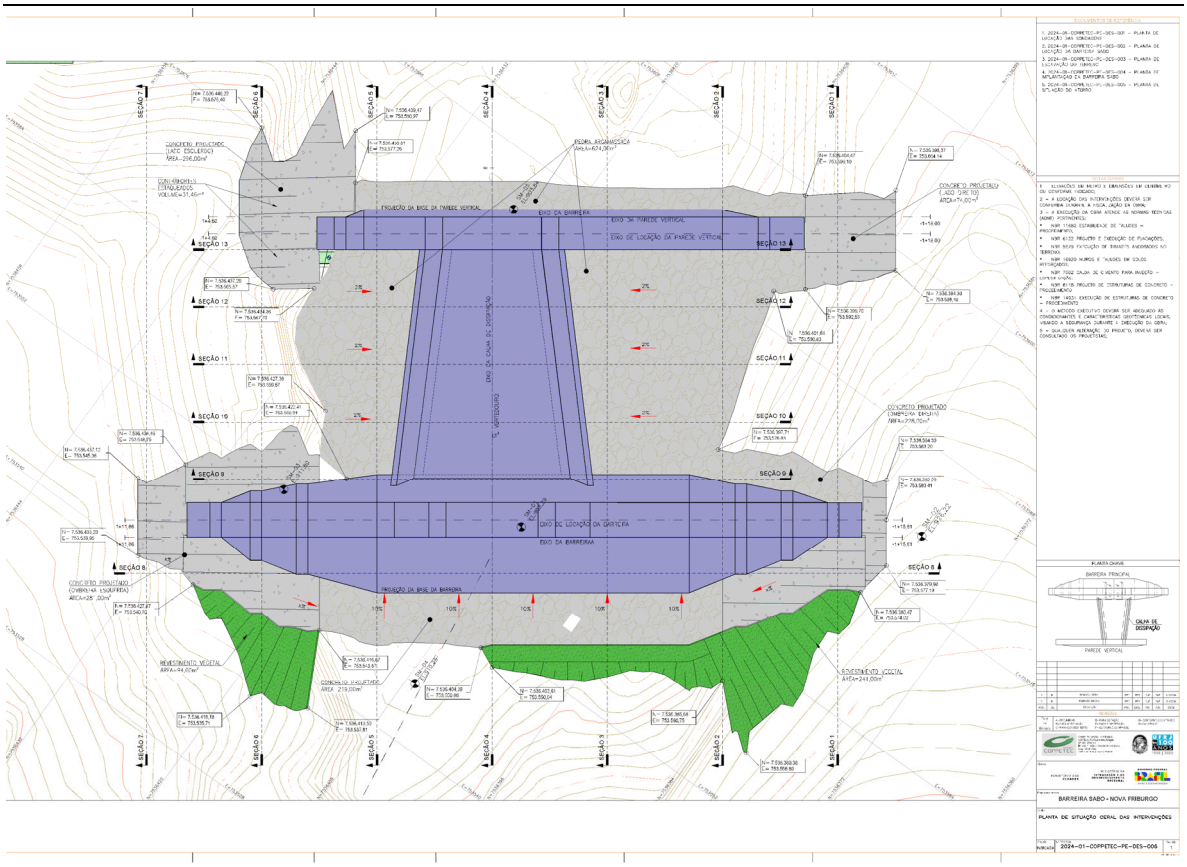
2.6.1 砂防堰堤

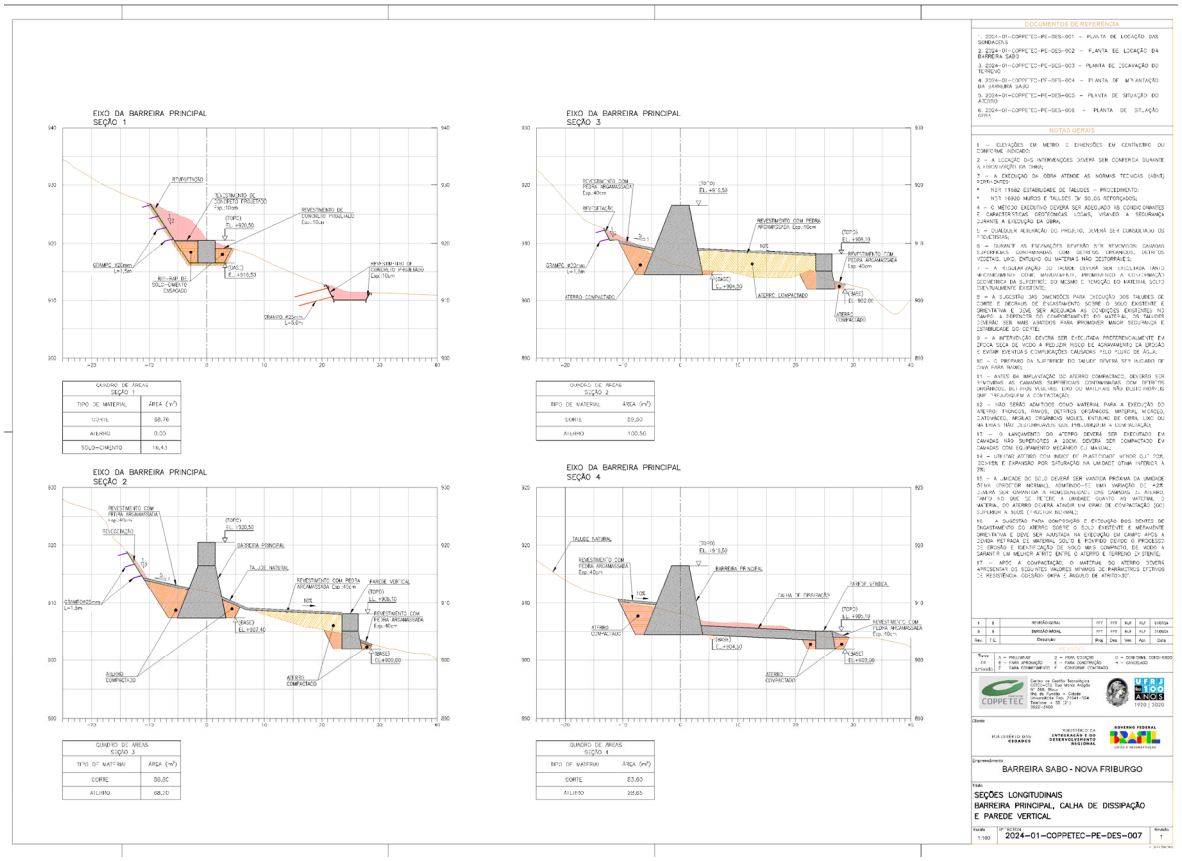


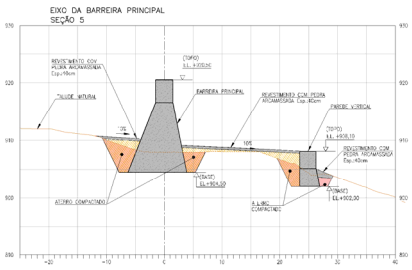



N= 7.536.444,57
E= 753.566,20
N= 7.536.424,59
E= 753.580,58
N= 7.536.393,72
E= 753.602,80
N= 7.536.410,13
E= 753.560,37
N= 7.536.412,11
E= 753.563,24
N= 7.536.435,94
E= 753.541,80
N= 7.536.381,18
E= 753.581,21
EIXO DA PAREDE VERTICAL
EIXO DE LOCAÇÃO DA PAREDE VERTICAL
EIXO DE LOCAÇÃO DA BARREIRA
EIXO DA BARREIRA
PLANTA CHAVE
BARREIRA PRINCIPAL
CALHA DE DISSIPAÇÃO
PAREDE VERTICAL
BARREIRA SABÓ - NOVA FRIBURGO
PLANTA DE IMPLANTAÇÃO DA BARREIRA
2024-01-PE-COPPETEC-DES-004

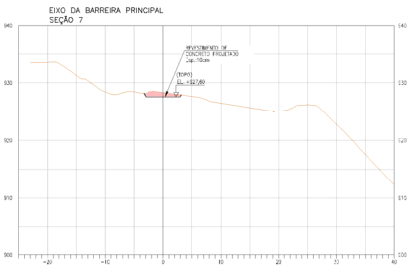

N= 7.536.435,08
E= 753.573,03
N= 7.536.427,21
E= 753.584,22
N= 7.536.492,60
E= 753.596,41
N= 7.536.431,59
E= 753.544,93
N= 7.536.384,02
E= 753.579,16
N= 7.536.410,13
E= 753.551,82
ATERRO COMPACTADO A BASE DA ENERGIA DO PROJETO NORMAL
EIXO DA PAREDE VERTICAL
EIXO DE LOCAÇÃO DA PAREDE VERTICAL
EIXO DE LOCAÇÃO DA BARREIRA
EIXO DA BARREIRA
PROJEÇÃO DA BASE DA BARREIRA
BARREIRA PRINCIPAL
CALHA DE DISSIPAÇÃO
PAREDE VERTICAL
BARREIRA SABÓ - NOVA FRIBURGO
PLANTA DE SITUAÇÃO DO ATERRO
2024-01-PE-COPPETEC-DES-005


BARREIRA SABO - NOVA FRIBURGO
PLANTA DE SITUAÇÃO GERAL DAS INTERVENÇÕES
2024-01-COPPETEC-PE-DES-006

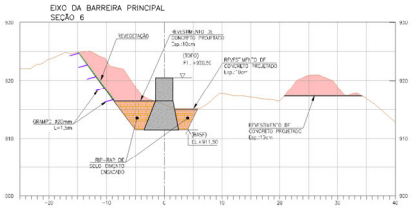

EIXO DA BARREIRA PRINCIPAL
SEÇÃO 1
EIXO DA BARREIRA PRINCIPAL
SEÇÃO 3
EIXO DA BARREIRA PRINCIPAL
SEÇÃO 2
EIXO DA BARREIRA PRINCIPAL
SEÇÃO 4
BARREIRA SABO - NOVA FRIBURGO
SEÇÕES LONGITUDINAIS
BARREIRA PRINCIPAL, CALHA DE DISSIPAÇÃO
E PAREDE VERTICAL
2024-01-COPPETEC-PE-DES-007



QUADRO DE ÁREAS SEÇÃO 5	
TIPO DE MATERIAL	ÁREA (m²)
CORTE	61,77
ATERRO	56,90



QUADRO DE ÁREAS SEÇÃO 7	
TIPO DE MATERIAL	ÁREA (m²)
CORTE	4,46
ATERRO	0,00



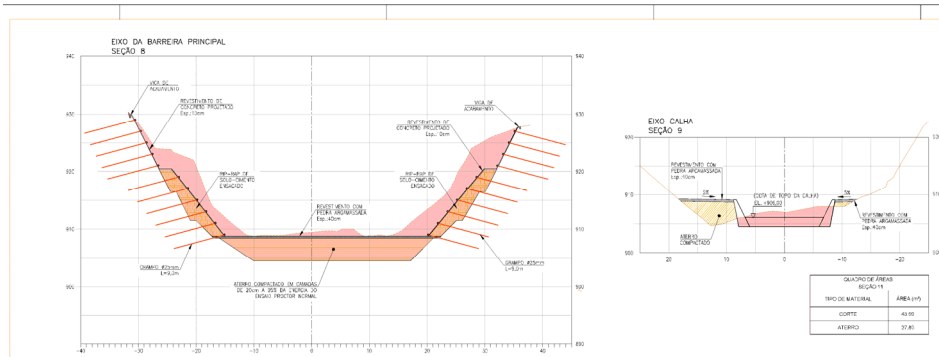
QUADRO DE ÁREAS SEÇÃO 6	
TIPO DE MATERIAL	ÁREA (m²)
CORTE	12,70
ATERRO	0,00
SOLO-CIMENTO	30,41

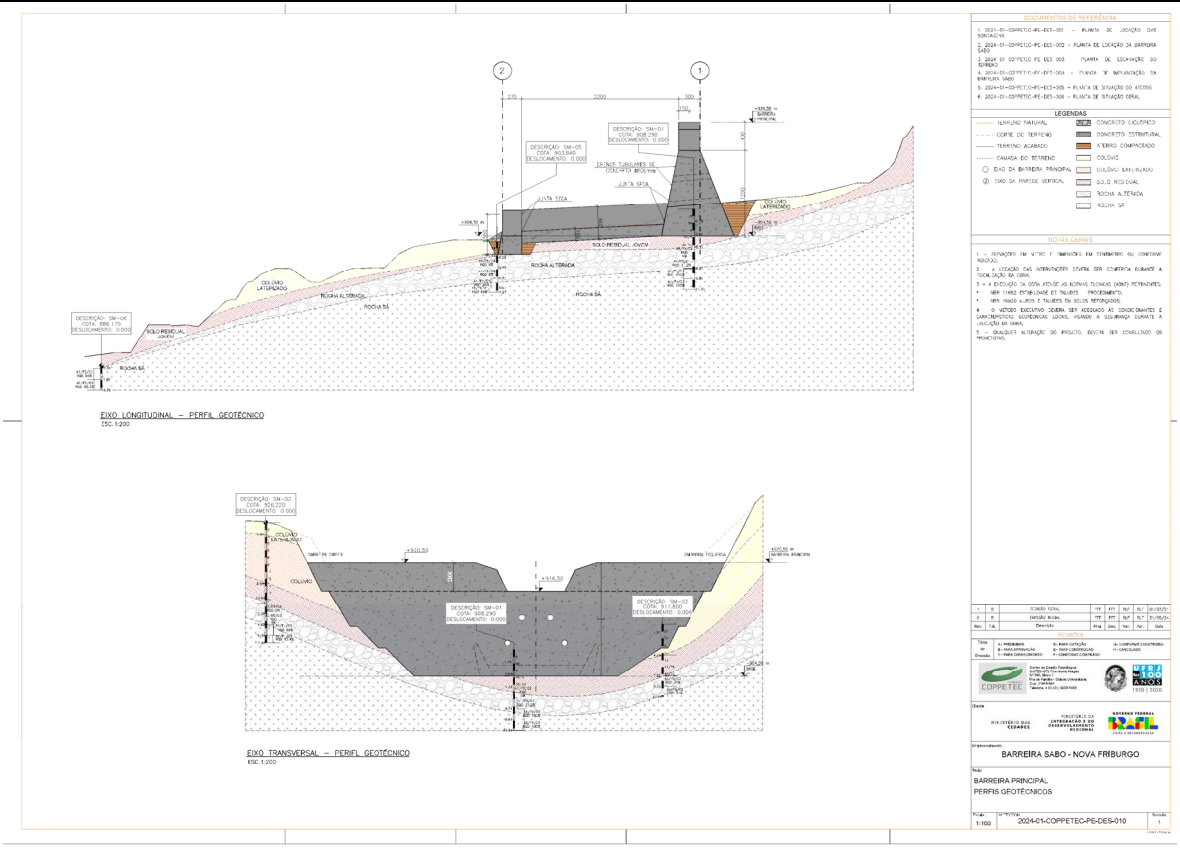
BARREIRA PRINCIPAL E PAREDE VERTICAL - VOLUME DE TERRAPLANAGEM

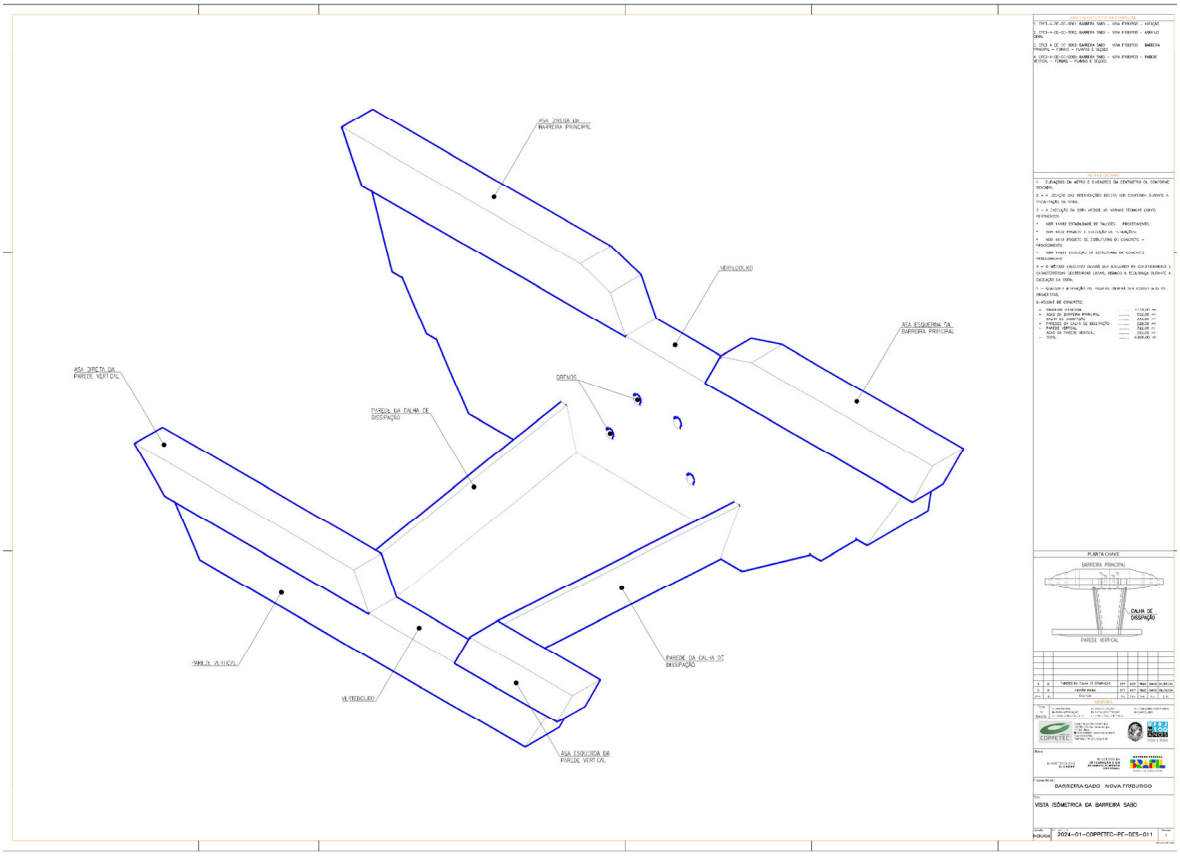
DESCRIÇÃO	ÁREA DE CORTE (m²)	ÁREA DE ATERRO (m²)	EXTENSÃO (m)	VOLUME DE CORTE (m³)	VOLUME DE ATERRO (m³)	VOLUME DE CORTE ACUMULADO (m³)	VOLUME DE ATERRO ACUMULADO (m³)	VOLUME DE LÍQUIDO ACUMULADO (m³)
SEÇÃO 1	68,78	-	10,00	687,80	-	687,80	-	687,80
SEÇÃO 2	50,50	100,50	10,00	595,00	1.005,00	1.282,80	1.005,00	277,80
SEÇÃO 3	86,80	68,20	10,00	866,00	682,00	2.150,80	1.687,00	463,80
SEÇÃO 4	83,60	28,60	10,00	836,00	286,00	2.986,80	1.973,00	1.013,10
SEÇÃO 5	61,77	56,90	10,00	617,70	569,00	3.604,30	2.538,00	1.066,80
SEÇÃO 6	121,70	-	10,00	1.217,00	-	4.921,30	2.538,00	2.482,80
SEÇÃO 7	4,65	-	10,00	46,50	-	5.067,80	2.538,00	2.529,30

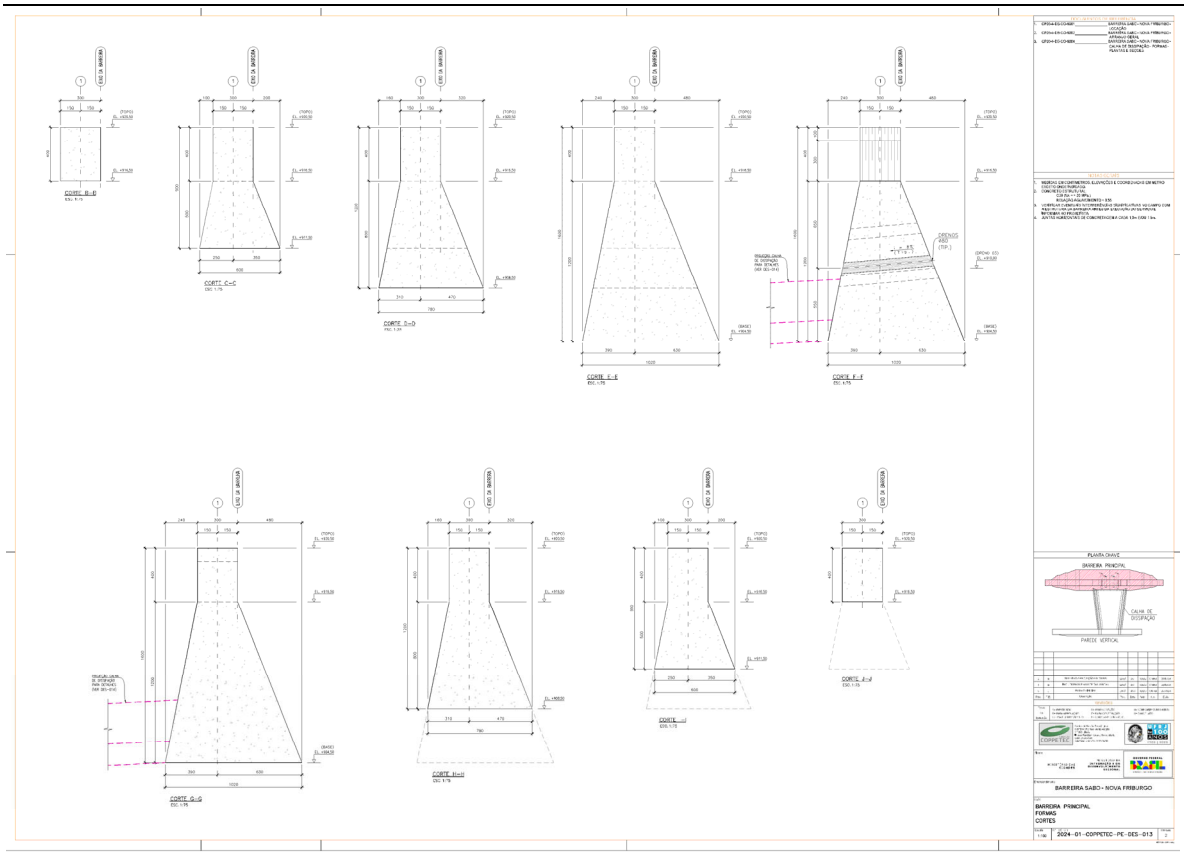
CALHA DE DISSIPAÇÃO - VOLUME DE TERRAPLANAGEM

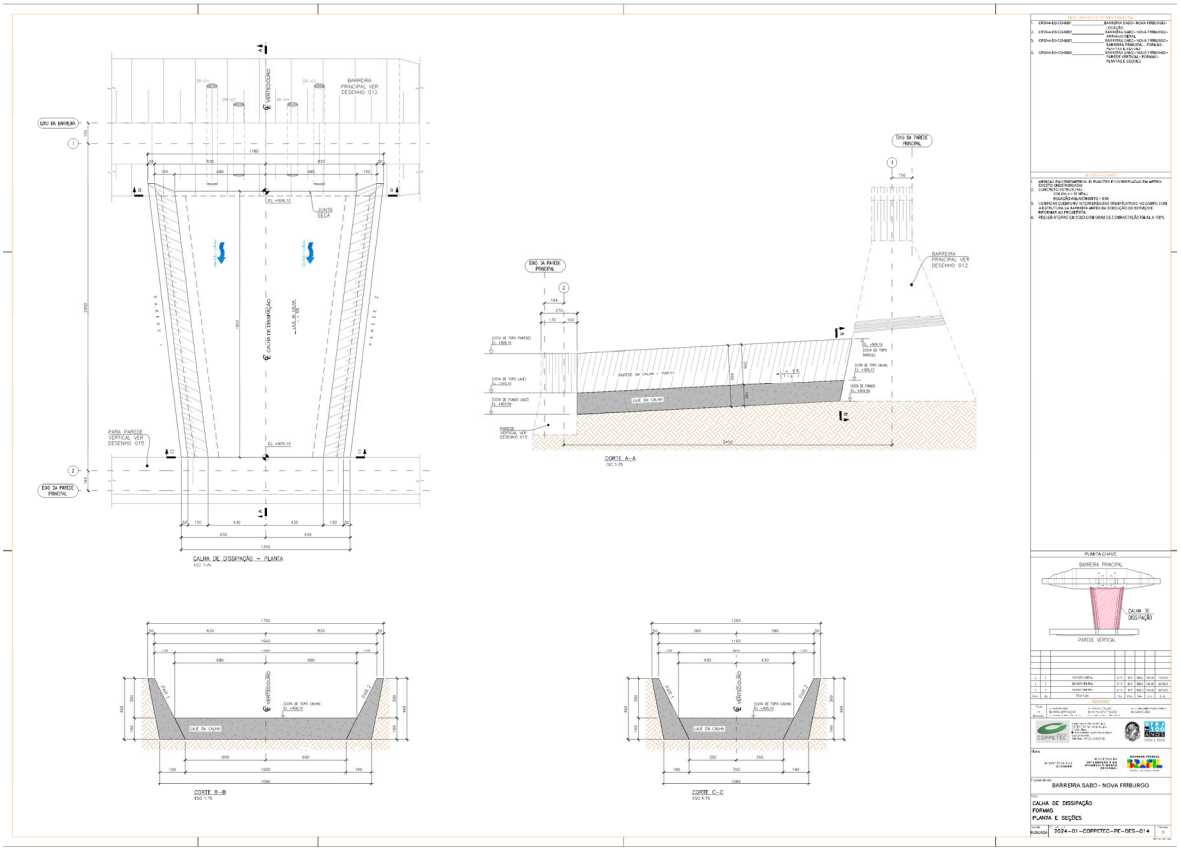
DESCRIÇÃO	ÁREA DE CORTE (m²)	ÁREA DE ATERRO (m²)	EXTENSÃO (m)	VOLUME DE CORTE (m³)	VOLUME DE ATERRO (m³)	VOLUME DE CORTE ACUMULADO (m³)	VOLUME DE ATERRO ACUMULADO (m³)	VOLUME DE LÍQUIDO ACUMULADO (m³)
SEÇÃO 9	43,50	27,80	10,00	435,00	278,00	435,00	278,00	157,00
SEÇÃO 10	36,10	42,40	10,00	361,00	424,00	796,00	702,00	94,00
SEÇÃO 11	29,30	56,80	10,00	293,00	568,00	1.089,00	1.270,00	-181,00
SEÇÃO 12	16,50	74,50	10,00	165,00	745,00	1.274,00	2.015,00	-741,00
SEÇÃO 13	10,19	61,60	10,00	101,90	616,00	1.375,90	2.631,00	1.255,10

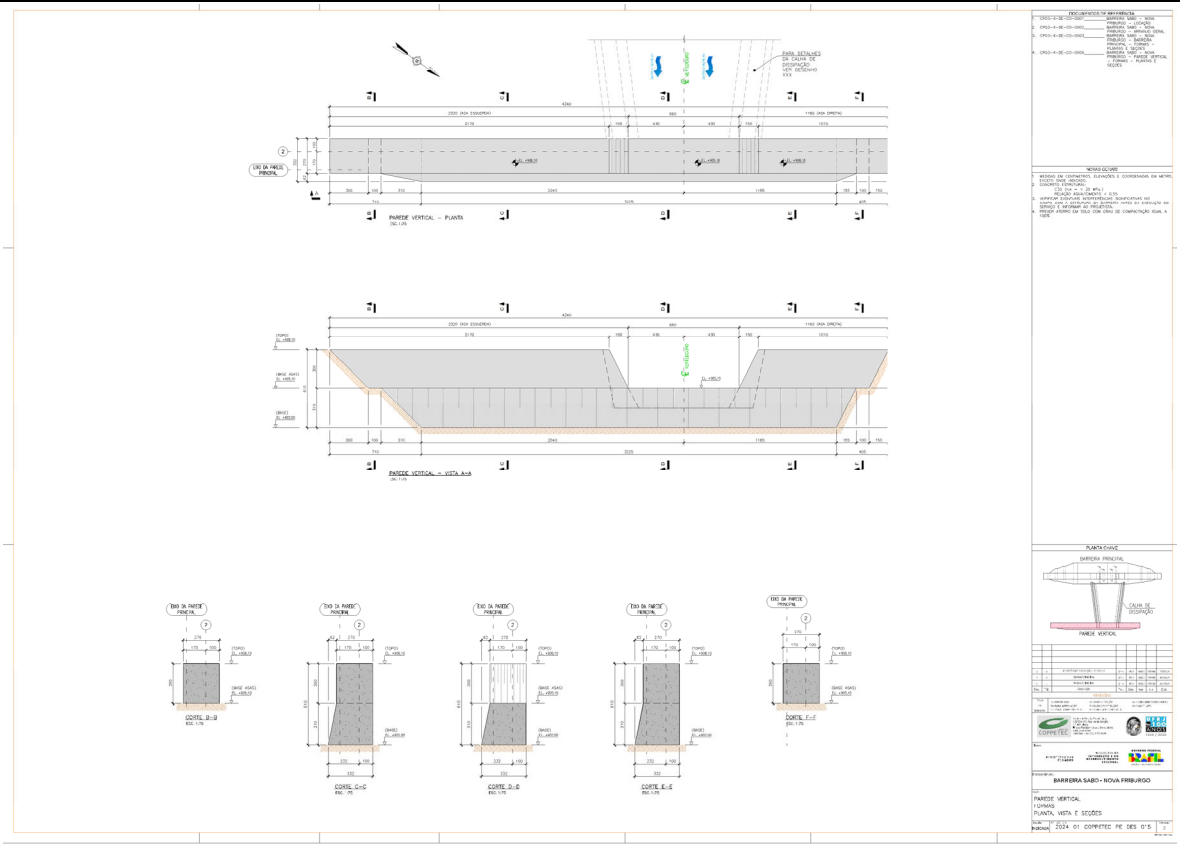


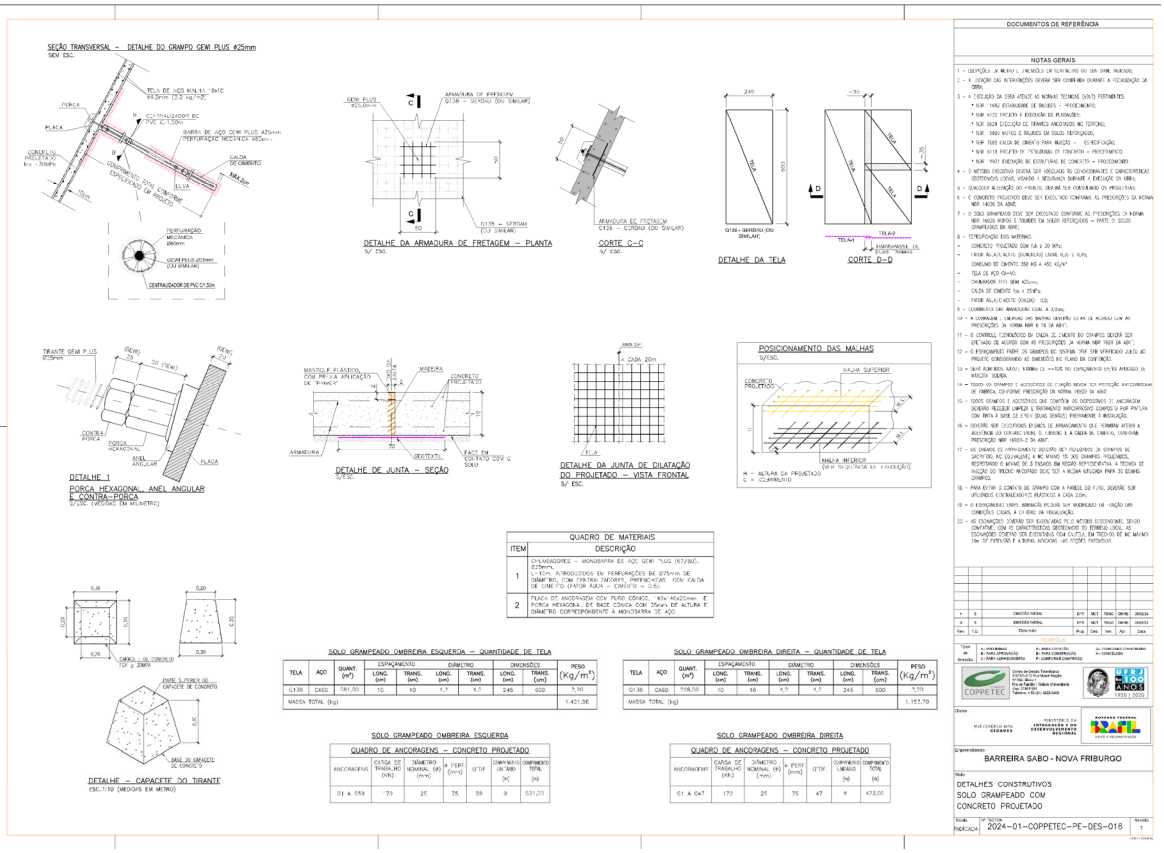

EIXO LONGITUDINAL – PERFIL GEOTÉCNICO
ESC 1:200
EIXO TRANSVERSAL – PERFIL GEOTÉCNICO
ESC 1:200
BARREIRA SABO - NOVA FRIBURGO
BARREIRA PRINCIPAL
PERFIS GEOTÉCNICOS
2024-01-COPPETEC-PE-DES-010

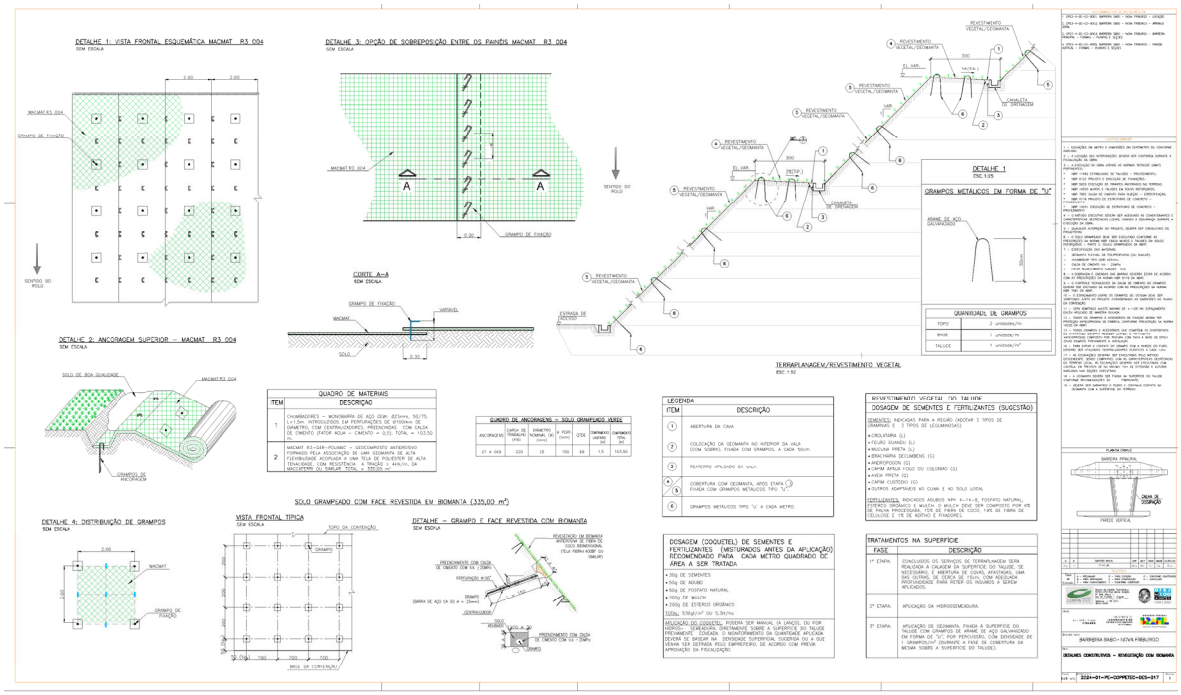

ASA DIREITA DA BARREIRA PRINCIPAL
VERTEDOURO
ASA ESQUERDA DA BARREIRA PRINCIPAL
ASA DIREITA DA PAREDE VERTICAL
BACIA DE DISSIPAÇÃO
DENTES
PAREDE DA CALHA DE DISSIPAÇÃO
VERTEDOURO
ASA ESQUERDA DA PAREDE VERTICAL
PLANTA CHAVE
BARREIRA PRINCIPAL
CALHA DE DISSIPAÇÃO
PAREDE VERTICAL
BARREIRA SABO - NOVA FRIBURGO
VISTA ISOMÉTRICA DA BARREIRA SABO
2024-01-COPPETEC-PE-DES-011

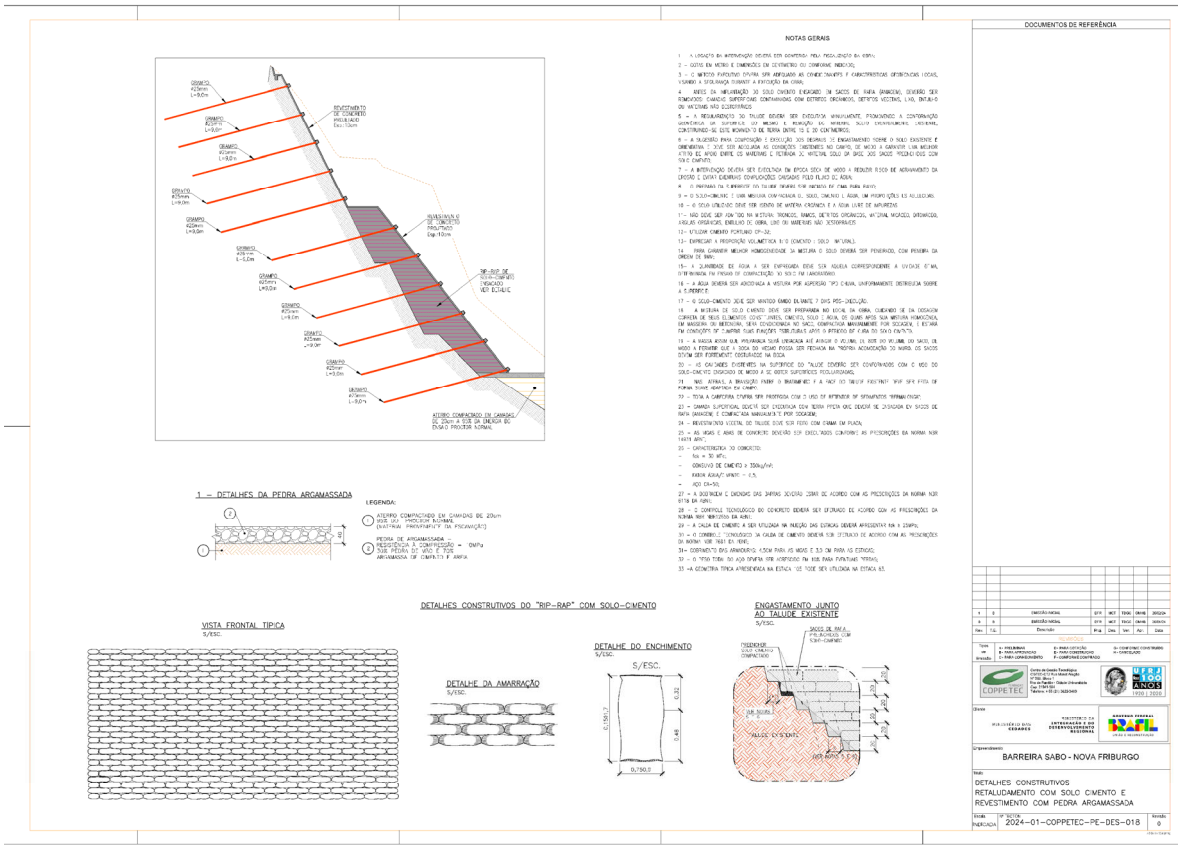

CORTE B-B
CORTE C-C
CORTE D-D
CORTE E-E
CORTE F-F
CORTE G-G
CORTE H-H
CORTE I-I
CORTE J-J
PLANTA CHAVE
BARREIRA PRINCIPAL
CALHA DE DISSIPAÇÃO
PAREDE VERTICAL
BARREIRA SABÓ - NOVA FRIBURGO
BARREIRA PRINCIPAL
FORMAS
CORTES
2024-01-COPPETEC-PE-DES-013

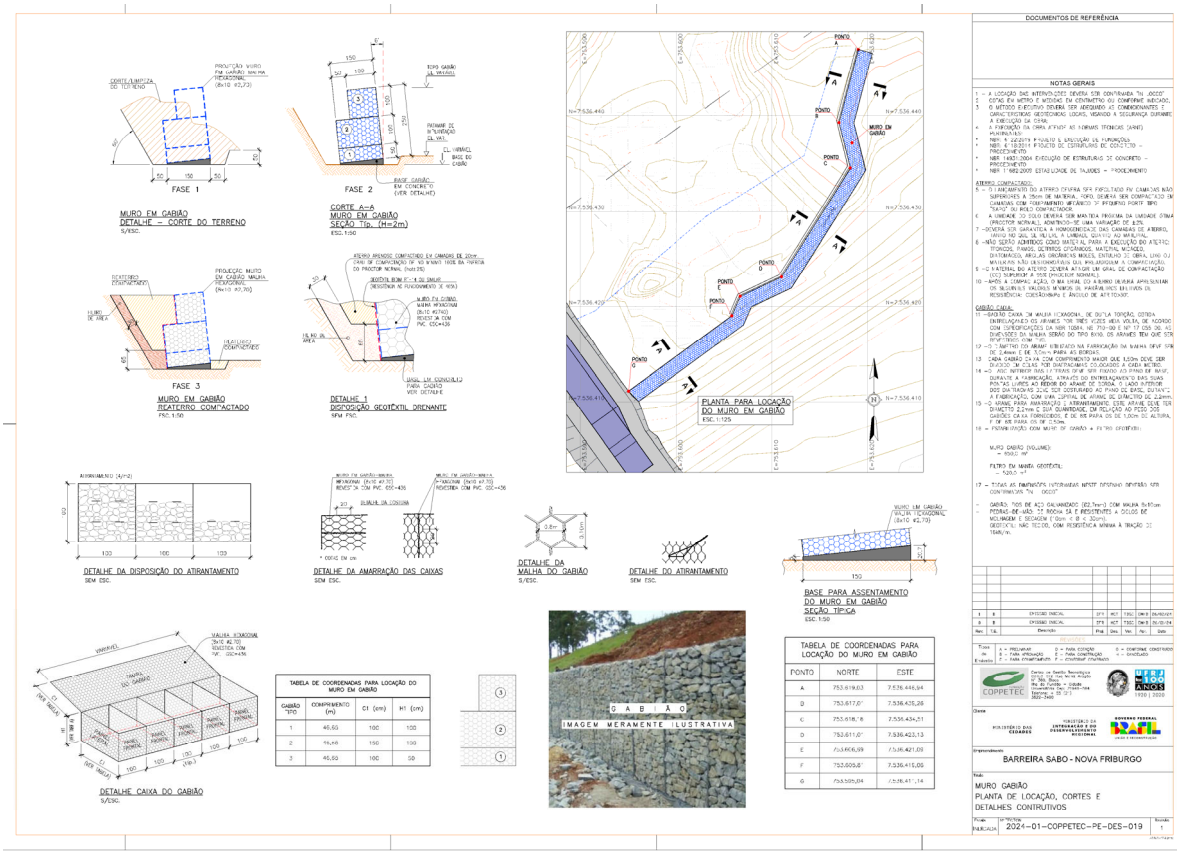

CALHA DE DISSIPAÇÃO - PLANTA
CORTE A-A
CORTE B-B
CORTE C-C
PLANTA CHAVE
BARREIRA PRINCIPAL
CALHA DE DISSIPAÇÃO
PAREDE VERTICAL
BARREIRA SABÓ - NOVA FRIBURGO
CALHA DE DISSIPAÇÃO
FORMAS
PLANTA E SEÇÕES
2024-01-COPPETEC-PE-DES-014

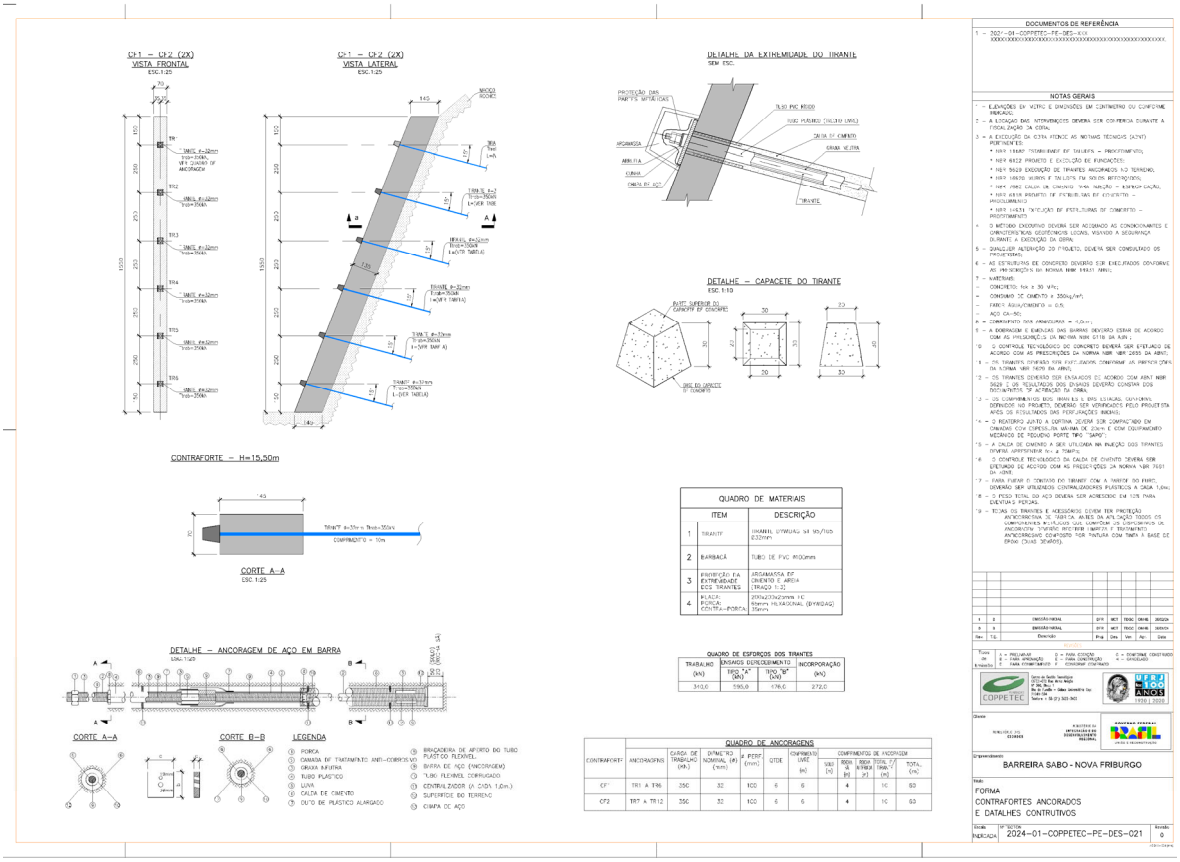

PARDE VERTICAL – PLANTA
PARDE VERTICAL – VISTA A-A
CORTE B-B
CORTE C-C
CORTE D-D
CORTE E-E
CORTE F-F
BARREIRA SABO - NOVA FRIBURGO
PARDE VERTICAL
PLANTA, VISTA E SEÇÕES
2024 01 COPPETEC PE DES 016

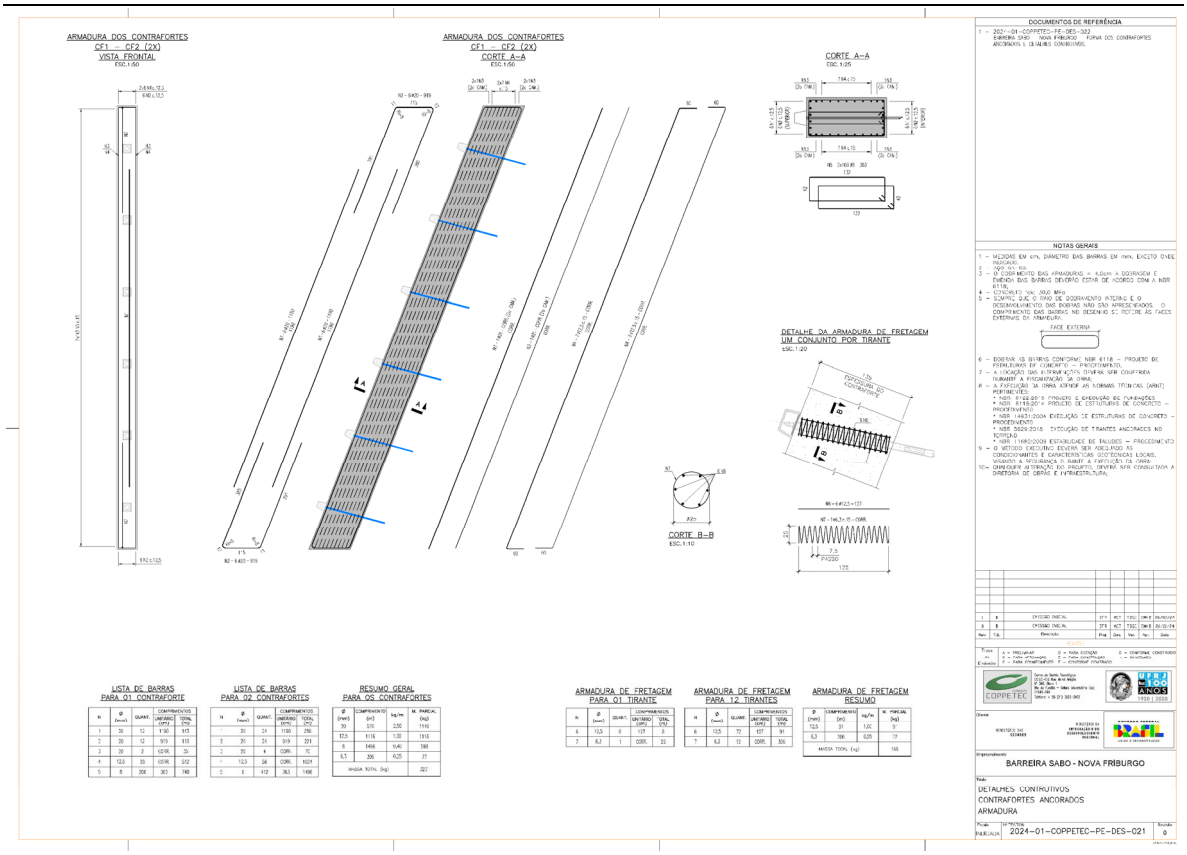

SEÇÃO TRANSVERSAL – DETALHE DO GRAMPO GEWI PLUS Ø25mm
DETALHE DA ARMADURA DE FRETAGEM – PLANTA
CORTE C–C
DETALHE DA TELA
CORTE D–D
DETALHE 1
PORCA HEXAGONAL, ANEL ANGULAR E CONTRA-PORCA
DETALHE DE JUNTA – SEÇÃO
DETALHE DA JUNTA DE DILATAÇÃO DO PROJETADO – VISTA FRONTAL
POSICIONAMENTO DAS MALHAS
DETALHE – CAPACETE DO TIRANTE
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
NOTAS GERAIS
QUADRO DE MATERIAIS
SOLO GRAMPEADO OMBREIRA ESQUERDA – QUANTIDADE DE TELA
SOLO GRAMPEADO OMBREIRA DIREITA – QUANTIDADE DE TELA
SOLO GRAMPEADO OMBREIRA ESQUERDA
SOLO GRAMPEADO OMBREIRA DIREITA
QUADRO DE ANCORAGENS – CONCRETO PROJETADO
BARREIRA SABO - NOVA FRIBURGO
DETALHES CONSTRUTIVOS
SOLO GRAMPEADO COM
CONCRETO PROJETADO
2024-01-COPPETEC-PE-DES-016


DETALHE 1: VISTA FRONTAL ESQUEMÁTICA MACMAT R3 004
DETALHE 3: OPÇÃO DE SOBREPOSIÇÃO ENTRE OS PAINÉIS MACMAT R3 004
DETALHE 2: ANCORAGEM SUPERIOR – MACMAT R3 004
CORTE A–A
DETALHE 4: DISTRIBUIÇÃO DE GRAMPOS
VISTA FRONTAL TÍPICA
DETALHE – GRAMPO E FACE REVESTIDA COM ROMANITA
TERRAPLANAGEM/REVESTIMENTO VEGETAL
DETALHE 1
GRAMPOS METÁLICOS EM FORMA DE "U"
QUADRO DE MATERIAIS
QUADRO DE ANCORAGENS – SOLO GRAMPEADO VERDE
LEGENDA
DOSAGEM DE SEMENTES E FERTILIZANTES (SUGESTÃO)
DOSAGEM (COQUETEL) DE SEMENTES E FERTILIZANTES (MESTURADOS ANTES DA APLICAÇÃO) RECOMENDADO PARA CADA METRO QUADRADO DE ÁREA A SER TRATADA
TRATAMENTOS NA SUPERFÍCIE
SOLO GRAMPEADO COM FACE REVESTIDA EM ROMANITA (335,00 m²)
BARREIRA SABÓ - NOVA FRIBURGO
DETALHES CONSTRUTIVOS – REVESTIMENTO COM ROMANITA
2024-01-PE-COPPETEC-DES-017

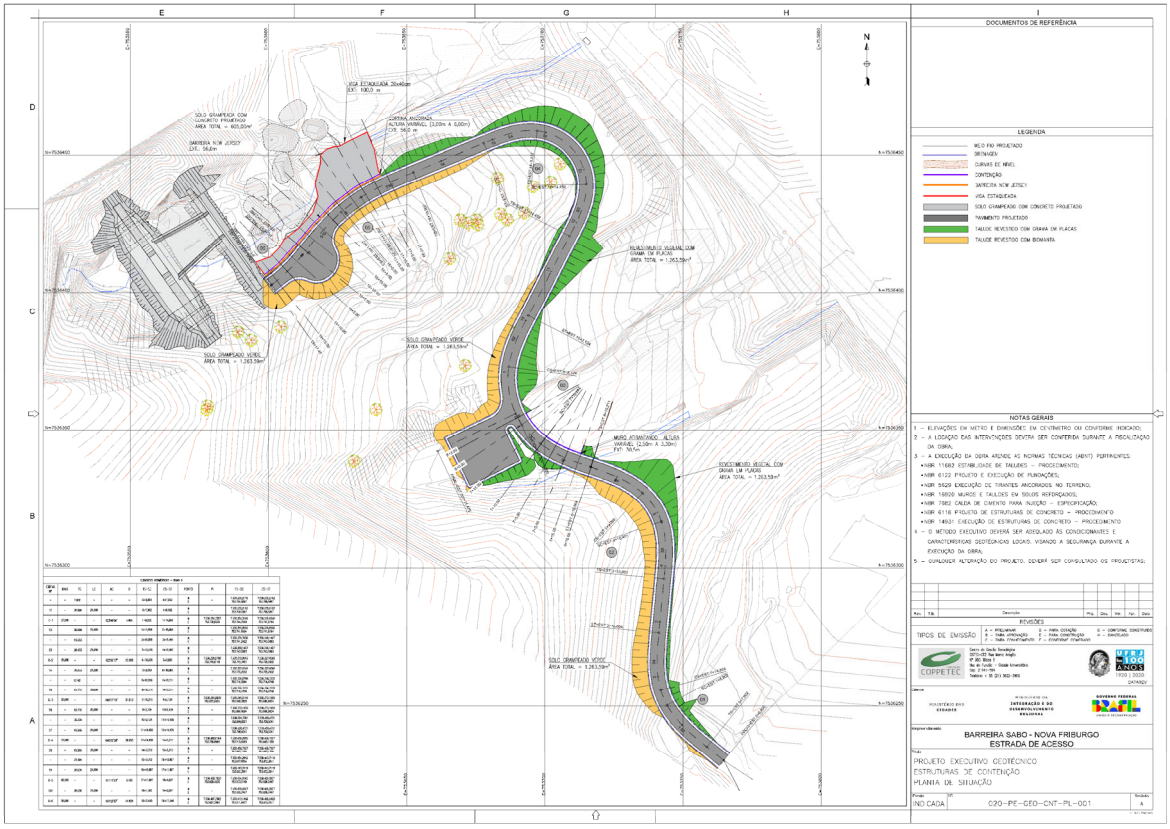

NOTAS GERAIS
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
1 – DETALHES DA PEDRA ARGAMASSADA
LEGENDA:
DETALHES CONSTRUTIVOS DO "RIP-RAP" COM SOLO-CIMENTO
VISTA FRONTAL TÍPICA
DETALHE DA AMARRAÇÃO
DETALHE DO ENCHIMENTO
ENGASTAMENTO JUNTO AO TALUDE EXISTENTE
BARREIRA SABÓ - NOVA FRIBURGO
DETALHES CONSTRUTIVOS
RETALUDAMENTO COM SOLO CIMENTO E REVESTIMENTO COM PEDRA ARGAMASSADA
2024-01-COPPETEC-PE-DES-018


DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
NOTAS GERAIS
FASE 1
MURO EM GABIÃO
DETALHE – CORTE DO TERRENO
FASE 2
CORTE A–A
MURO EM GABIÃO
SEÇÃO Tip. (H=2m)
FASE 3
MURO EM GABIÃO
ATERRO COMPACTADO
DETALHE 1
DISPOSIÇÃO GEOTÊXTIL DRENANTE
PLANTA PARA LOCAÇÃO
DO MURO EM GABIÃO
DETALHE DA DISPOSIÇÃO DO ATIRANTAMENTO
DETALHE DA AMARRAÇÃO DAS CAIXAS
DETALHE DA
MALHA DO GABIÃO
DETALHE DO ATIRANTAMENTO
BASE PARA ASSENTAMENTO
DO MURO EM GABIÃO
SEÇÃO TIPICA
DETALHE CAIXA DO GABIÃO
TABELA DE COORDENADAS PARA LOCAÇÃO DO MURO EM GABIÃO
TABELA DE COORDENADAS PARA
LOCAÇÃO DO MURO EM GABIÃO
PONTO | NORTE | ESTE
A | 753.619,03 | 7.536.446,94
B | 753.617,07 | 7.536.435,26
C | 753.618,78 | 7.536.434,51
D | 753.611,07 | 7.536.423,13
E | 753.606,99 | 7.536.421,09
F | 753.605,68 | 7.536.415,05
G | 753.599,04 | 7.536.411,14
IMAGEM MERAMENTE ILUSTRATIVA
BARREIRA SABO - NOVA FRIBURGO
MURO GABIÃO
PLANTA DE LOCAÇÃO, CORTES E
DETALHES CONTRUTIVOS
2024-01-COPPETEC-PE-DES-019


DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
NOTAS GERAIS
CT1 – CT2 (CX)
VISTA FRONTAL
CT1 – CT2 (CX)
VISTA LATERAL
DETALHE DA EXTREMIDADE DO TIRANTE
DETALHE – CAPACETE DO TIRANTE
CONTRAFORTE – H=15,50m
CORTE A–A
QUADRO DE MATERIAIS
ITEM | DESCRIÇÃO
1 TIRANTE
2 BARBACÃ
3 PREENCHIMENTO DA EXTREMIDADE
4 BLOCO CONTRA-FORÇA
QUADRO DE ESFORÇOS DOS TIRANTES
TRABALHO (kN) | ENSAIOS DE RECEBIMENTO TIPO "A" (kN) | TIPO "B" (kN) | INCORPORAÇÃO (kN)
310,0 | 590,0 | 676,0 | 272,0
DETALHE – ANCORAGEM DE AÇO EM BARRA
CORTE A–A
CORTE B–B
LEGENDA
QUADRO DE ANCORAGENS
CONTRAFORTE | ANCORAGENS | CARGA DE TRABALHO (kN) | DIÂMETRO NOMINAL (Ø) (mm) | Ø FERF (mm) | GTDE | COMPRIMENTO (MÉD) (m)
CF1 | TR1 A TR6 | 350 | 32 | 100 | 6 | 6
CF2 | TR7 A TR12 | 350 | 32 | 100 | 6 | 6
BARREIRA SABO - NOVA FRIBURGO
FORMA
CONTRAFORTES ANCORADOS
E DETALHES CONTRUTIVOS
2024-01-COPPETEC-PE-DES-021


ARMADURA DOS CONTRAFORTES
CF1 - CF2 (2X)
VISTA FRONTAL
ESC.1:50
ARMADURA DOS CONTRAFORTES
CF1 - CF2 (2X)
CORTE A-A
ESC.1:50
CORTE A-A
ESC.1:25
DETALHE DA ARMADURA DE FRETAGEM
UM CONJUNTO POR TIRANTE
ESC.1:20
CORTE B-B
ESC.1:10
LISTA DE BARRAS
PARA 01 CONTRAFORTE
LISTA DE BARRAS
PARA 02 CONTRAFORTES
RESUMO GERAL
PARA OS CONTRAFORTES
ARMADURA DE FRETAGEM
PARA 01 TIRANTE
ARMADURA DE FRETAGEM
PARA 12 TIRANTES
ARMADURA DE FRETAGEM
RESUMO
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
NOTAS GERAIS
BARREIRA SABO - NOVA FRIBURGO
DETALHES CONTRUTIVOS
CONTRAFORTES ANCORADOS
ARMADURA
2024-01-COPPETEC-PE-DES-021

2.6.2 維持管理用道路


DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
LEGENDA
NOTAS GERAIS
REVISÕES
TIPOS DE EMISSÃO
COPPETEC
BARREIRA SABO - NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO
PLANTA DE SITUAÇÃO
020-PE-GEO-CNT-PL-001

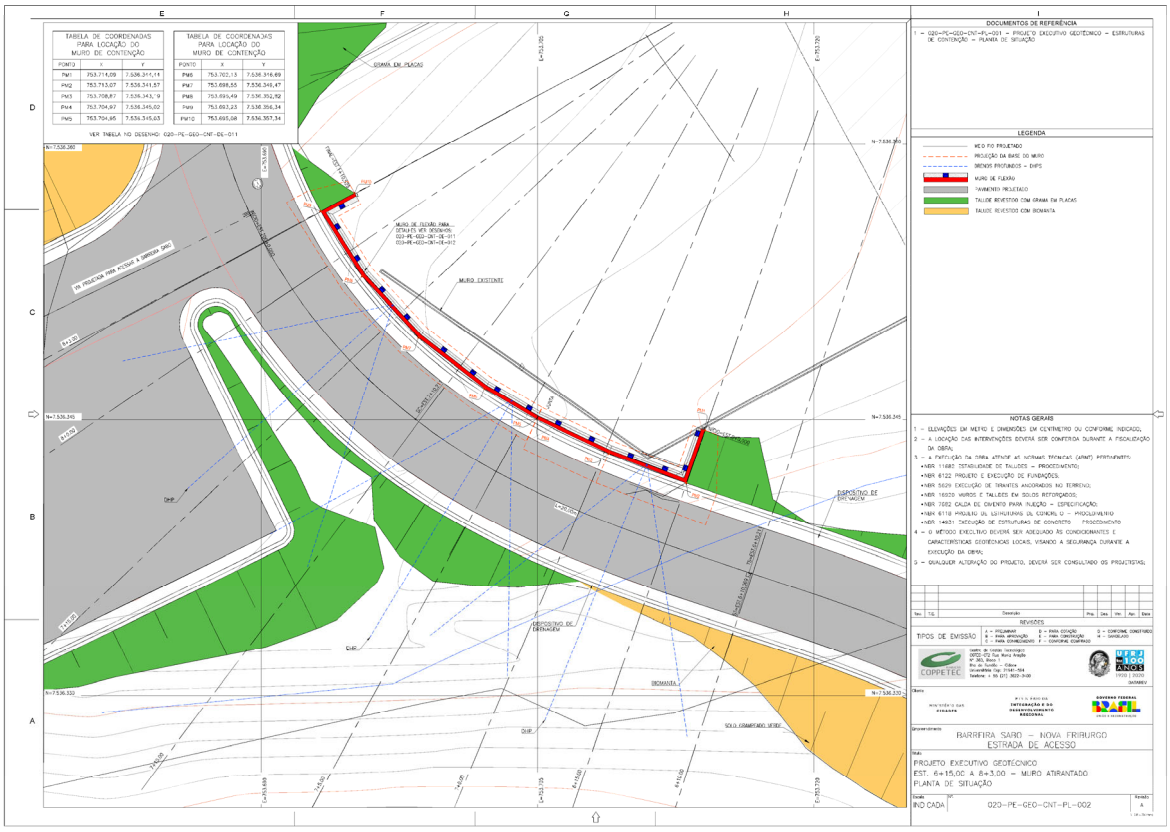


TABELA DE COORDENADAS PARA LOCAÇÃO DO MURO DE CONTENÇÃO
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
LEGENDA
NOTAS GERAIS
REVISÕES
TIPOS DE EMISSÃO
COPPETEC
BARREIRA SABO - NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
EST. 6+15,00 A 8+3,00 - MURO ATIRANTADO
PLANTA DE SITUAÇÃO
020-PE-GEO-CNT-PL-002

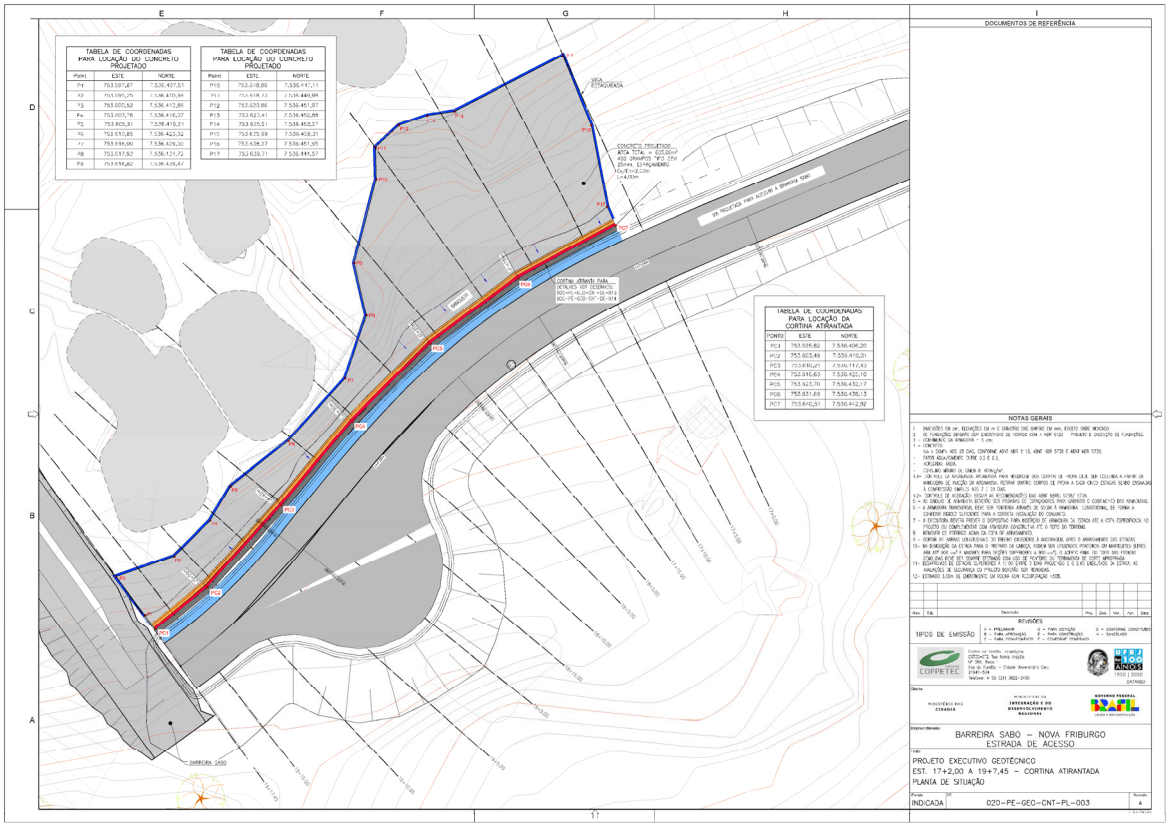
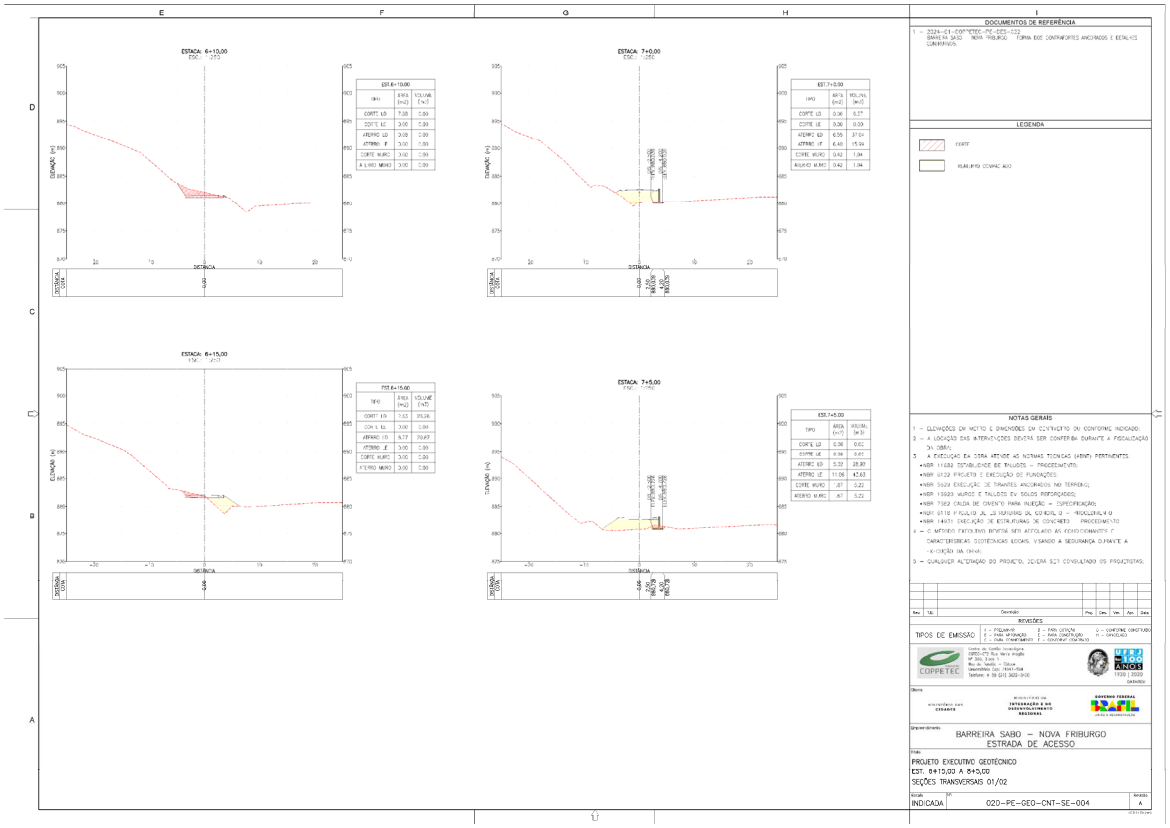
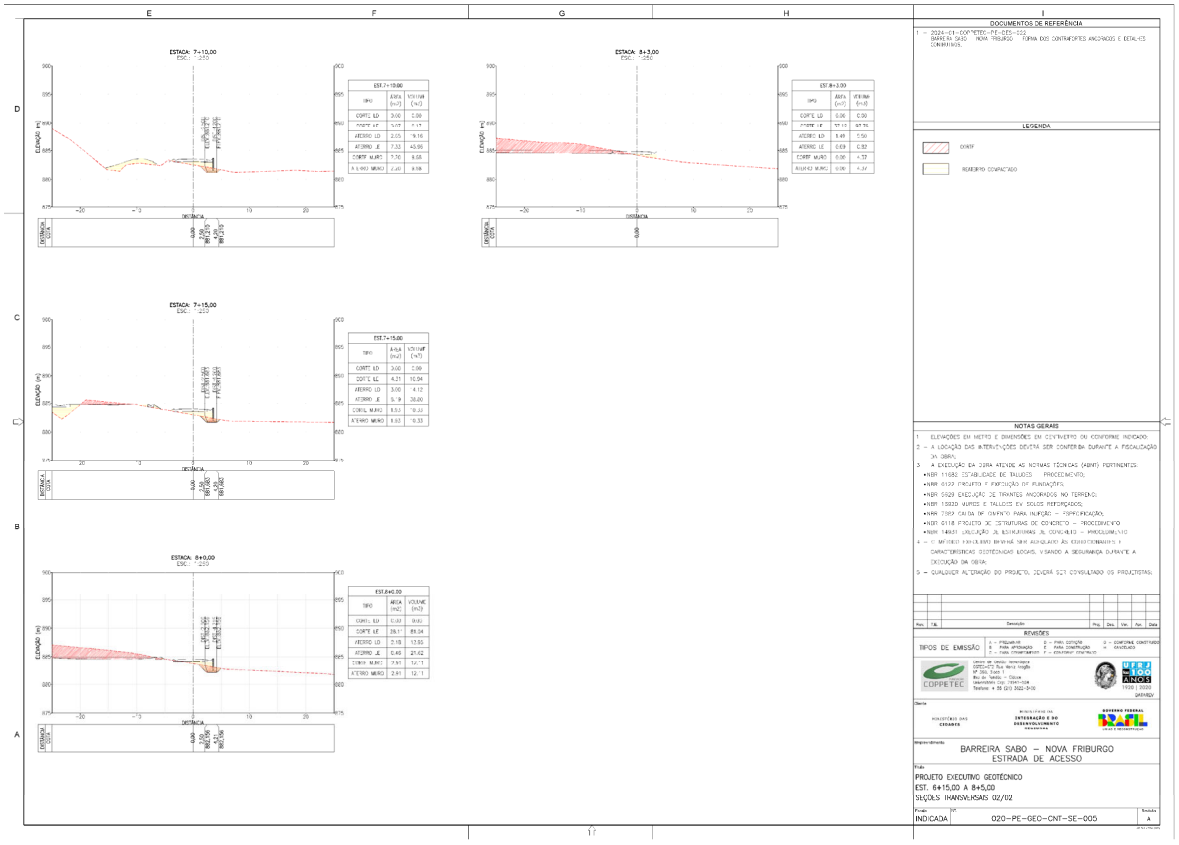
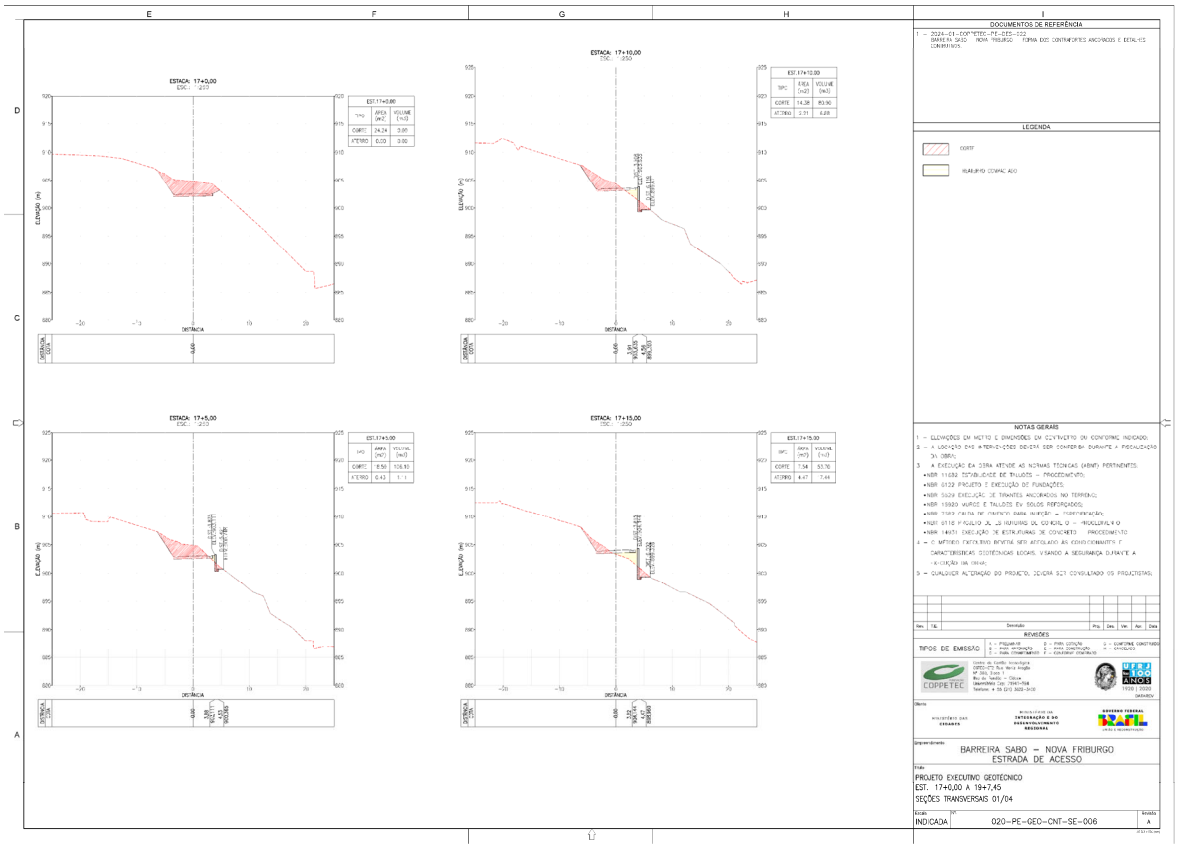
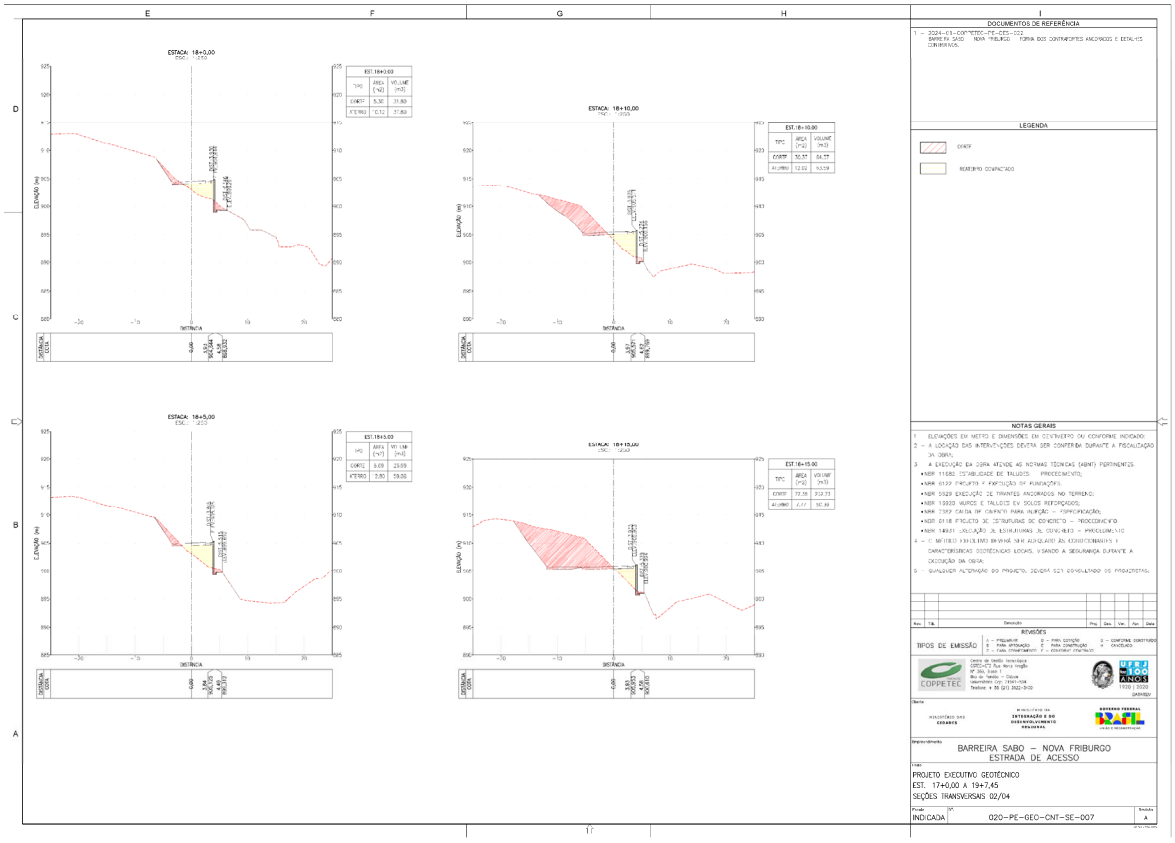


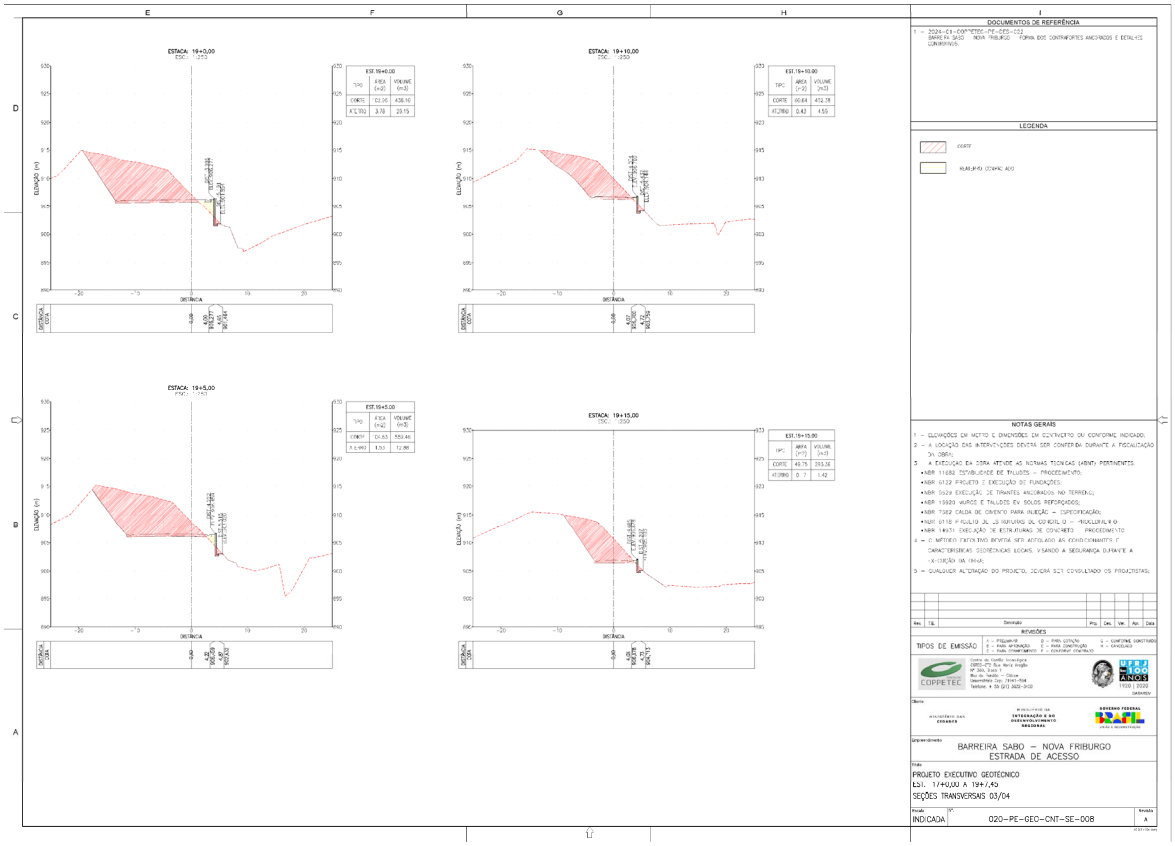
TABELA DE COORDENADAS PARA LOCALIÇÃO DO CONCRETO PROJETADO
TABELA DE COORDENADAS PARA LOCAÇÃO DO CONCRETO PROJETADO
TABELA DE COORDENADAS PARA LOCAÇÃO DA CORTINA ATIRANTADA
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
NOTAS GERAIS
REVISÕES
TIPOS DE EMISSÃO
BARREIRA SABÓ – NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
EST. 17+2,00 A 19+7,45 – CORTINA ATIRANTADA
PLANTA DE SITUAÇÃO
INDICADA
020-PE-GEO-CNT-PL-003

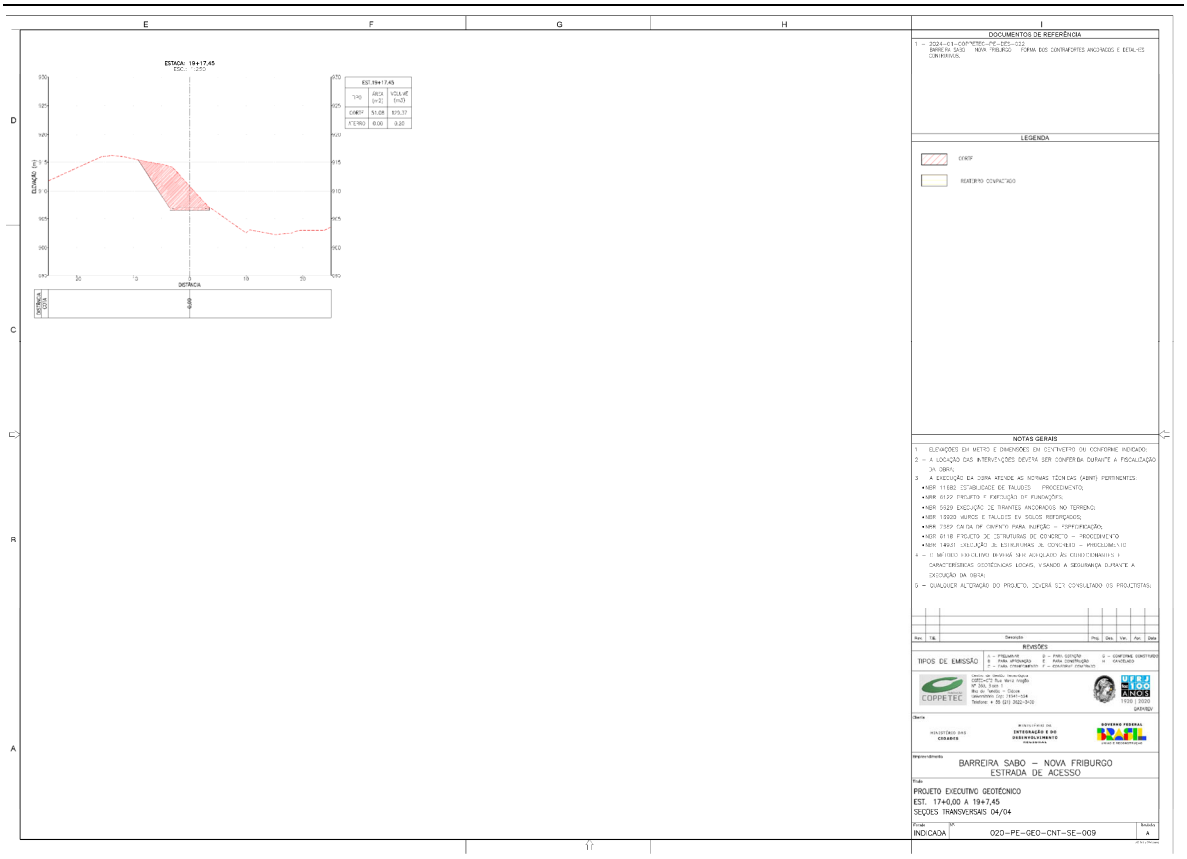

ESTACA: 6+10,00
ESTACA: 7+0,00
ESTACA: 6+15,00
ESTACA: 7+5,00
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
LEGENDA
NOTAS GERAIS
REVISÕES
TIPOS DE EMISSÃO
BARREIRA SABÓ – NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
EST. 8+10,00 A 9+5,00
SEÇÕES TRANSVERSAIS 01/02
INDICADA
020-PE-GEO-CNT-SE-004

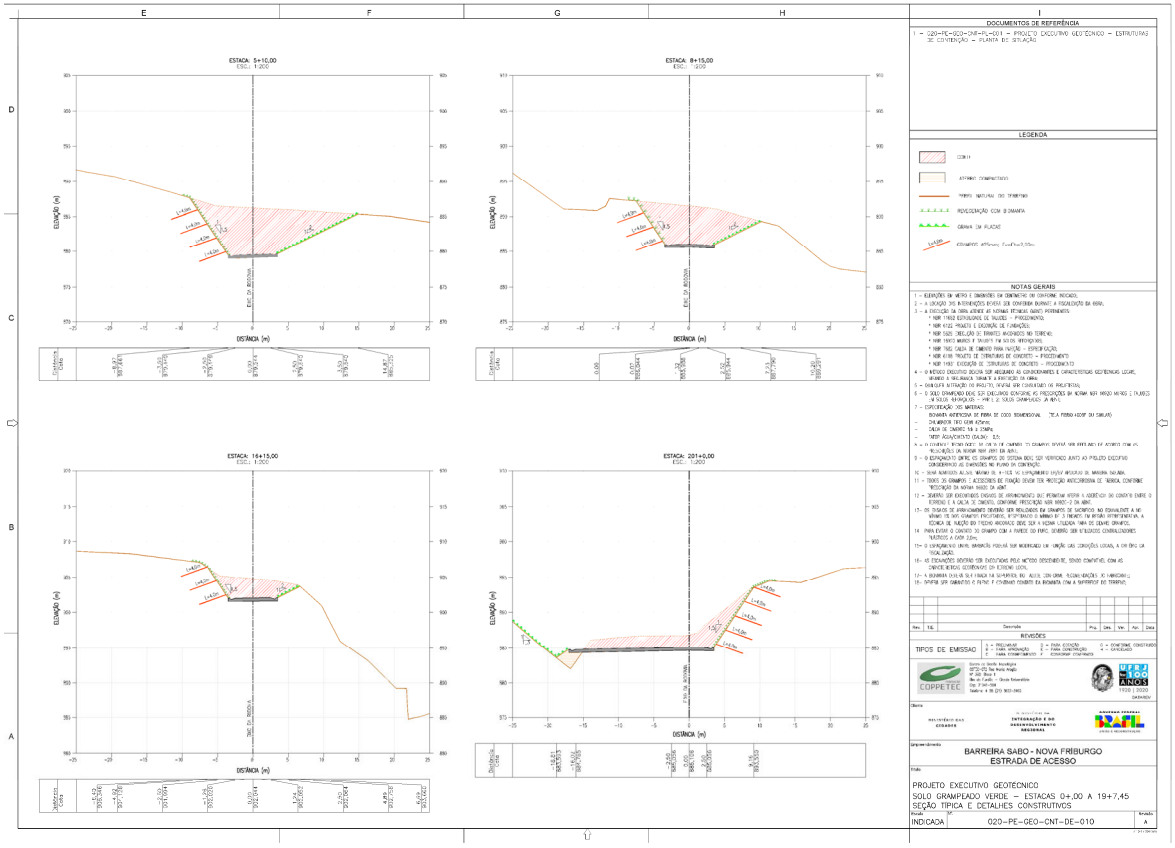

ESTACA: 7+10,00
ESTACA: 8+3,00
ESTACA: 7+15,00
ESTACA: 8+0,00
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
LEGENDA
NOTAS GERAIS
REVISÕES
TIPOS DE EMISSÃO
BARREIRA SABÓ – NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
EST. 6+15,00 A 8+5,00
SEÇÕES TRANSVERSAIS 02/02
020–PE–GEO–CNT–SE–005

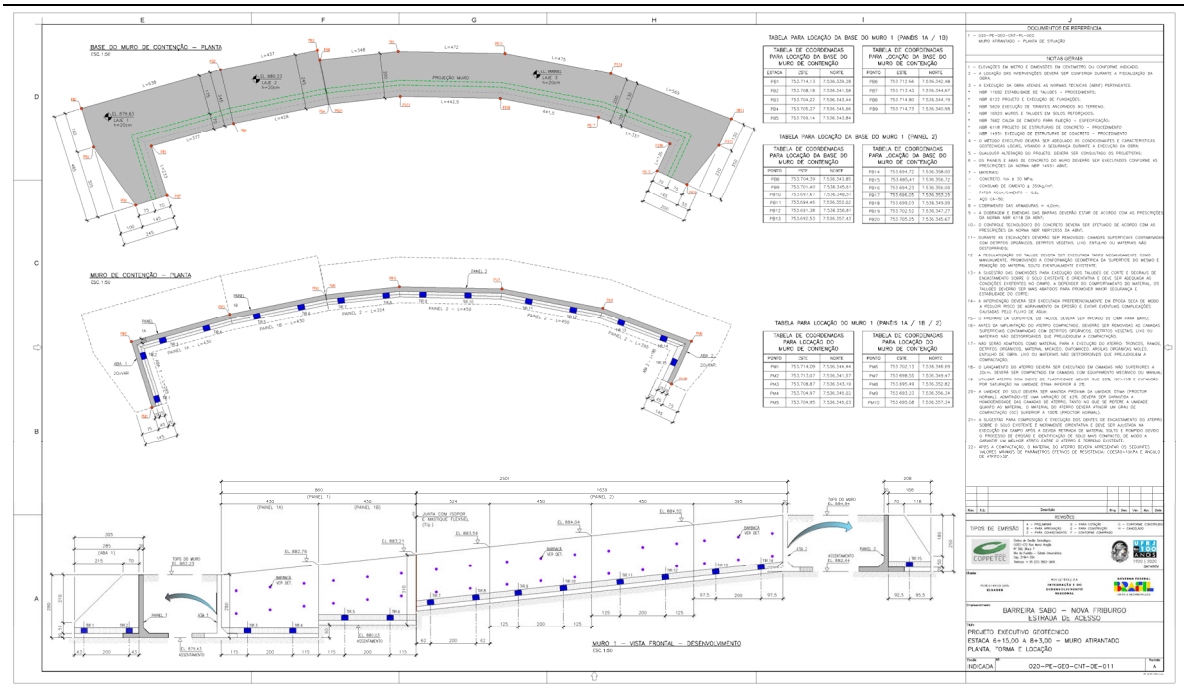

ESTACA: 17+0,00
ESTACA: 17+10,00
ESTACA: 17+5,00
ESTACA: 17+15,00
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
LEGENDA
NOTAS GERAIS
REVISÕES
TIPOS DE EMISSÃO
BARREIRA SABÓ – NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
EST. 17+0,00 A 19+7,45
SEÇÕES TRANSVERSAIS 01/04
020–PE–GEO–CNT–SE–006

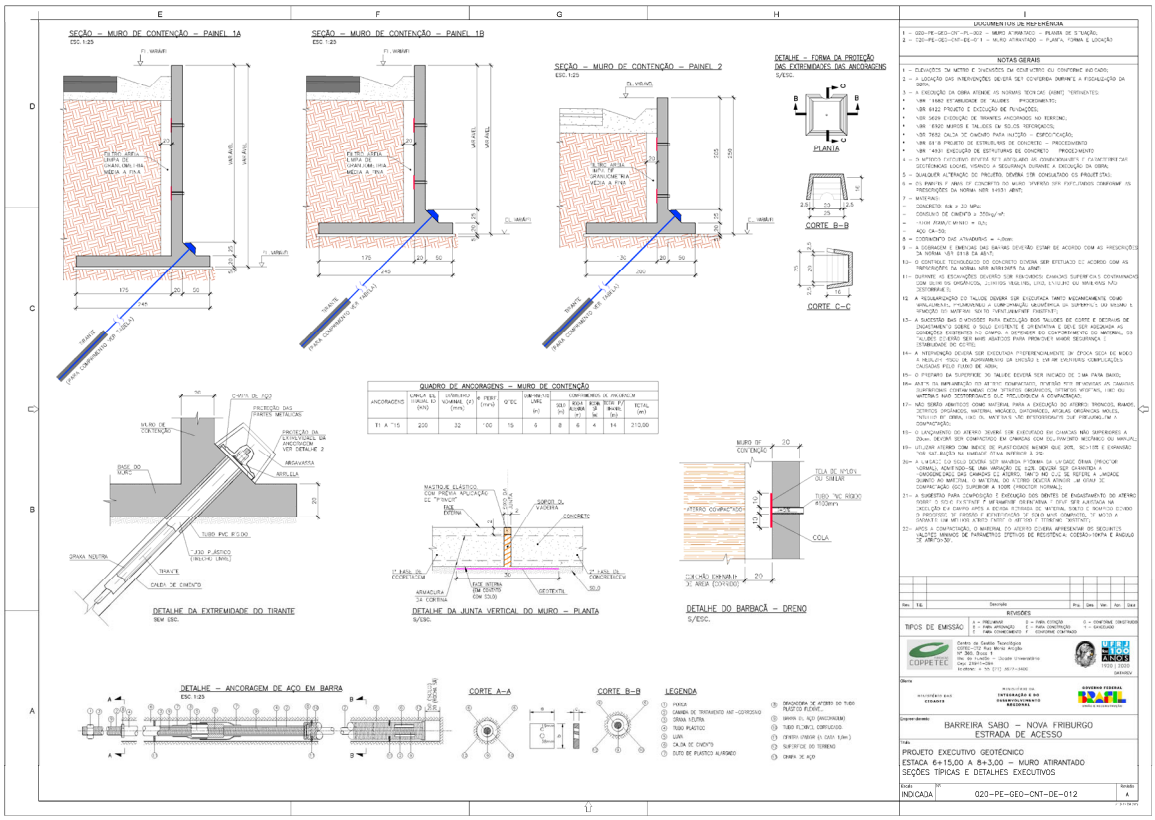

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
LEGENDA
NOTAS GERAIS
REVISÕES
TIPOS DE EMISSÃO
BARREIRA SABO – NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
EST. 17+0,00 A 19+7,45
SEÇÕES TRANSVERSAIS 02/04
020-PE-GEO-CNT-SE-007

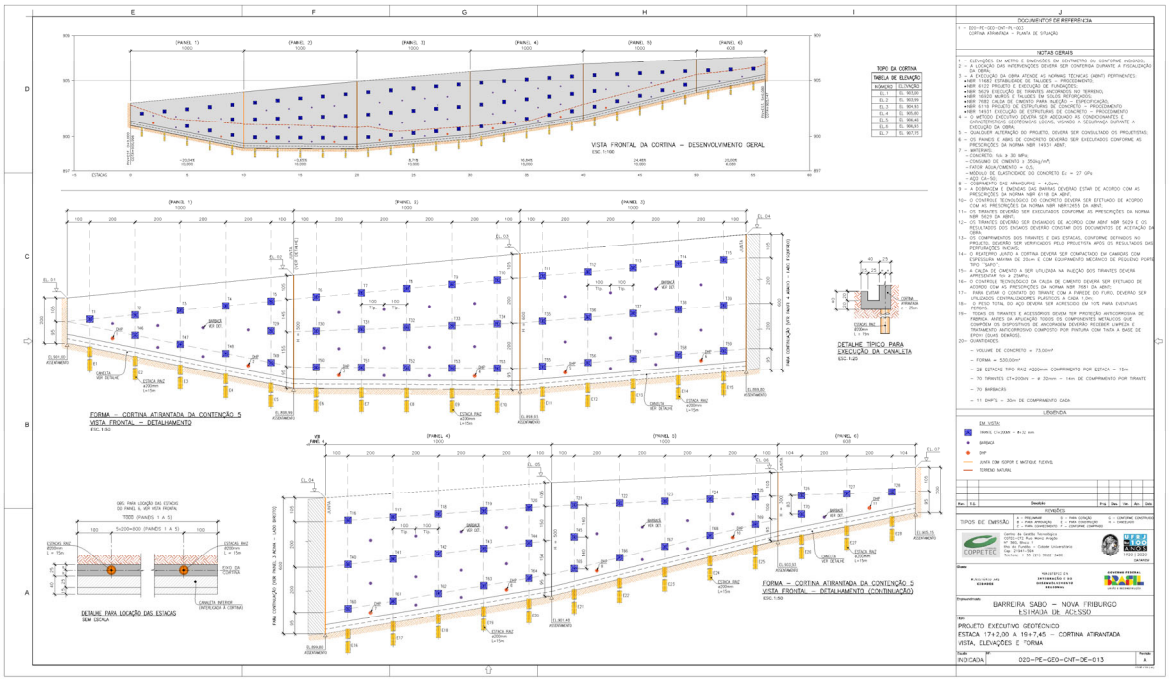

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
LEGENDA
NOTAS GERAIS
REVISÕES
TIPOS DE EMISSÃO
BARREIRA SABO – NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
EST. 17+0,00 A 19+7,45
SEÇÕES TRANSVERSAIS 03/04
020-PE-GEO-CNT-SE-008

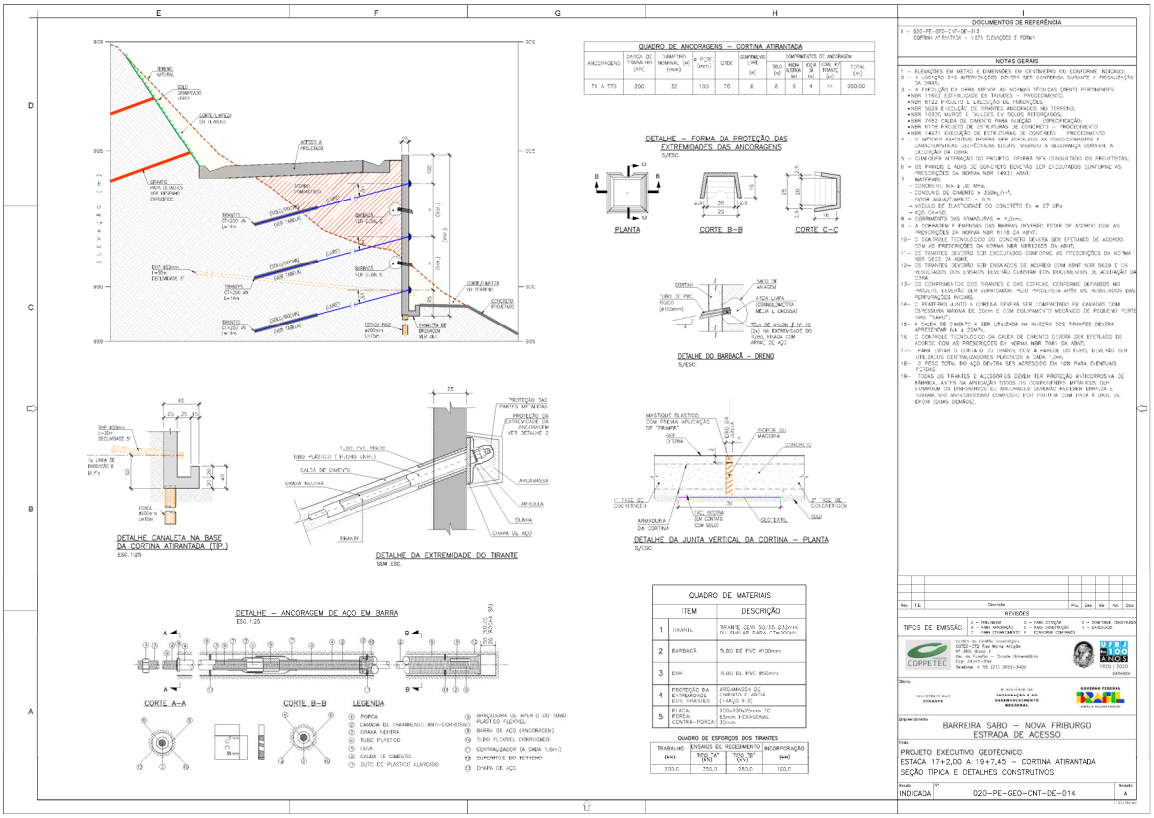

ESTACA: 19+17,45
ESC.: 1:250
DISTÂNCIA
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
LEGENDA
NOTAS GERAIS
REVISÕES
TIPOS DE EMISSÃO
COPPETEC
BARREIRA SABO – NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
EST. 17+0,00 A 19+7,45
SEÇÕES TRANSVERSAIS 04/04
INDICADA
020-PE-GEO-CNT-SE-009

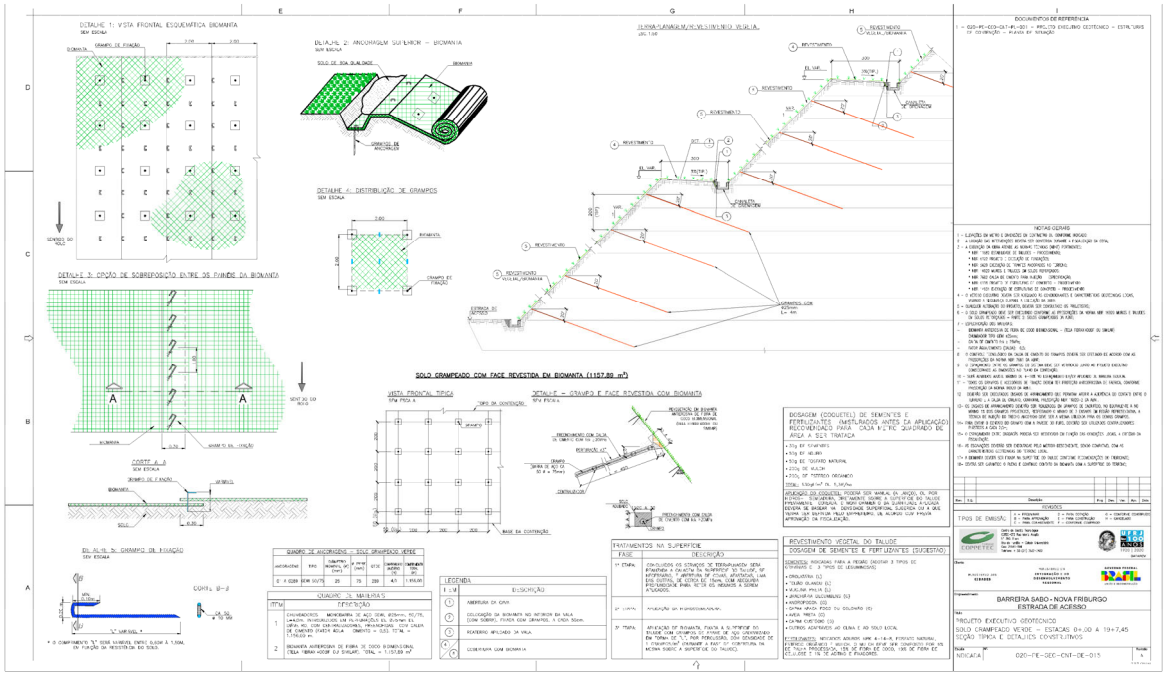

ESTACA: 5+10,00
ESC.: 1:200
ESTACA: 8+15,00
ESC.: 1:200
ESTACA: 16+15,00
ESC.: 1:200
ESTACA: 20+0,00
ESC.: 1:200
DISTÂNCIA (m)
ELEVAÇÃO (m)
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
LEGENDA
NOTAS GERAIS
REVISÕES
TIPOS DE EMISSÃO
COPPETEC
BARREIRA SABO - NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
SOLO GRAMPEADO VERDE – ESTACAS 0+,00 A 19+7,45
SEÇÃO TÍPICA E DETALHES CONSTRUTIVOS
INDICADA
020-PE-GEO-CNT-DE-010

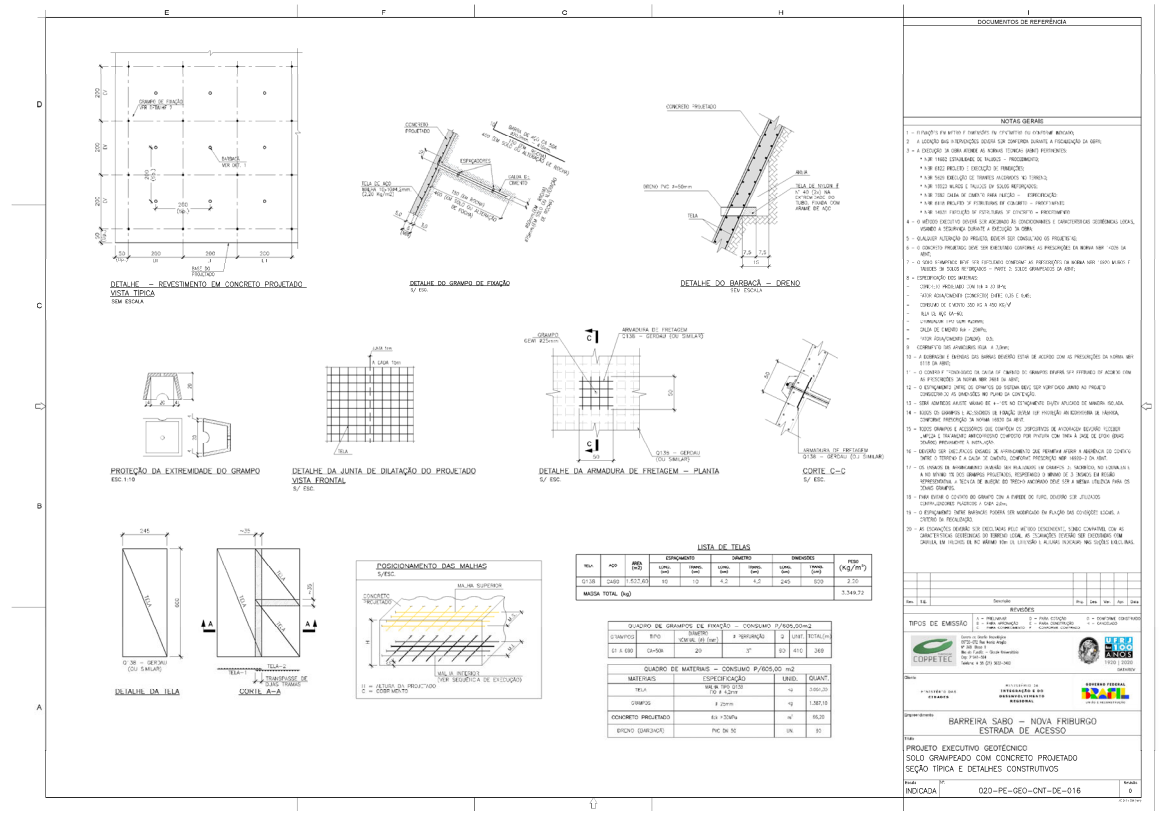

BASE DO MURO DE CONTENÇÃO – PLANTA
MURO DE CONTENÇÃO – PLANTA
MURO 1 – VISTA FRONTAL – DESENVOLVIMENTO
BARREIRA SABÃO – NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
ESTACA 6+15,00 A 8+3,00 – MURO ATIRANTADO
PLANTA, FORMA E LOCAÇÃO
020-PE-GEO-CNT-DE-011

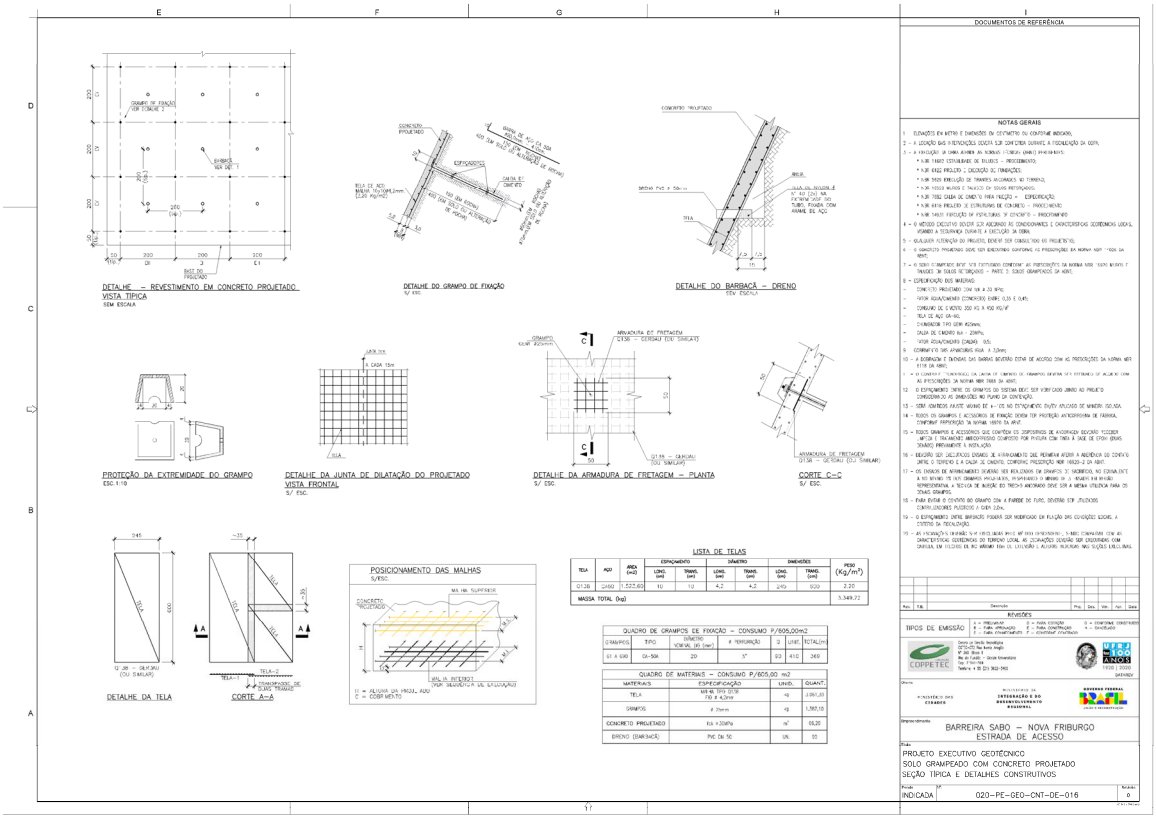

SEÇÃO – MURO DE CONTENÇÃO – PAINEL 1A
SEÇÃO – MURO DE CONTENÇÃO – PAINEL 1B
SEÇÃO – MURO DE CONTENÇÃO – PAINEL 2
DETALHE – FORMA DA PROTEÇÃO DAS EXTREMIDADES DAS ANCORAGENS
QUADRO DE ANCORAGENS – MURO DE CONTENÇÃO
DETALHE DO TIRANTE
DETALHE DA JUNTA VERTICAL DO MURO – PLANTA
DETALHE DO BARBACÃ – DRENO
DETALHE – ANCORAGEM DE AÇO EM BARRA
CORTE A–A
CORTE B–B
LEGENDA
BARREIRA SABÃO – NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
ESTACA 6+15,00 A 8+3,00 – MURO ATIRANTADO
SEÇÕES TÍPICAS E DETALHES EXECUTIVOS
020-PE-GEO-CNT-DE-012

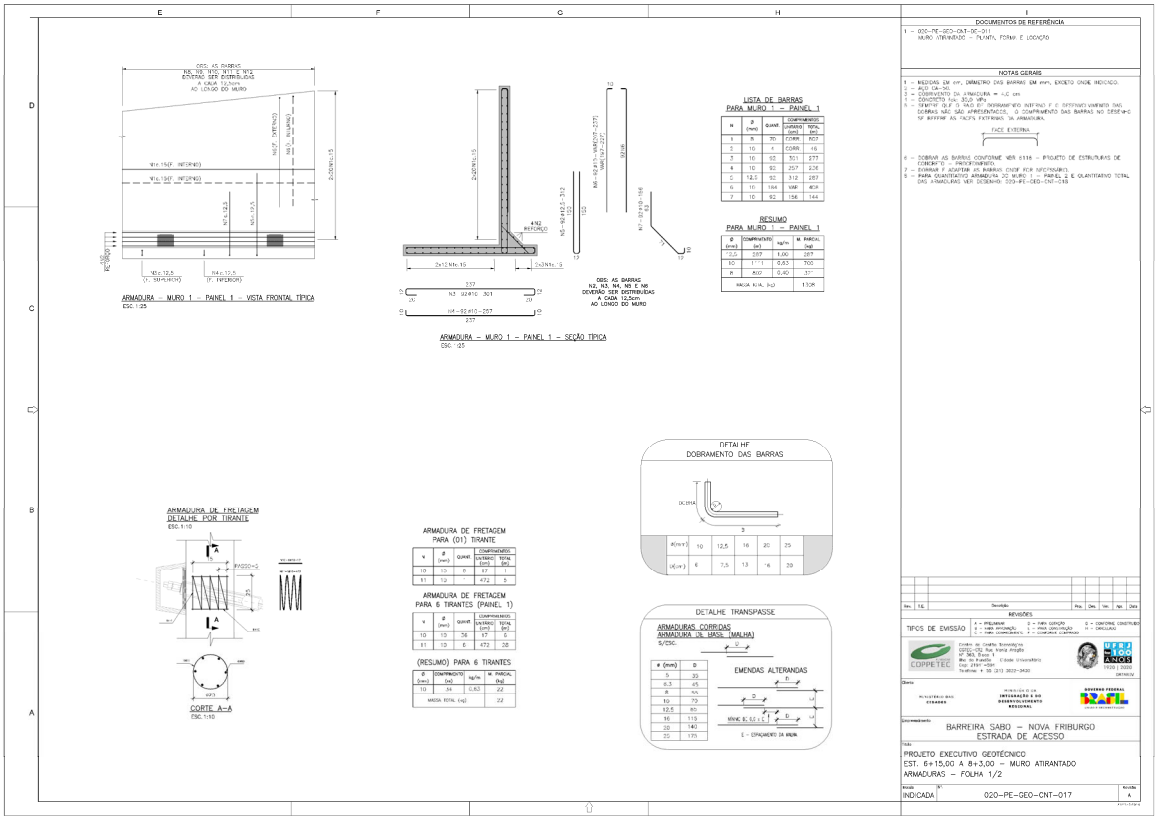

VISTA FRONTAL DA CORTINA – DESENVOLVIMENTO GERAL
FORMA – CORTINA ATIRANTADA DA CONTENÇÃO 5
VISTA FRONTAL – DETALHAMENTO
FORMA – CORTINA ATIRANTADA DA CONTENÇÃO 5
VISTA FRONTAL – DETALHAMENTO (CONTINUAÇÃO)
DETALHE TÍPICO PARA EXECUÇÃO DA CANALETA
DETALHE PARA LOCAÇÃO DAS ESTACAS
BARREIRA SABÓ – NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
ESTACA 17+2,00 A 19+7,45 – CORTINA ATIRANTADA
VISTA, ELEVAÇÕES E TÔRNA
020-PE-GEO-CNT-DE-013

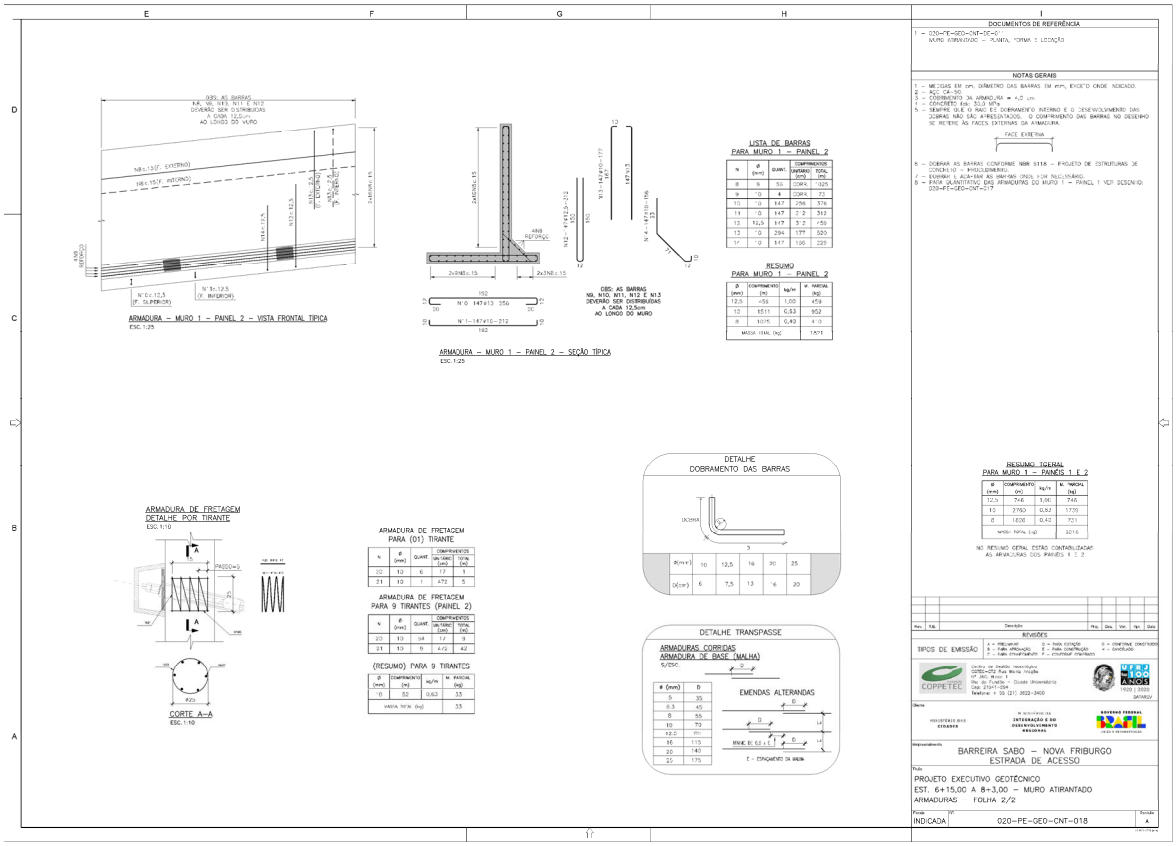

QUADRO DE ANCORAGENS – CORTINA ATIRANTADA
DETALHE – FORMA DA PROTEÇÃO DAS EXTREMIDADES DAS ANCORAGENS
PLANTA
CORTE B–B
CORTE C–C
DETALHE DO BARBACÃ – DRENO
DETALHE CANALETA NA BASE DA CORTINA ATIRANTADA (TIP.)
DETALHE DA EXTREMIDADE DO TIRANTE
DETALHE DA JUNTA VERTICAL DA CORTINA – PLANTA
DETALHE – ANCORAGEM DE AÇO EM BARRA
CORTE A–A
CORTE B–B
LEGENDA
QUADRO DE MATERIAIS
QUADRO DE ESFORÇOS DOS TIRANTES
BARREIRA SABÓ – NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
ESTACA 17+2,00 A 19+7,45 – CORTINA ATIRANTADA
SEÇÃO TÍPICA E DETALHES CONSTRUTIVOS
020-PE-GEO-CNT-DE-014

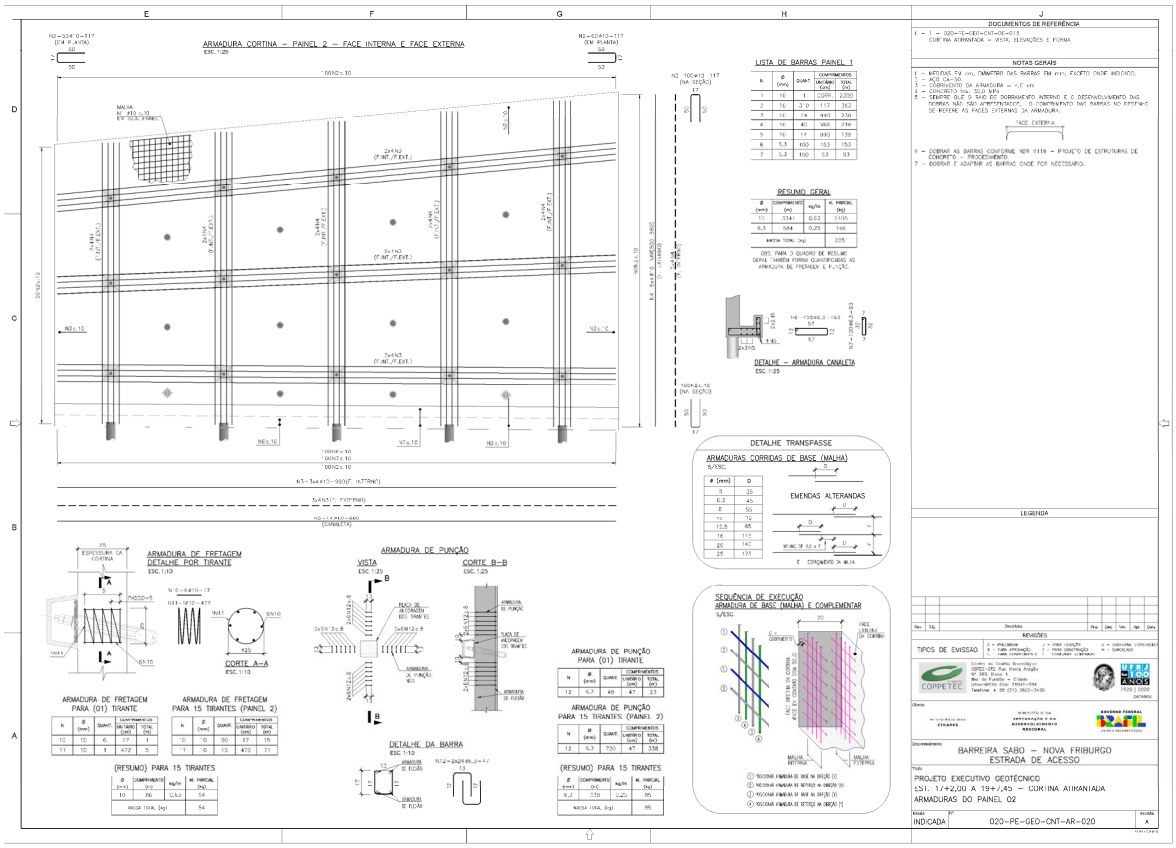

DETALHE 1: VISTA FRONTAL ESQUEMÁTICA BIOMANTA
DETALHE 2: ANCORAGEM SUPERIOR – BIOMANTA
DETALHE 4: DISTRIBUIÇÃO DE GRAMPOS
DETALHE 3: OPÇÃO DE SOBREPOSIÇÃO ENTRE OS PAINÉIS DA BIOMANTA
SOLO GRAMPEADO COM FACE REVESTIDA EM BIOMANTA (1157,89 m²)
DETALHE – GRAMPO E FACE REVESTIDA COM BIOMANTA
VISTA FRONTAL TÍPICA
DOSAGEM (COQUETEL) DE SEMENTES E FERTILIZANTES (INSTALADOS ANTES DA APLICAÇÃO) RECOMENDADO PARA CADA 1 M² DE ÁREA A SER TRATADA
REVESTIMENTO VEGETAL DO TALUDE
DOSAGEM DE SEMENTES E FERTILIZANTES (SUGERIDO)
TIPOS DE EMISSÃO
BARREIRA SABÓ - NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
SOLO GRAMPEADO VERDE – ESTACAS 0+00 A 19+7,45
SEÇÃO TÍPICA E DETALHES CONSTRUTIVOS
INDICADA
020-PE-GEO-CNT-DE-015

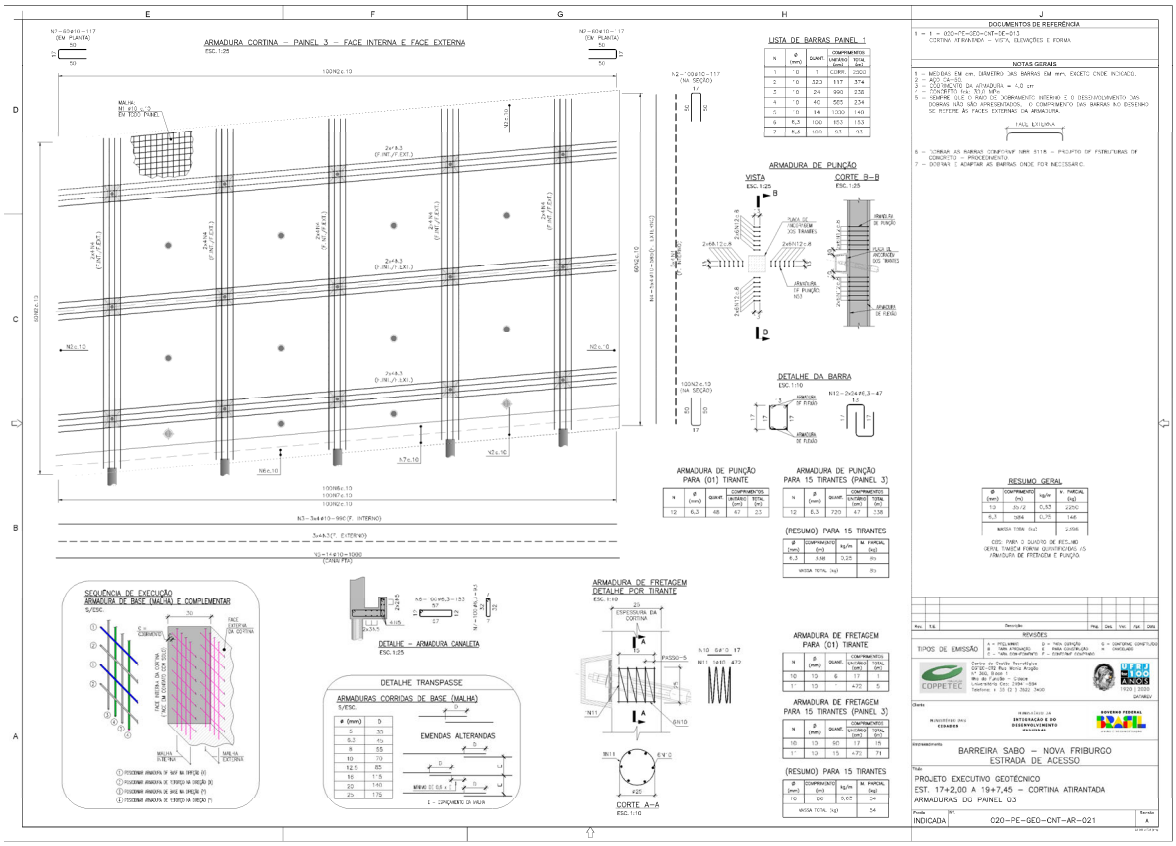

DETALHE – REVESTIMENTO EM CONCRETO PROJETADO VISTA TÍPICA
DETALHE DO GRAMPO DE FIXAÇÃO
DETALHE DO BARRAÇÃ – DRENO
PROTEÇÃO DA EXTREMIDADE DO GRAMPO
DETALHE DA JUNTA DE DILATAÇÃO DO PROJETADO VISTA FRONTAL
DETALHE DA ARMADURA DE FRETAGEM – PLANTA
CORTE C–C
DETALHE DA ILLA
CORTE A–A
POSICIONAMENTO DAS MALHAS
LISTA DE TELAS
QUADRO DE GRAMPOS DE FIXAÇÃO – CONSUMO P/605,00m2
QUADRO DE MATERIAIS – CONSUMO P/605,00 m2
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
NOTAS GERAIS
REVISÕES
TIPOS DE EMISSÃO
BARREIRA SABÓ – NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
SOLO GRAMPEADO COM CONCRETO PROJETADO
SEÇÃO TÍPICA E DETALHES CONSTRUTIVOS
INDICADA
020-PE-GEO-CNT-DE-016

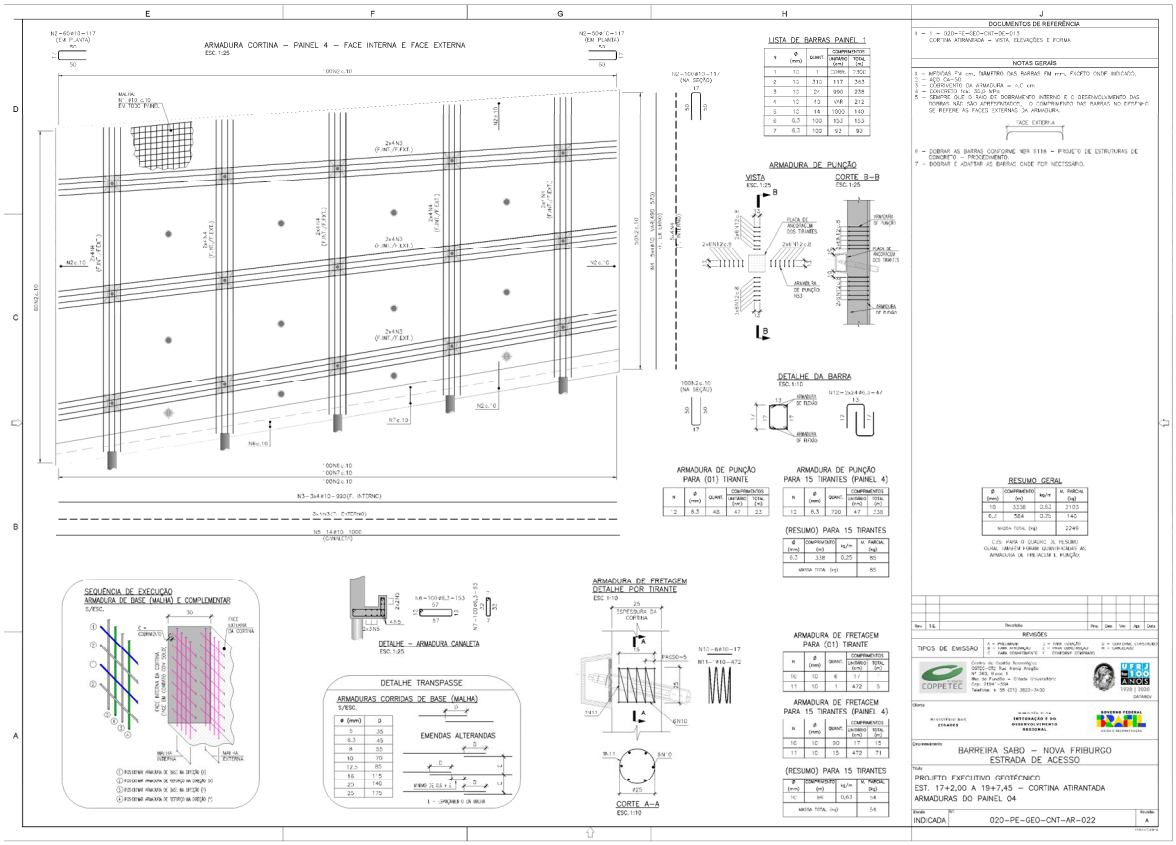

DETALHE – REVESTIMENTO EM CONCRETO PROJETADO VISTA TÍPICA
DETALHE DO GRAMPO DE FIXAÇÃO
DETALHE DO BARBACÃ – DRENO
PROTEÇÃO DA EXTREMIDADE DO GRAMPO
DETALHE DA JUNTA DE DILATAÇÃO DO PROJETADO VISTA FRONTAL
DETALHE DA ARMADURA DE FRETAGEM – PLANTA
CORTE C–C
DETALHE DA TELA
CORTE A–A
POSICIONAMENTO DAS MALHAS
LISTA DE TELAS
QUADRO DE GRAMPOS EE FIXAÇÃO – CONSUMO P/605,00m2
QUADRO DE MATERIAIS – CONSUMO P/605,00 m2
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
NOTAS GERAIS
REVISÕES
TIPOS DE EMISSÃO
COPPETEC
UFRJ
INEA
BARREIRA SABO – NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
SOLO GRAMPEADO COM CONCRETO PROJETADO
SEÇÃO TÍPICA E DETALHES CONSTRUTIVOS
020–PE–GEO–CNT–DE–016

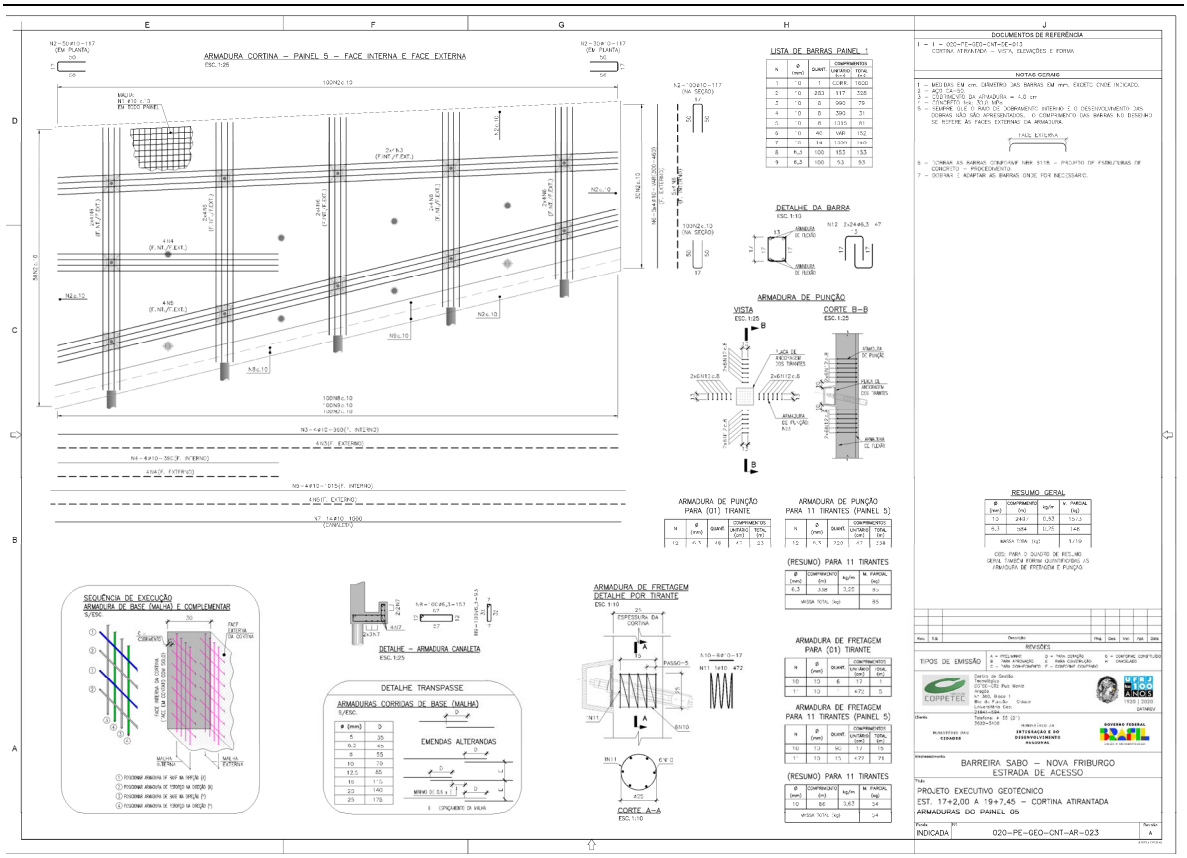

ARMADURA – MURO 1 – PAINEL 1 – VISTA FRONTAL TÍPICA
ARMADURA – MURO 1 – PAINEL 1 – SEÇÃO TÍPICA
LISTA DE BARRAS PARA MURO 1 – PAINEL 1
RESUMO PARA MURO 1 – PAINEL 1
DETAL HF DOBRAMENTO DAS BARRAS
ARMADURA DE FRETAGEM PARA (01) TIRANTE
ARMADURA DE FRETAGEM PARA 6 TIRANTES (PAINEL 1)
(RESUMO) PARA 6 TIRANTES
DETALHE TRANSPASSE
ARMADURAS CORRIDAS
ARMADURA DE MASS. (MALHA)
EMENDAS ALTERANDAS
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
NOTAS GERAIS
REVISÕES
TIPOS DE EMISSÃO
COPPETEC
UFRJ
INEA
BARREIRA SABO – NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
EST. 6+15,00 A 8+3,00 – MURO ATIRANTADO
ARMADURAS – FOLHA 1/2
020–PE–GEO–CNT–017

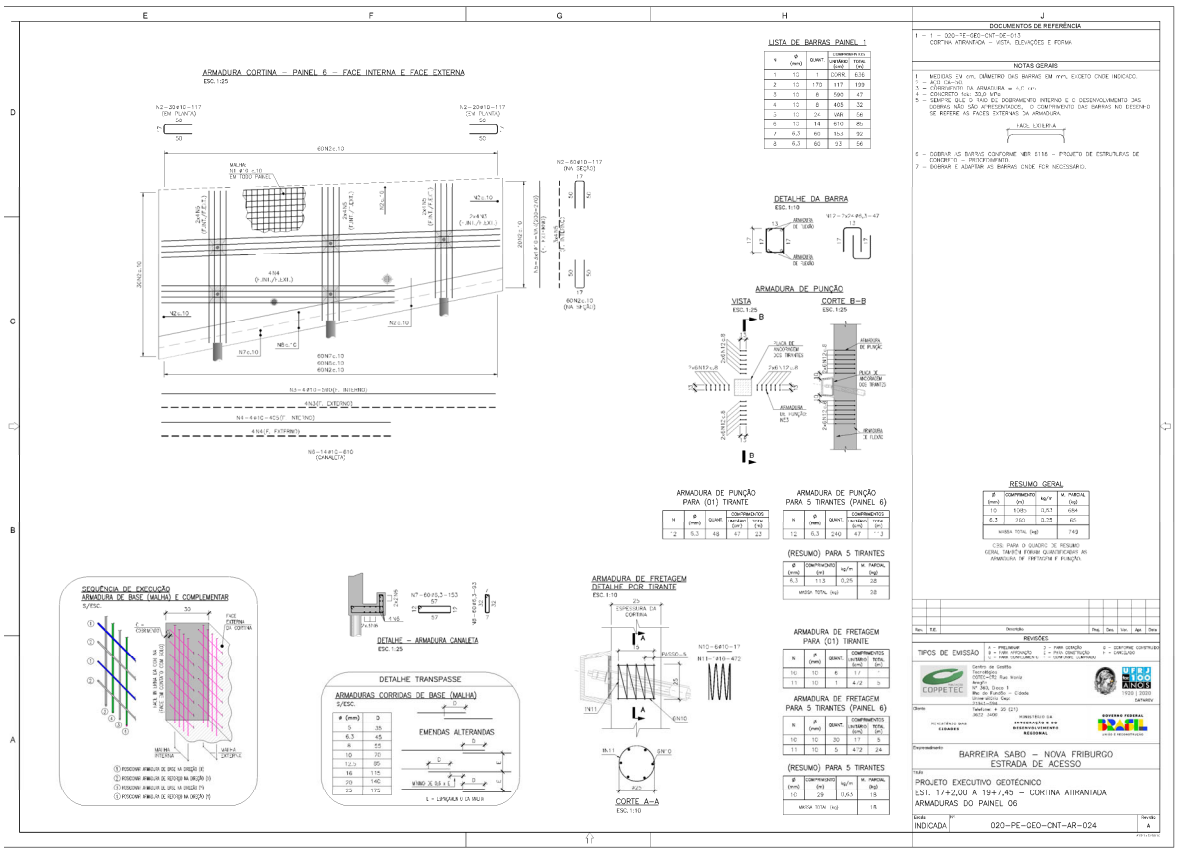

ARMADURA – MURO 1 – PAINEL 2 – VISTA FRONTAL TÍPICA
ESC. 1:25
ARMADURA – MURO 1 – PAINEL 2 – SEÇÃO TÍPICA
ESC. 1:25
LISTA DE BARRAS
PARA MURO 1 – PAINEL 2
RESUMO
PARA MURO 1 – PAINEL 2
DETALHE
DOBRAMENTO DAS BARRAS
DETALHE TRANSPASSE
ARMADURAS CORRIDAS
ARMADURA DE BASE (MALHA)
EMENDAS ALTERNADAS
ARMADURA DE FRETAGEM
DETALHE POR TIRANTE
ESC. 1:10
CORTE A–A
ESC. 1:10
ARMADURA DE FRETAGEM
PARA (01) TIRANTE
ARMADURA DE FRETAGEM
PARA 9 TIRANTES (PAINEL 2)
(RESUMO) PARA 9 TIRANTES
RESUMO GERAL
PARA MURO 1 – PAINEL 1 E 2
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
NOTAS GERAIS
REVISÕES
TIPOS DE EMISSÃO
COPPETEC
BARREIRA SABO – NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
EST. 6+15,00 A 8+3,00 – MURO ATIRANTADO
ARMADURAS FOLHA 2/2
INDICADA
020–PE–GEO–CNT–018

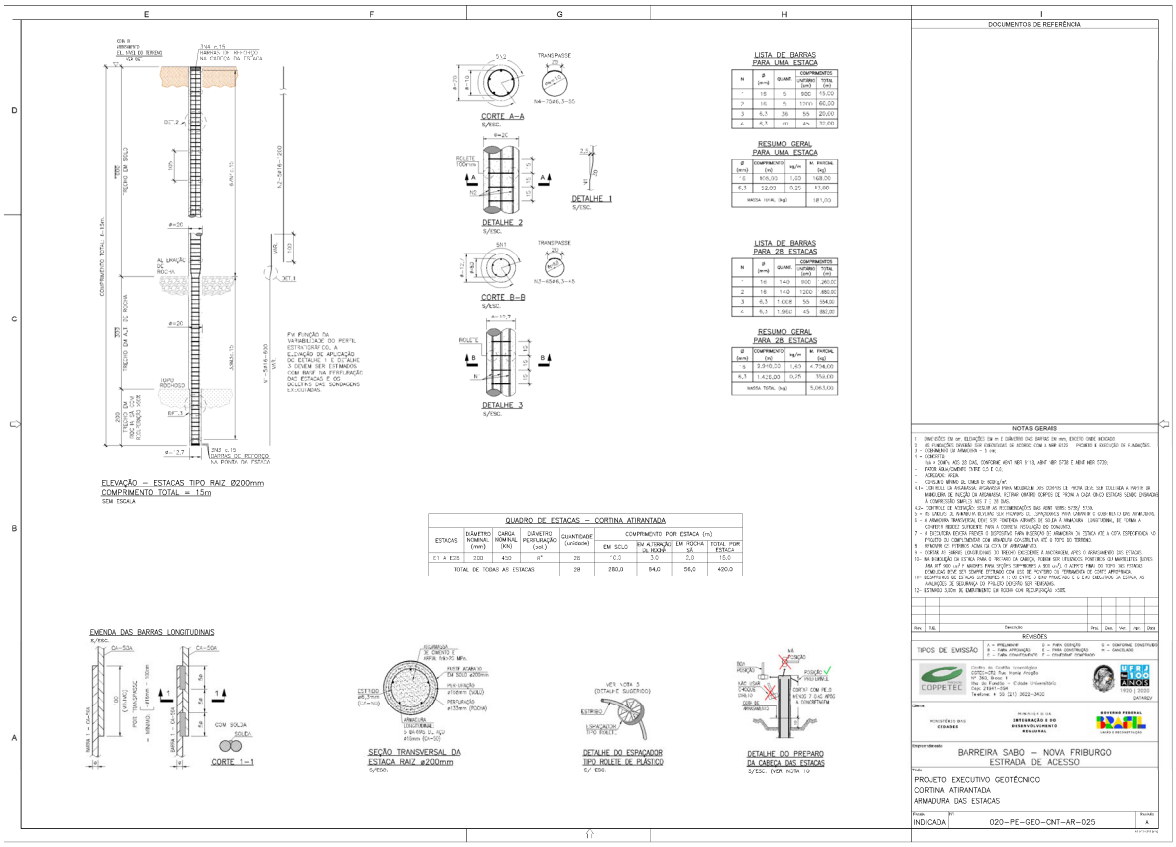

ARMADURA CORTINA – PAINEL 2 – FACE INTERNA E FACE EXTERNA
ESC. 1:25
LISTA DE BARRAS PAINEL 1
RESUMO GERAL
DETALHE – ARMADURA CANALETA
ESC. 1:25
DETALHE TRANSPASSE
ARMADURAS CORRIDAS DE BASE (MALHA)
EMENDAS ALTERNADAS
SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO
ARMADURA DE BASE (MALHA) E COMPLEMENTAR
ARMADURA DE FRETAGEM
DETALHE POR TIRANTE
ESC. 1:10
CORTE A–A
ESC. 1:10
ARMADURA DE PUNÇÃO
VISTA
ESC. 1:25
CORTE B–B
ESC. 1:25
DETALHE DA BARRA
ESC. 1:10
ARMADURA DE PUNÇÃO
PARA (01) TIRANTE
ARMADURA DE PUNÇÃO
PARA 15 TIRANTES (PAINEL 2)
(RESUMO) PARA 15 TIRANTES
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
NOTAS GERAIS
LEGENDA
REVISÕES
TIPOS DE EMISSÃO
COPPETEC
BARREIRA SABO – NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
EST. 17+2,00 A 19+7,45 – CORTINA ATIRANTADA
ARMADURAS DO PAINEL 02
INDICADA
020–PE–GEO–CNT–AR–020

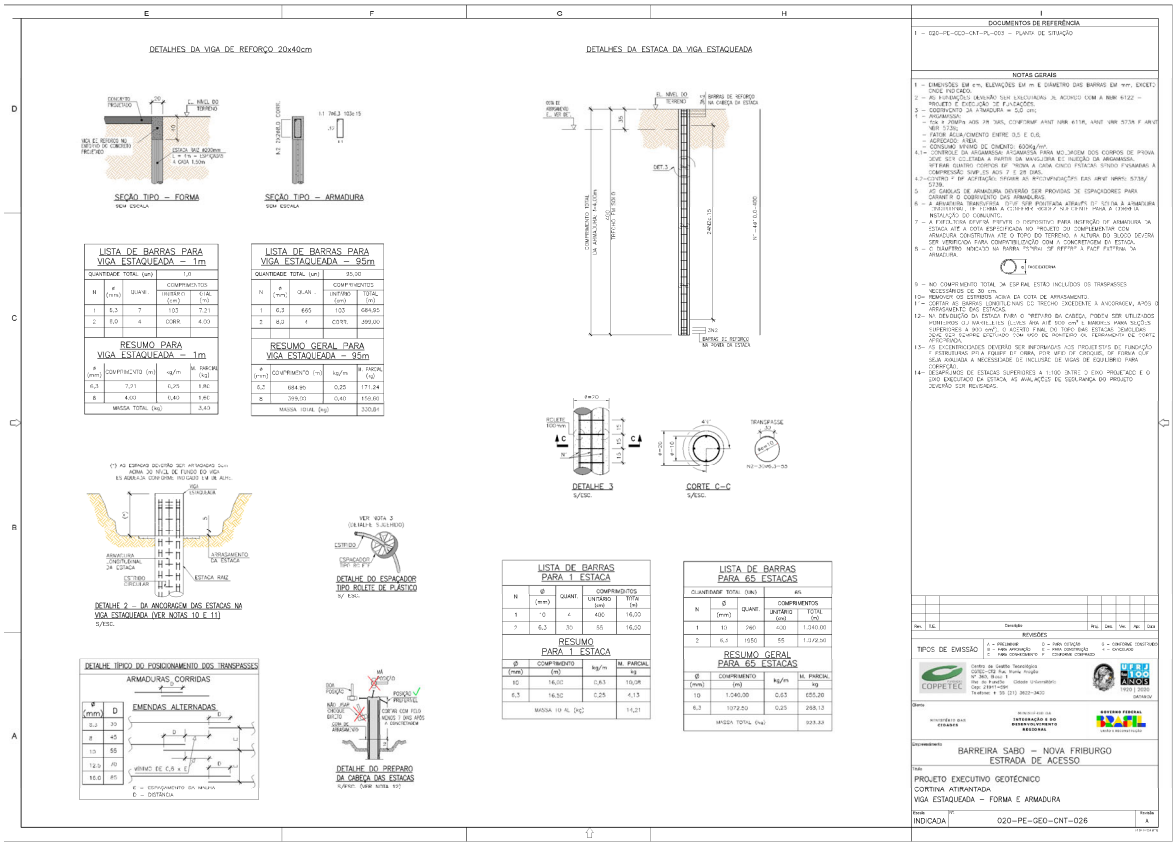

ARMADURA CORTINA – PAINEL 3 – FACE INTERNA E FACE EXTERNA
ESC. 1:25
LISTA DE BARRAS PAINEL 1
ARMADURA DE PUNÇÃO
VISTA
CORTE B–B
DETALHE DA BARRA
ARMADURA DE PUNÇÃO PARA (01) TIRANTE
ARMADURA DE PUNÇÃO PARA 15 TIRANTES (PAINEL 3)
(RESUMO) PARA 15 TIRANTES
ARMADURA DE FRETAGEM DETALHE POR TIRANTE
ARMADURA DE FRETAGEM PARA (01) TIRANTE
ARMADURA DE FRETAGEM PARA 15 TIRANTES (PAINEL 3)
(RESUMO) PARA 15 TIRANTES
SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO ARMADURA DE BASE (MALHA) E COMPLEMENTAR
DETALHE – ARMADURA CANALETA
DETALHE TRANSPASSE
ARMADURAS CORRIDAS DE BASE (MALHA)
EMENDAS ALTERNADAS
CORTE A–A
RESUMO GERAL
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
NOTAS GERAIS
REVISÕES
TIPOS DE EMISSÃO
COPPETEC
BARREIRA SABO – NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
EST. 174+2,00 A 194+7,45 – CORTINA ATIRANTADA
ARMADURAS DO PAINEL 03
INDICADA
020–PE–GEO–CNT–AR–021

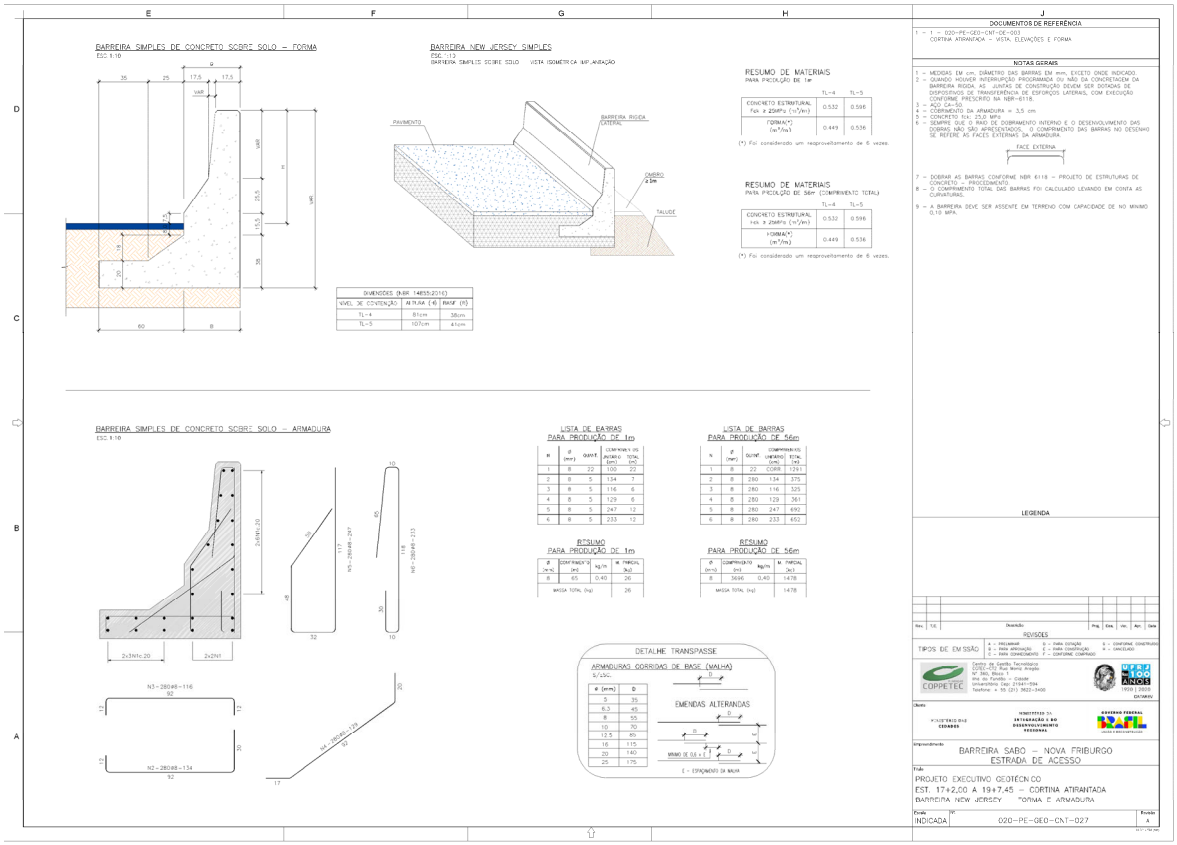

ARMADURA CORTINA – PAINEL 4 – FACE INTERNA E FACE EXTERNA
ESC. 1:25
LISTA DE BARRAS PAINEL 1
ARMADURA DE PUNÇÃO
VISTA
CORTE B–B
DETALHE DA BARRA
ARMADURA DE PUNÇÃO PARA (01) TIRANTE
ARMADURA DE PUNÇÃO PARA 15 TIRANTES (PAINEL 4)
(RESUMO) PARA 15 TIRANTES
ARMADURA DE FRETAGEM DETALHE POR TIRANTE
ARMADURA DE FRETAGEM PARA (01) TIRANTE
ARMADURA DE FRETAGEM PARA 15 TIRANTES (PAINEL 4)
(RESUMO) PARA 15 TIRANTES
SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO ARMADURA DE BASE (MALHA) E COMPLEMENTAR
DETALHE – ARMADURA CANALETA
DETALHE TRANSPASSE
ARMADURAS CORRIDAS DE BASE (MALHA)
EMENDAS ALTERNADAS
CORTE A–A
RESUMO GERAL
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
NOTAS GERAIS
REVISÕES
TIPOS DE EMISSÃO
COPPETEC
BARREIRA SABO – NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
EST. 174+2,00 A 194+7,45 – CORTINA ATIRANTADA
ARMADURAS DO PAINEL 04
INDICADA
020–PE–GEO–CNT–AR–022

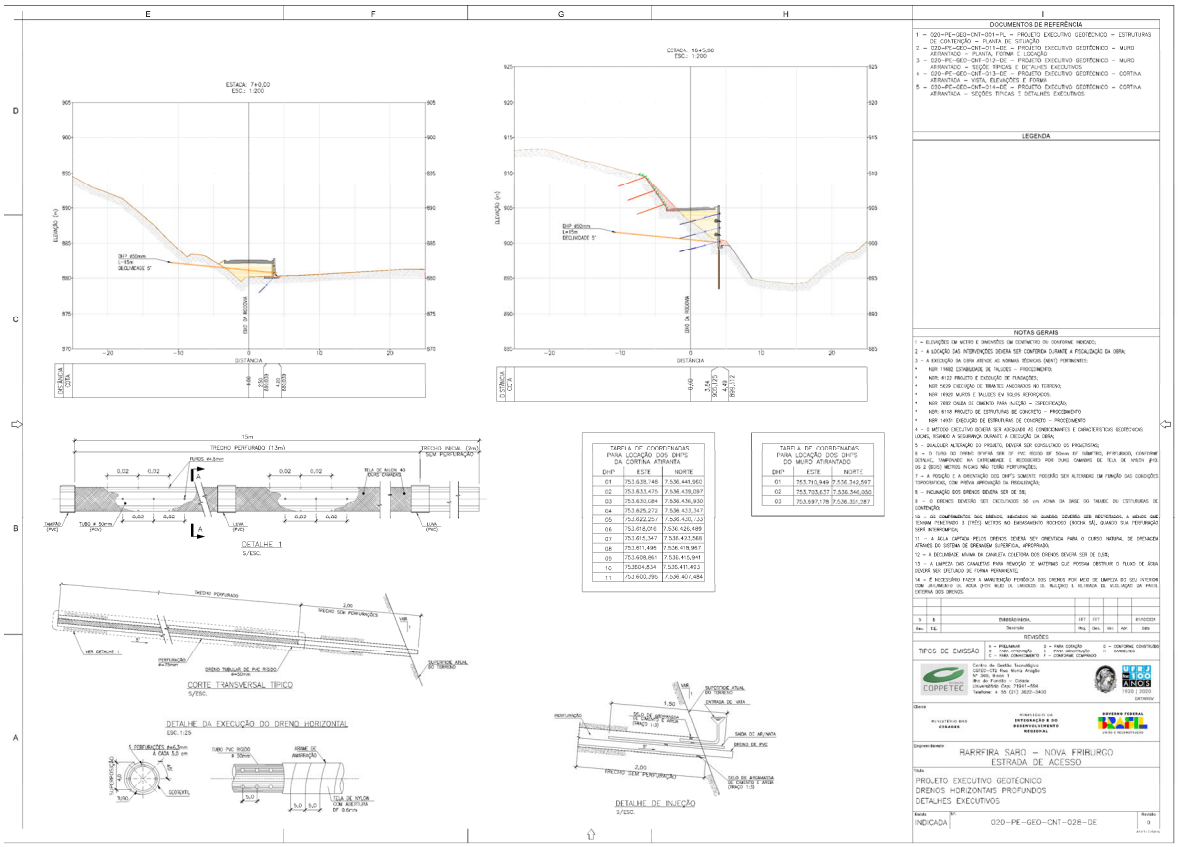

ARMADURA CORTINA – PAINEL 5 – FACE INTERNA E FACE EXTERNA
LISTA DE BARRAS PAINEL 1
DETALHE DA BARRA
ARMADURA DE PUNÇÃO
VISTA
CORTE B–B
ARMADURA DE PUNÇÃO PARA (01) TIRANTE
ARMADURA DE PUNÇÃO PARA 11 TIRANTES (PAINEL 5)
(RESUMO) PARA 11 TIRANTES
ARMADURA DE FRETAGEM DETALHE POR TIRANTE
ARMADURA DE FRETAGEM PARA (01) TIRANTE
ARMADURA DE FRETAGEM PARA 11 TIRANTES (PAINEL 5)
(RESUMO) PARA 11 TIRANTES
SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO ARMADURA DE BASE (MALHA) E COMPLEMENTAR
DETALHE – ARMADURA CANALETA
DETALHE TRANSPASSE
ARMADURAS CORRIDAS DE BASE (MALHA)
EMENDAS ALTERNADAS
CORTE A–A
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
NOTAS GERAIS
RESUMO GERAL
REVISÕES
TIPOS DE EMISSÃO
BARREIRA SABÓ – NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
EST. 17+2,00 A 19+7,45 – CORTINA ATIRANTADA
ARMADURAS DO PAINEL 05
INDICADA
020–PE–GEO–CNT–AR–023

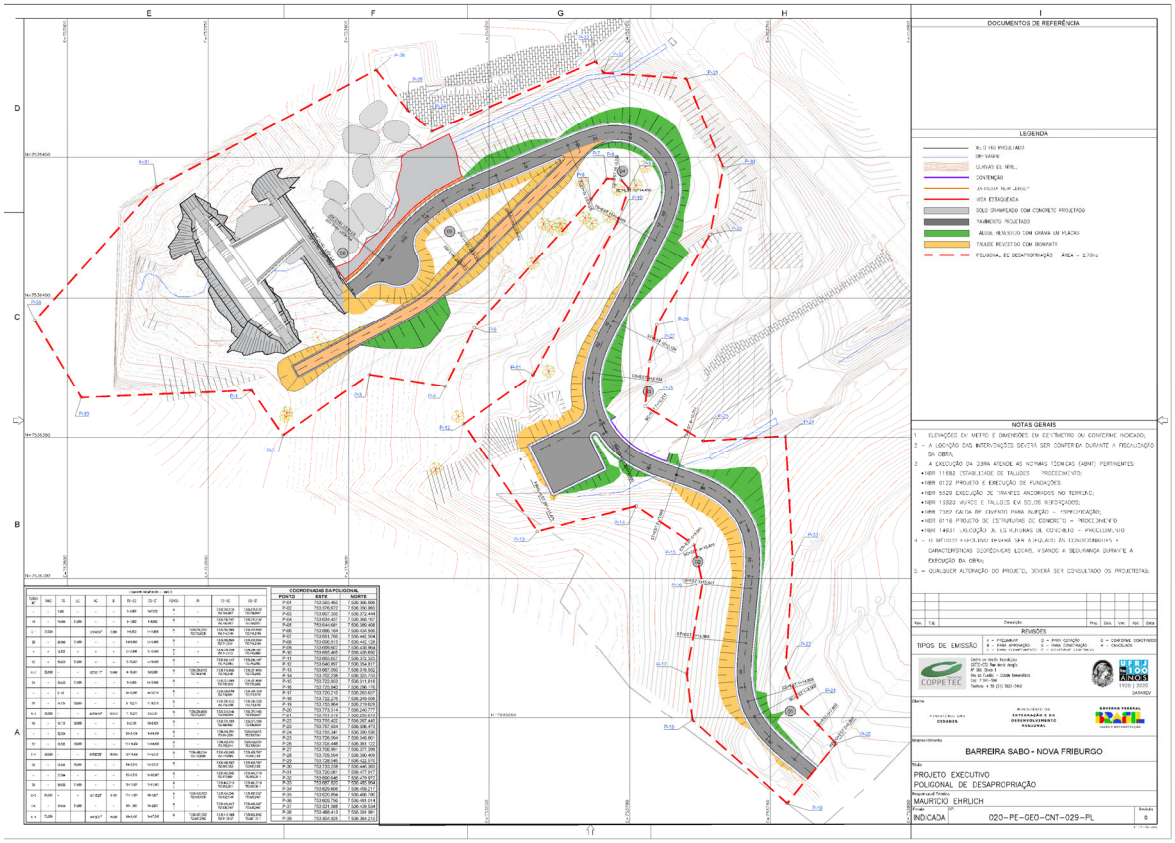

ARMADURA CORTINA – PAINEL 6 – FACE INTERNA E FACE EXTERNA
LISTA DE BARRAS PAINEL 1
DETALHE DA BARRA
ARMADURA DE PUNÇÃO
VISTA
CORTE B–B
ARMADURA DE PUNÇÃO PARA (01) TIRANTE
ARMADURA DE PUNÇÃO PARA 5 TIRANTES (PAINEL 6)
(RESUMO) PARA 5 TIRANTES
ARMADURA DE FRETAGEM DETALHE POR TIRANTE
ARMADURA DE FRETAGEM PARA (01) TIRANTE
ARMADURA DE FRETAGEM PARA 5 TIRANTES (PAINEL 6)
(RESUMO) PARA 5 TIRANTES
SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO ARMADURA DE BASE (MALHA) E COMPLEMENTAR
DETALHE – ARMADURA CANALETA
DETALHE TRANSPASSE
ARMADURAS CORRIDAS DE BASE (MALHA)
EMENDAS ALTERNADAS
CORTE A–A
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
NOTAS GERAIS
RESUMO GERAL
REVISÕES
TIPOS DE EMISSÃO
BARREIRA SABÓ – NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
EST. 17+2,00 A 19+7,45 – CORTINA ATIRANTADA
ARMADURAS DO PAINEL 06
INDICADA
020–PE–GEO–CNT–AR–024


ELEVAÇÃO – ESTACAS TIPO RAIZ Ø200mm
COMPRIMENTO TOTAL = 15m
SEM ESCALA
CORTE A–A
DETALHE 1
DETALHE 2
CORTE B–B
DETALHE 3
LISTA DE BARRAS PARA UMA ESTACA
RESUMO GERAL PARA UMA ESTACA
LISTA DE BARRAS PARA 28 ESTACAS
RESUMO GERAL PARA 28 ESTACAS
QUADRO DE ESTACAS – CORTINA ATIRANTADA
EMENDA DAS BARRAS LONGITUDINAIS
SEÇÃO TRANSVERSAL DA ESTACA RAIZ ø200mm
DETALHE DO ESPAÇADOR TIPO ROLETE DE PLÁSTICO
DETALHE DO PREPARO DA CABEÇA DAS ESTACAS
CORTE 1–1
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
NOTAS GERAIS
REVISÕES
TIPOS DE EMISSÃO
BARREIRA SABO – NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
CORTINA ATIRANTADA
ARMADURA DAS ESTACAS
INDICADA
020–PE–GEO–CNT–AR–025


DETALHES DA VIGA DE REFORÇO 20x40cm
DETALHES DA ESTACA DA VIGA ESTAQUEADA
SEÇÃO TIPO – FORMA
SEÇÃO TIPO – ARMADURA
LISTA DE BARRAS PARA VIGA ESTAQUEADA – 1m
LISTA DE BARRAS PARA VIGA ESTAQUEADA – 95m
RESUMO PARA VIGA ESTAQUEADA – 1m
RESUMO GERAL PARA VIGA ESTAQUEADA – 95m
DETALHE 2 – DA ANCORAGEM DAS ESTACAS NA VIGA ESTAQUEADA (VER NOTAS 10 E 11)
DETALHE DO ESPAÇADOR TIPO ROLETE DE PLÁSTICO
DETALHE TÍPICO DO POSICIONAMENTO DOS TRANSPASSES
ARMADURAS CORRIDAS
EMENDAS ALTERNADAS
DETALHE DO PREPARO DA CABEÇA DAS ESTACAS
DETALHE 3
CORTE C–C
LISTA DE BARRAS PARA 1 ESTACA
RESUMO PARA 1 ESTACA
LISTA DE BARRAS PARA 65 ESTACAS
RESUMO GERAL PARA 65 ESTACAS
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
NOTAS GERAIS
REVISÕES
TIPOS DE EMISSÃO
BARREIRA SABO – NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
CORTINA ATIRANTADA
VIGA ESTAQUEADA – FORMA E ARMADURA
INDICADA
020–PE–GEO–CNT–026


BARREIRA SIMPLES DE CONCRETO SOBRE SOLO – FORMA
BARREIRA NEW JERSEY SIMPLES
RESUMO DE MATERIAIS
LISTA DE BARRAS
RESUMO
DETALHE TRANSPASSE
ARMADURAS CORRIDAS DE BASE (MALHA)
EMENDAS ALTERNADAS
BARREIRA SABÓ – NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
EST. 174,00 A 194,45 – CORTINA ATIRANTADA
BARREIRA NEW JERSEY – FORMA E ARMADURA
020-PE-GEO-CNT-027


ESTACA 74+0,00
ESC.: 1:200
COTA 164+0,00
ESC.: 1:200
DETALHE 1
CORTE TRANSVERSAL TÍPICO
DETALHE DA EXECUÇÃO DO DRENO HORIZONTAL
DETALHE DE INJEÇÃO
BARREIRA SABÓ – NOVA FRIBURGO
ESTRADA DE ACESSO
PROJETO EXECUTIVO GEOTÉCNICO
DRENOS HORIZONTAIS PROFUNDOS
DETALHES EXECUTIVOS
020-PE-GEO-CNT-028-DE


DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
LEGENDA
NOTAS GERAIS
REVISÕES
TIPOS DE EMISSÃO
BARREIRA SABO - NOVA FRIBURGO
PROJETO EXECUTIVO
POLIGONAL DE DESAPROPRIAÇÃO
MAURICIO EHRLICH
INDICADA
020-PE-GEO-CNT-029-PL

2.7　今後の留意事項

ノバフリブルゴ市のパイロットサイトにおいて実施された不透過型砂防堰堤の設計を進める過程において発生した課題と対応を踏まえ、今後の砂防堰堤設計にあたって留意すべき事項について整理した。

2.7.1　施設配置計画

(1) 支障物を踏まえた堰堤位置の検討

ノバフリブルゴ市のパイロットサイトは、周囲に巨大な転石が多く存在する箇所であったため、地形測量を実施する際に等高線等の地形だけでなく、転石の位置も図示した平面図を作成し、堰堤軸の検討を行った。砂防堰堤を設計する際は、計画位置周辺の留意すべき支障物も図面に示した上で、砂防施設の配置や構造を検討することが望ましい。

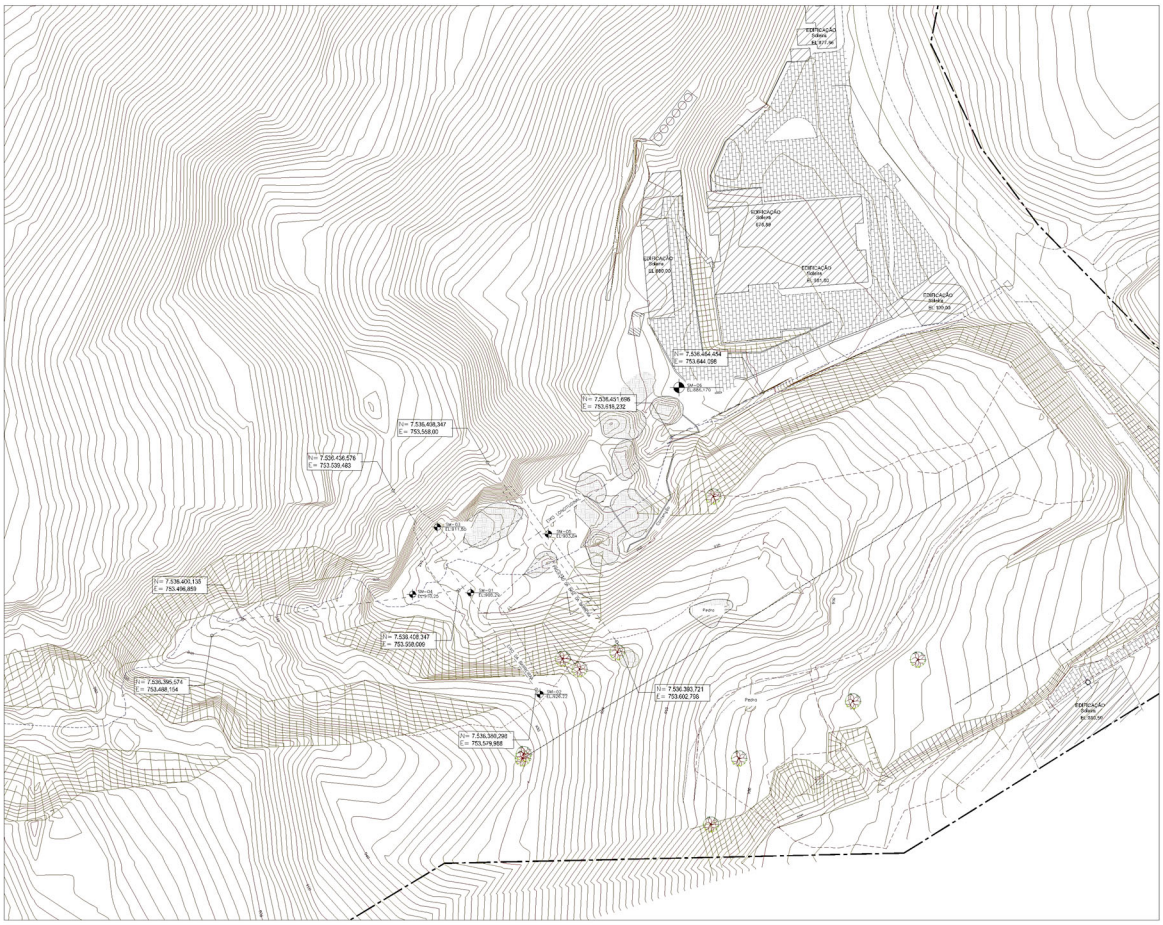


図 2.7.1 転石や建物位置も表示した平面図

出典：砂防プロジェクトにて作成

(2) 中心線の検討

堰堤軸や施設効果量を算定するため、土石流の流下方向を考慮して中心線を設定する必要がある。中心線は、谷地形の中心を流下していくように設定することが基本であるが、サンルーカス病院では土石流の流下を規制するための壁を設置していたことから、この壁による流下方向の変化も考慮して中心線を設定した。中心線は、砂防堰堤の設計にとって基準となる情報であることから、複数の技術者の意見を総合し、妥当な線形を決めることが望ましい。

図 2.7.2 土石流の流下方向を考慮した中心線形の設定

出典：砂防プロジェクトにて作成

2.7.2 詳細設計のための調査

(1) 地形測量

地形測量は、施設配置計画を検討することを目的とした広域の地形測量と、砂防堰堤の設計に使用することを目的とした詳細な地形測量が必要となる。ノバフリブルゴ市のパイロットサイトでは、まずドローンを用いた空中測量により平面図を作成し、この図面を用いて堰堤軸の検討や工事用道路の検討を行った。また、詳細な地形測量として地上レーザ計測を行い、点群データを取得して設計に用いる堰堤軸周辺の地形データを取得した。

砂防堰堤の施設配置計画及び工事用道路と維持管理用道路を検討する上で、ある程度広域の地形データが必要となる。このため対象渓流が決定した段階で、堰堤位置と道路位置を考慮した測量範囲を設定し、空中測量を行って地形データを取得することが標準的な検討方法になると考えられる。空中測量は、検討に必要な精度と範囲を考えるとドローン測量が適していると考えられるが、ドローン測量成果は、建物の高さや樹木など地表上のすべての物体の表面の高さを含む 3 次元データ（Digital Surface Model）である点に留意が必要である。このため、砂防堰堤の詳細設計を行う際には、改めて地上測量を実施し、堰堤軸及び周辺の詳細な地形データを取得することが必要となる。なお地上測量は、必ずしも地上レーザ計測である必要はないため、現地の状況を踏まえて適切な測量手法を選定する。

(2) 地質調査

地質調査は、対象流域周辺の地質特性を把握するための地質平面図作成と、砂防堰堤の設計に用いる地質縦横断図を作成するためのボーリング調査が必要となる。

ノバフリブルゴ市のパイロットサイトでは、土石流堆積物上に砂防堰堤を配置する計画としたことから、SABO マニュアルに示されているボーリング箇所に加えて、下流側の地質状況を把握することを目的として調査地点を増やすこととした。地質調査では現地の特性を踏まえて、ボーリング本数や位置を検討する必要がある。

またノバフリブルゴ市はパイロットプロジェクトであり、砂防堰堤計画地点の地質特性を十分明らかにする必要があると判断し、今回は岩盤までボーリング調査を実施し、地質縦横断図を作成した。今後の砂防堰堤設計では、砂防堰堤の根入れ深さも考慮し、提体基礎より 5m 程度下もしくは岩盤を 1 つの目安として堀止め位置を検討することが望ましい。

(3) 礫径調査

ノバフリブルゴ市のパイロットサイトでは、2011 年に発生した土石流後の調査結果をみると流域内、下流域とも非常に大きな巨石が堆積している状況が確認されている。したがって、今後の礫径調査において調査対象の礫の参考とするため、今後ブラジル国内で土石流の流下が確認された場合、流下状態や氾濫範囲に加えて移動した礫径も確認し、ブラジル国において発生する土石流でどの程度の巨礫が移動しているのかを明らかにしていくことが望ましい。

2.7.3 砂防堰堤の設計

(1) 流水への影響

不透過型砂防堰堤は、コンクリート横断構造物ではあるが、提体に水抜き穴を設置するため、土石流発生時は流出土砂のみを捕捉し、水は下流に流下させる構造物である。

ノバフリブルゴ市のパイロットサイトの設計においては、不透過型砂防堰堤を設置することによって流量が変化することがないかどうか検証が求められたことから、技術委員会の水文を専門とする学識経験者により流量の検証が実施され、砂防堰堤整備後も流量に変化がないことを示す資料が作成された。不透過型砂防堰堤の設計では、環境許可申請にあたって流量の検討を求められる可能性がある点に留意が必要である。

(2) 水通し断面

砂防堰堤下流側にある河川の流下断面は、砂防堰堤の計画規模に相当する流下断面が確保されていないことが一般的である。砂防堰堤の水通し断面は、土石と水が混合した流出現象を安全に通過させることを考えた断面形状であるのに対して、河川の断面は水のみを安全に流下させることを考えて検討されている。したがって、砂防構造物と河川構造物は対象とする現象が異なっており、土石流対策計画と河川計画は別の計画であると認識する必要がある。

ノバフリブルゴ市のパイロットサイトは、土砂は砂防堰堤で捕捉するが、流水は砂防堰堤整備前と同様に渓流を流下するものとし、土石流対策計画と河川計画は別の計画であるものとして市政府と合意した。

(3) 景観設計

ブラジル国内では、砂防堰堤は一般的な構造物ではないため、砂防堰堤完成後の状態がどのようになるのか説明するにあたって、2 次元的な図面だけでなく、景観の変化がわかる資料を作成することが有効である。

ノバフリブルゴ市のパイロットサイトでは、3 次元図面を作成し、市政府等との説明に活用した。砂防堰堤整備に関して関係者との調整は適宜必要であり、その中で色々な視点から砂防堰堤整備後の景観を確認できることが非常に有効であったことから、砂防堰堤の設計にあたっては、2 次元図面と合わせて 3 次元図面を作成することが望ましい。

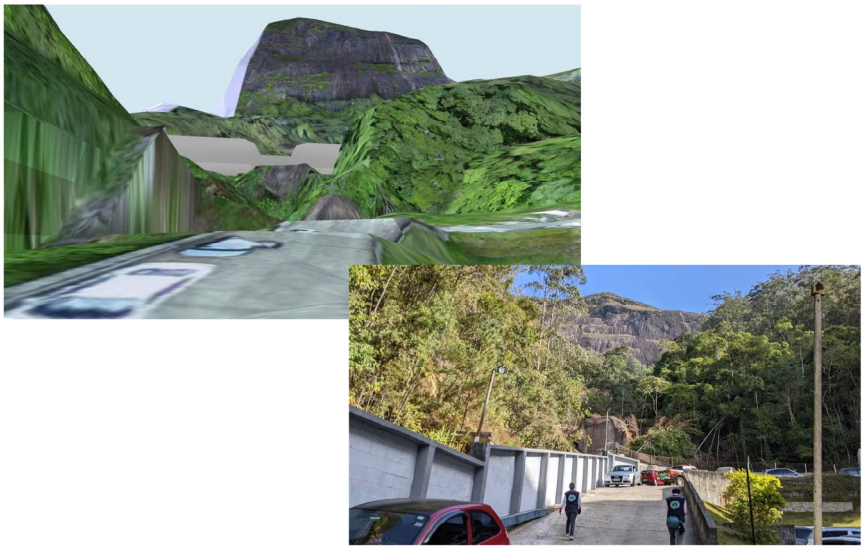


図 2.7.3 サンルーカス病院からの砂防堰堤の見え方

出典：砂防プロジェクトにて作成

2.7.4 維持管理用道路の設計

(1) 工事用道路と維持管理用道路

不透過型砂防堰堤の整備にあたっては、工事に使用する工事用道路と除石等の維持管理に使用する維持管理用道路の2つを整備する必要がある。このうち、工事用道路は、砂防堰堤下流側に到達すればよいが、維持管理用道路は、堆砂地の土砂を取り除くため、砂防堰堤上流側まで到達できるようルートを検討する必要がある。

ノバフリブルゴ市のパイロットサイト周辺は、非常に急峻な地形であり、道路を設置できる位置も限られていたことから、工事用道路と維持管理用道路を併用する計画とした。また、堆砂地へのアクセス方法として、スイッチバックによって道路距離を短くする案も検討されたが、急勾配道路でのスイッチバックは危険を伴うと判断し、安全性に優れる直線的な線形を採用した。不透過型砂防堰堤は、定期的に除石が必要となることから、維持管理用道路の線形を検討する際には、施工性や経済性に加えて、作業にあたっての安全性にも留意することが必要である。

(2) 土地利用状況を踏まえた検討

維持管理用道路は、延長が長い構造物となることから、道路計画地点周辺の土地利用状況を考慮した検討が必要である。

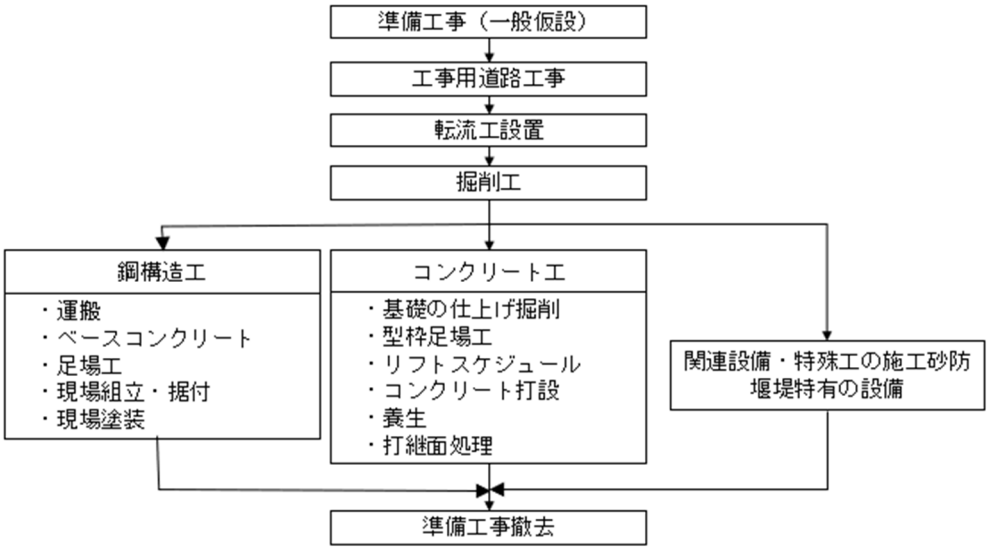
バフリブルゴ市のパイロットサイトの検討では、周辺の土地利用状況を見ながら、線形の見直しを複数回実施していったため、結果として既設道路から砂防堰堤計画地点まで道路延長が長くなった。このため、当初のドローン測量範囲では平面図が不足してしまい、追加測量が必要となった。また、調整が必要となる土地所有者も増える結果となった。このことから、砂防堰堤の維持管理用道路検討にあたっては、対象地域の土地所有状況、利用状況、開発計画等を確認した上で、できるだけ早期にルート選定及び概略設計を行い、関係者との調整を早めに進めていくことが重要である。

第 3 章　不透過型砂防堰堤と付帯構造物の施工

本章は、事例集に盛り込むべき砂防工事特有の技術的情報を例示したものです。パイロットプロジェクトが完了した後に、本章の破線内の内容が適切な図面、写真およびデータに差し替えられ、事例集として取りまとめられることを期待します。

3.1　施工手順

ノバフリブルゴ市における不透過型砂防堰堤と付帯構造物の施工にあたって採られた施工手順を簡潔に説明してください。一般的な施工手順を以下のように図示します。実際の施工手順に関する情報に差し替えてください。



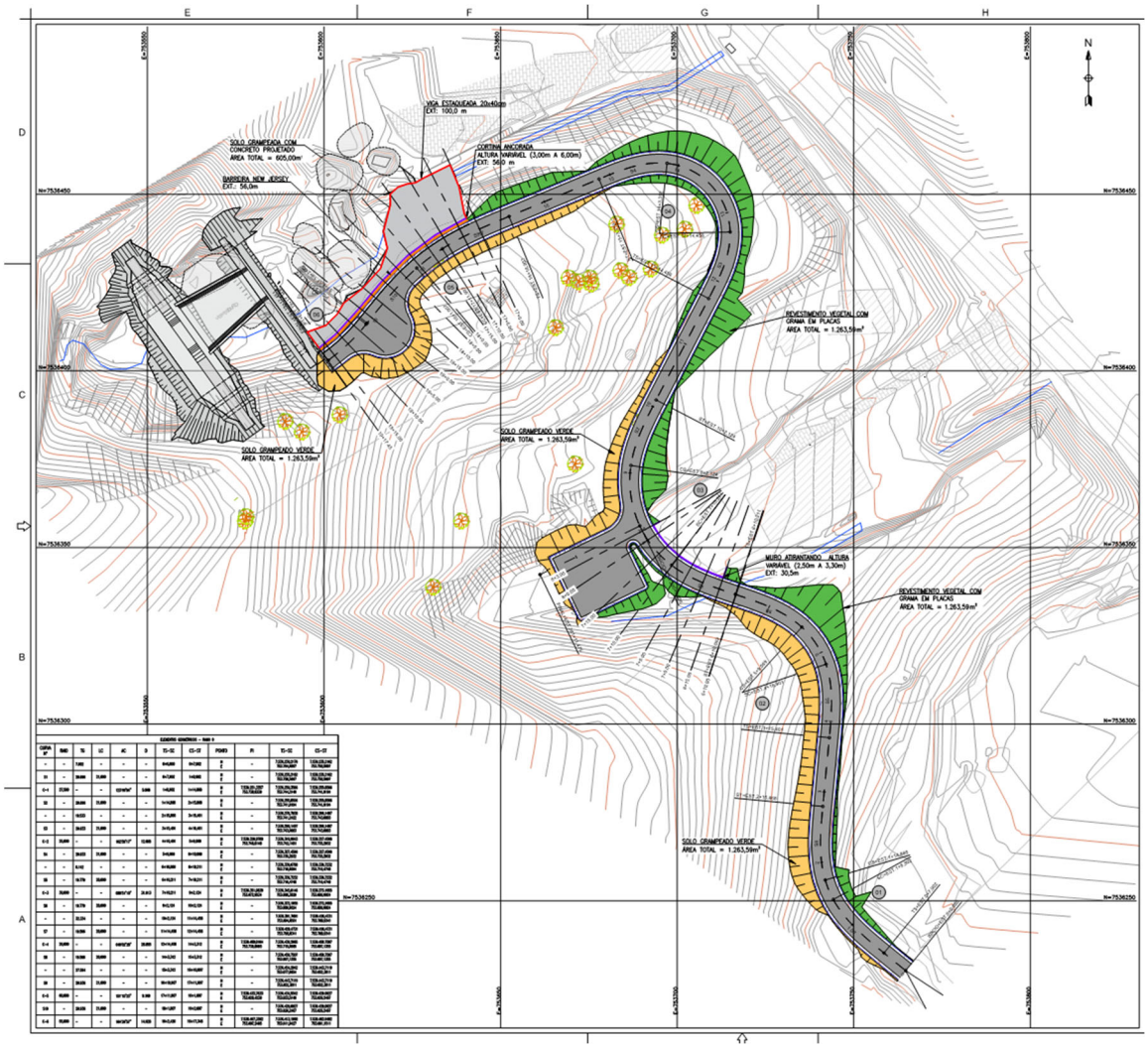
一般的な施工手順

（出典：砂防マニュアル施工編 1 章 2）

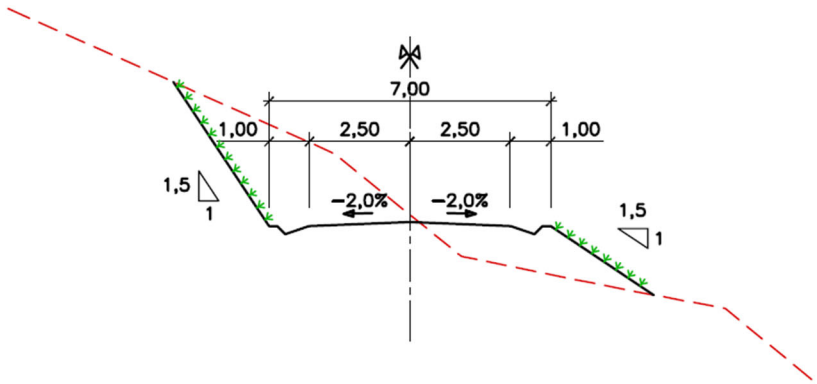
3.2　工事用道路

3.2.1　施工状況

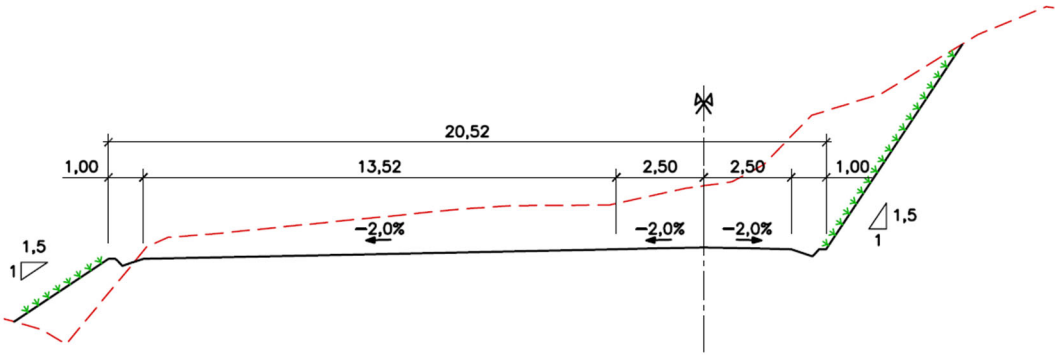
ノバフリブルゴ市における不透過型砂防堰堤の工事のために設けられる工事用道路（後に維持管理用道路に転用予定）の施工中および完成直後の状況を、図と写真資料で示してください。掲載すべき図や写真資料の一例を以下に示します。必要に応じて適切な情報を追加してください。



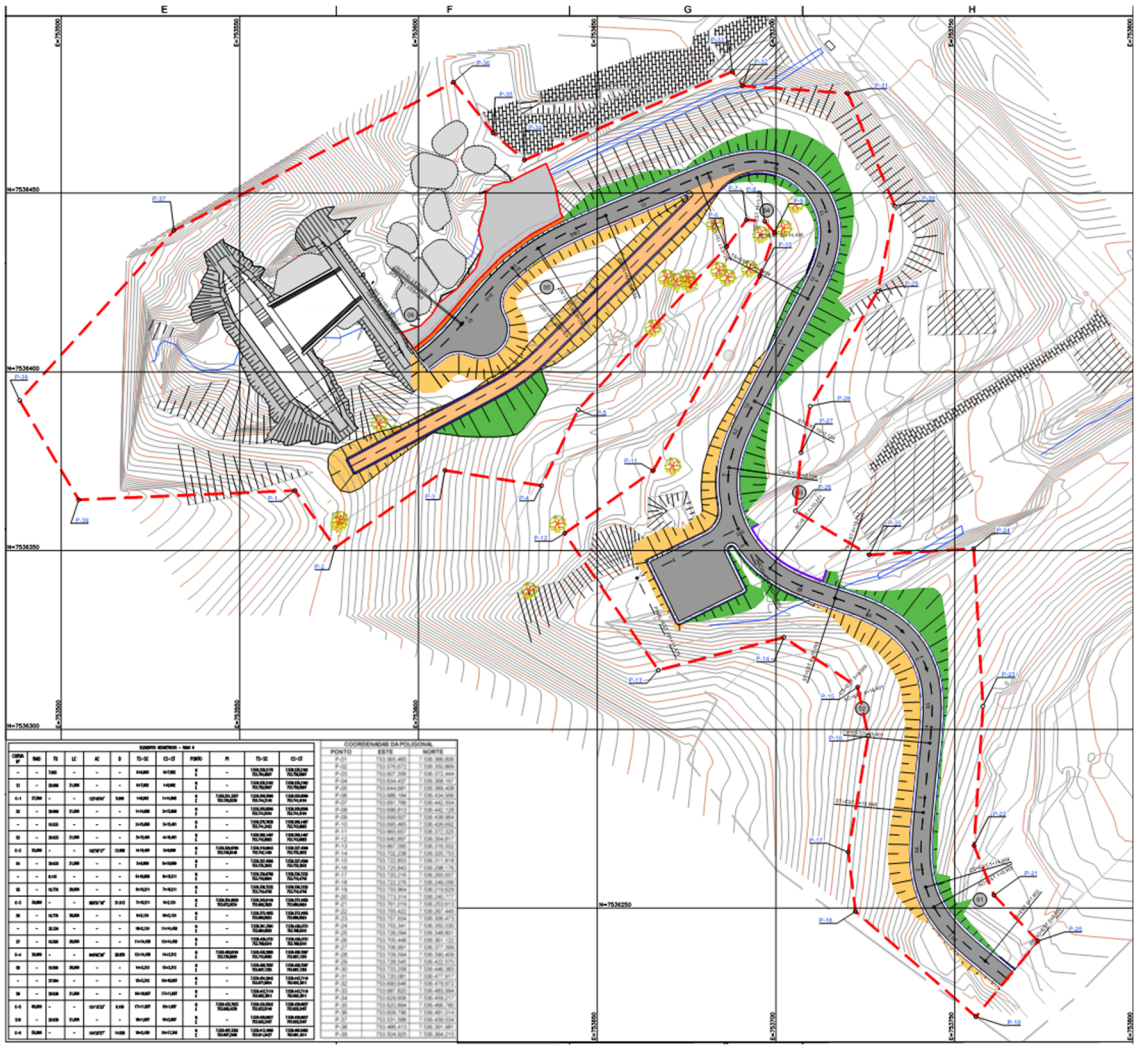
工事用道路　平面図



標準的な道路横断図（XXX 地点）



駐車スペース地点　横断図



維持管理用道路　平面図

工事用道路　起点（進入口側）の状況写真

工事用道路　終点（砂防堰堤側）の状況写真

切土作業の状況写真（施工中・完成）

盛土作業の状況写真（施工中・完成）

工事用道路の舗装状況（施工中・完成）

代表的な法面保護工の施工状況（施工中・完成）

排水路や暗渠の施工状況（施工中・完成）

3.2.2　施工中に発生した技術的問題と対処結果

工事用道路の施工中に技術的な問題が発生した場合、その問題と対処結果を、図や写真資料を用いて簡潔に説明してください。発生した問題の例としては、新規構造物との接続が必要になった既存水路の部分的な取り壊し作業で、取り壊し対象の構造物の基礎の深さや材質が予想していたものと異なり、設計変更が必要になったケースが考えられます。

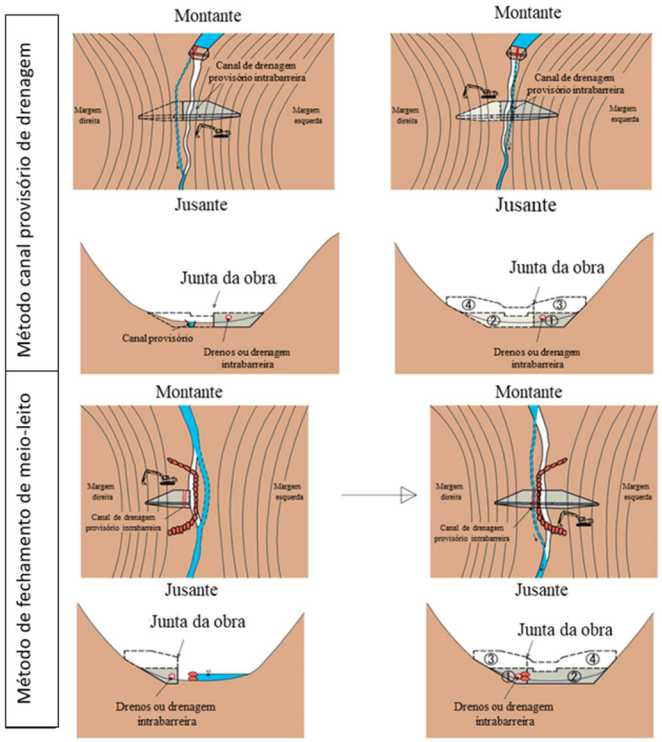
3.3　転流工

3.3.1　対象流量

砂防堰堤の施工のための転流工の設計対象流量について、その算出過程と結果を記述してください（算出方法の詳細は砂防マニュアル施工編第３章を参照）。

3.3.2　転流工の配置と転流方式

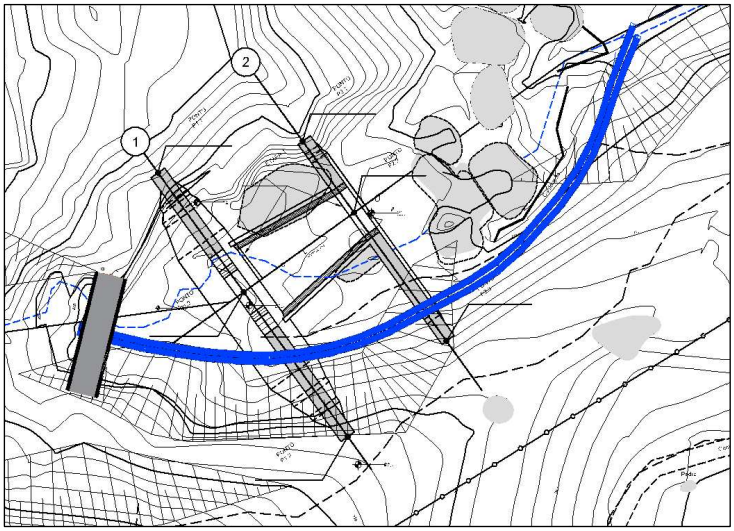
転流工の配置と転流方式（仮排水路／半川締切／堤内暗渠）を、施工段階ごとに図や写真を用いて説明してください。



(Desvio primário)　　(Desvio secundário)

施工段階ごとの転流工の配置例

（出典：砂防マニュアル施工編 3 章）



転流工の配置図

施工段階ごとの転流工の実施状況写真

3.3.3　転流工の設計

施工段階ごとに、使用される転流工の設計の概要（構造物の種類と配置、標準的な断面形状、水路勾配）を、図表や写真を用いて説明してください。転流の第１段階と第２段階とで転流方法が異なる場合は、それぞれについて設計の概要を説明してください。
また、各構造物の施工方法を簡単に説明してください。

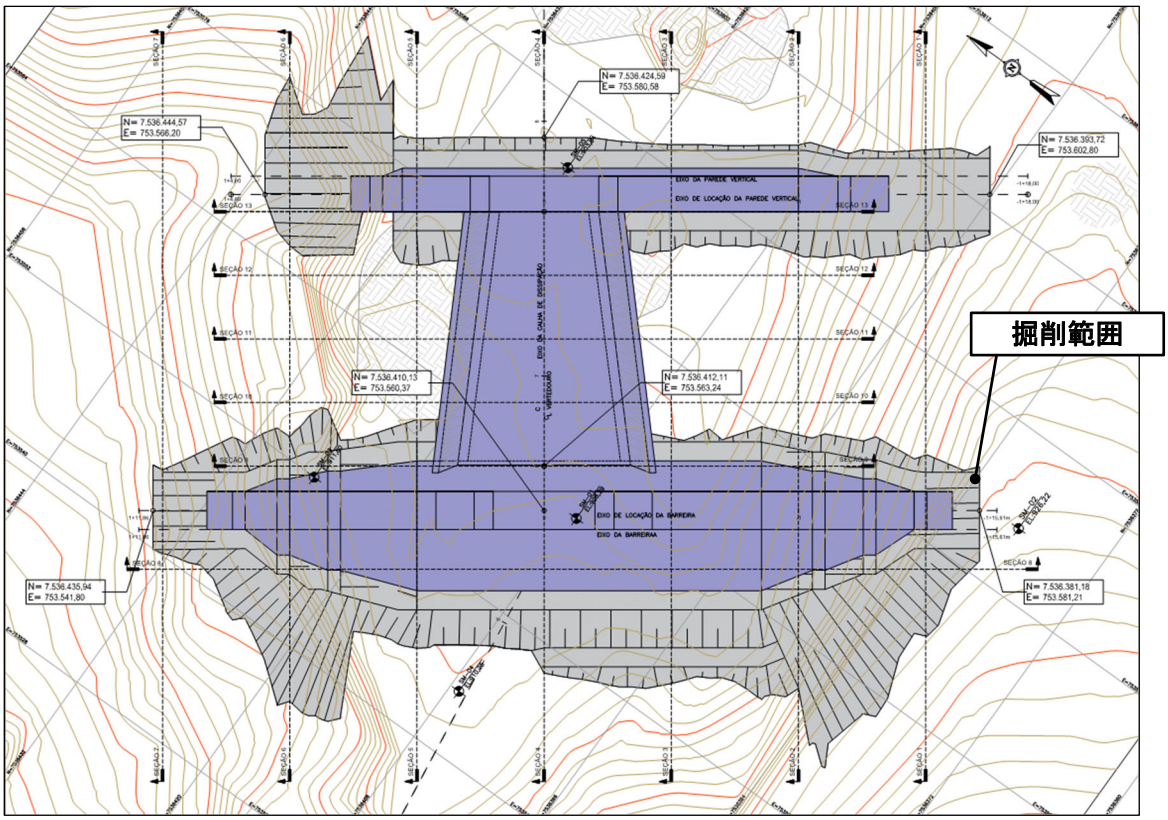
3.3.4　施工中に発生した技術的問題と対処結果

施工中に転流工に関する技術的な問題が発生した場合、その問題と対処結果を、図や写真資料を用いて簡潔に説明してください。発生した問題の例としては、転流工の設計対象流量を上回る規模の出水が発生し、それによって転流工が決壊したケースが考えられます。

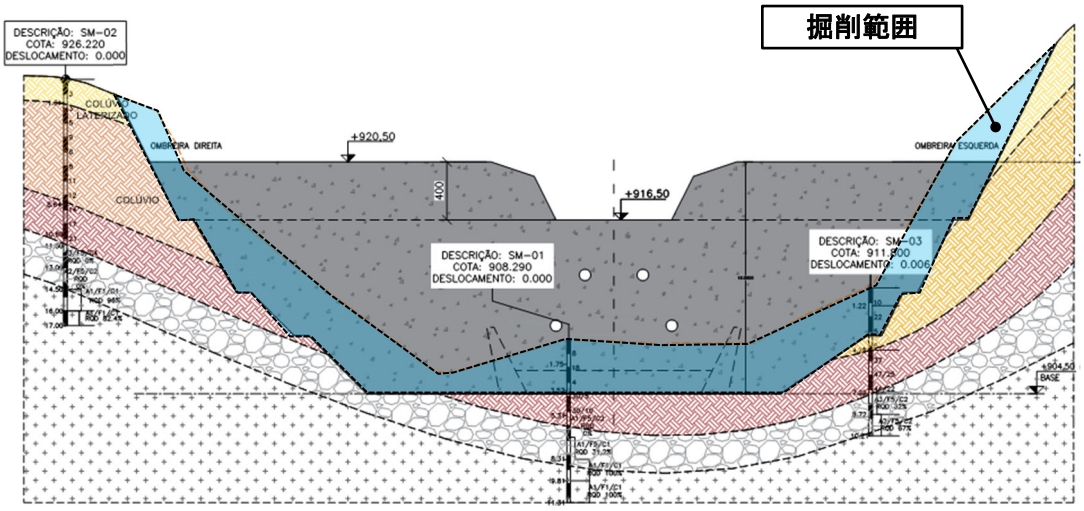
3.4　掘削工

3.4.1　掘削状況

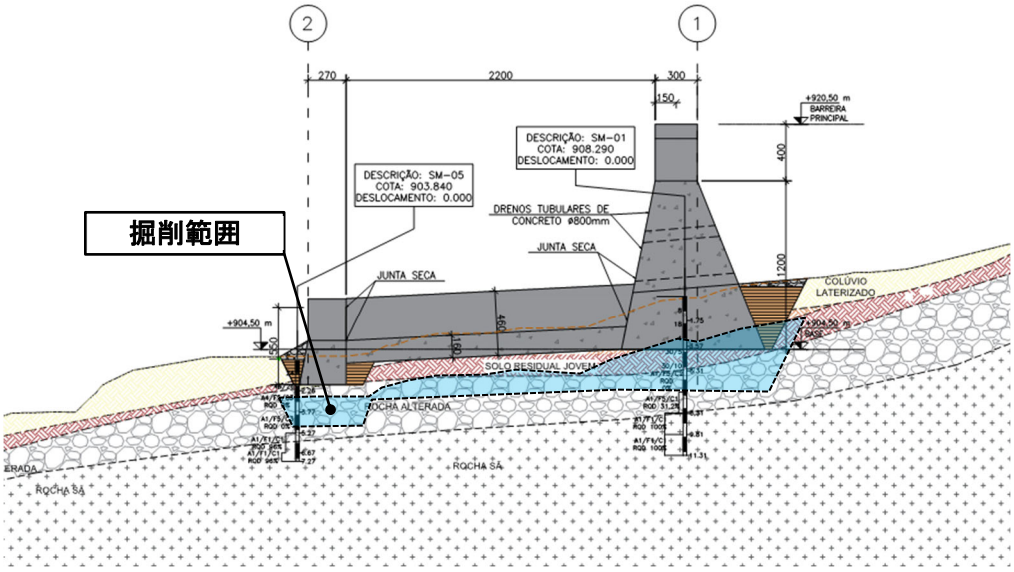
砂防堰堤の工事で掘削を行った範囲を、竣工図を用いて平面、横断、縦断の観点から図示してください。地山の土砂の種類によって異なる掘削方法の採用理由、使用した機材、掘削中および掘削の仕上げの状況を、また、土砂の運搬・搬出および指定された土捨て場への捨土の状況を、写真資料等を用いて説明してください。掲載すべき図や写真資料の一例を以下に示します。必要に応じて適切な情報を追加してください。



平面図



横断図（本堰堤）



縦断図

地盤ごとの掘削方法と使用機材の状況

掘削後の清掃、仕上げの状況

土砂の運搬・搬出・捨土の状況

3.4.2　施工中に特に留意した事項

掘削工を行うなかで特に留意した事項を、図面や写真資料等を用いて説明してください。留意事項の例としては以下のケースが考えられます。

- **過掘削の防止：**基礎掘削時はレベル管理を徹底し、掘りすぎ（過掘削）を防いだ。掘りすぎた場合は、その部分を土砂で埋め戻さずに、コンクリート打設時にコンクリートで充填した。
- **ドライワークの徹底：**湧水がある場合は、水中ポンプや排水溝を用いて排水し、掘削面をドライな状態に保った。
- **法面勾配の遵守：**掘削法面の勾配は設計図書の勾配を遵守した。変更が必要な場合は、コントラクター、施主およびコンサルタントが３者で協議し、文書による合意を経て変更を行った。
- **有機物の除去：**基礎地盤に残った木の根などは、腐食して空洞になる恐れがあるため、地盤を乱さないように除去した。

3.4.3 施工中に発生した技術的問題と対処結果

施工中に転流工に関する技術的な問題が発生した場合、その問題と対処結果を、図や写真資料を用いて簡潔に説明してください。発生した問題の例としては以下のケースが考えられます。

- **巨石への対応：** 基礎面に除去困難な巨石が露出した場合、無理に除去すると基礎地盤を乱すため、巨石を避けるように構造物の位置を調整したり、巨石を残してコンクリート量を控除したりする対応を行った。
  - 砂防堰堤の堤体の基礎面に巨石の一部が突き出した場合、巨石を除去せずに、堤体で巨石を巻き込むよう対処した。巨石表面を洗浄した上でコンクリートの打設を行った。
  - 副堰堤／垂直壁の基礎面より上に巨石の一部が突き出す場合で、巻き込みによる対応が困難な場合、副堰堤／垂直壁を下流側にシフトすることにより巨石を避けた。
  - 水叩きの表面から巨石の一部が突き出した場合、水叩きコンクリートの一部を巨石で置き換えた。このとき、流下断面を阻害しないように、巨石のうち水叩きコンクリートの表面から上に突き出た部分はブレーカーで除去した。

巨石を破砕せずに堤体の一部として取り込んだ場合のイメージ（※Gemini で生成）

- **河床地形が変化していた場合の対応：** 流水による侵食等で下流の河床が設計時に比べて局所的に低下している場合、副堰堤／垂直壁の必要根入れ深が確保できるよう基礎レベルの妥当性をチェックした。その結果根入れ不足となることが明らかとなったため、副堰堤／垂直壁の基礎レベルの変更にかかる設計変更を行った。

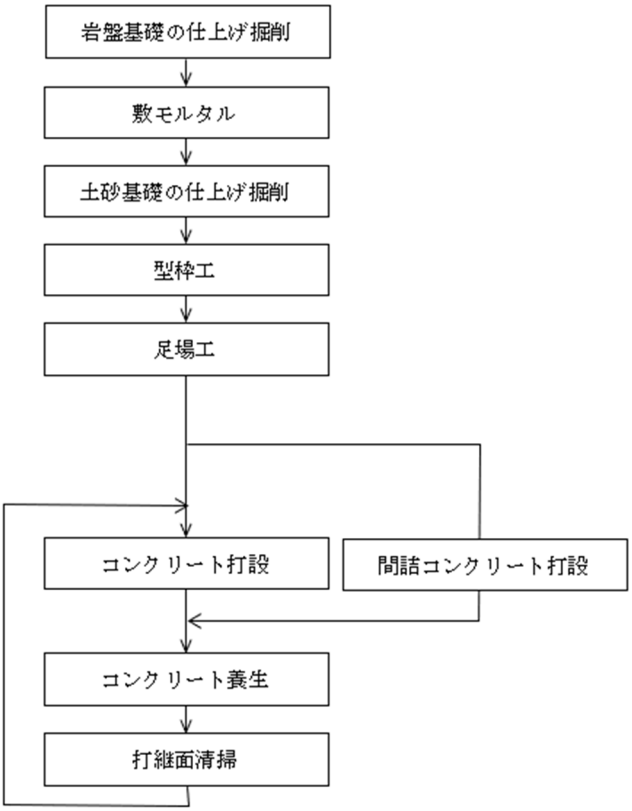
3.5 コンクリート工

3.5.1 コンクリートの配合と製造・運搬

工事で使用されたコンクリートの配合設計、製造・運搬方法に関する情報を、図表や写真資料を用いて簡潔に説明してください。

3.5.2　コンクリート工の各手順の実施方法

以下に示すコンクリート工に関連する作業のうち、型枠工、足場工、コンクリート打設、間詰コンクリート打設、コンクリート養生、打設面清掃の実施状況を、図や写真資料を用いて説明してください。



（出典：砂防マニュアル施工編 5 章 5）

型枠設置状況

足場の設置状況

コンクリートの打設状況

間詰部分のコンクリートの打設状況

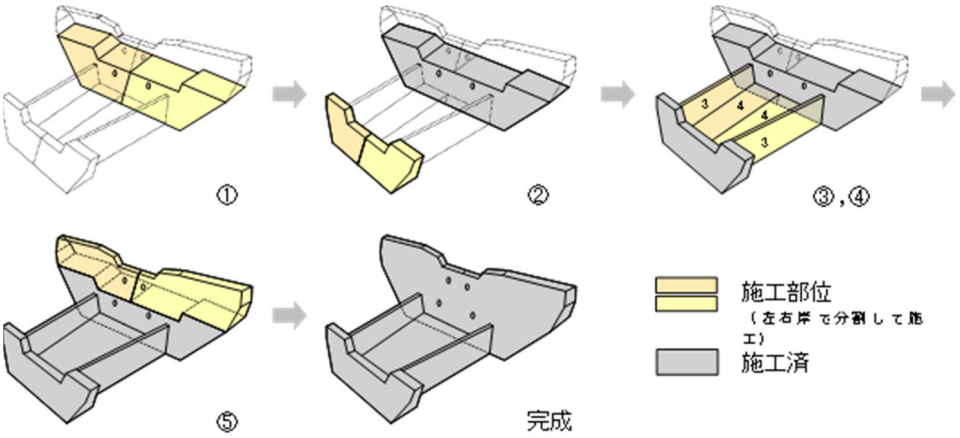
コンクリートの締固め実施状況

打設面処理の実施状況

コンクリート養生の実施状況

3.5.3　打設順序

転流計画を踏まえた砂防堰堤のコンクリート打設順序を、図や写真資料を用いて簡潔に説明してください。

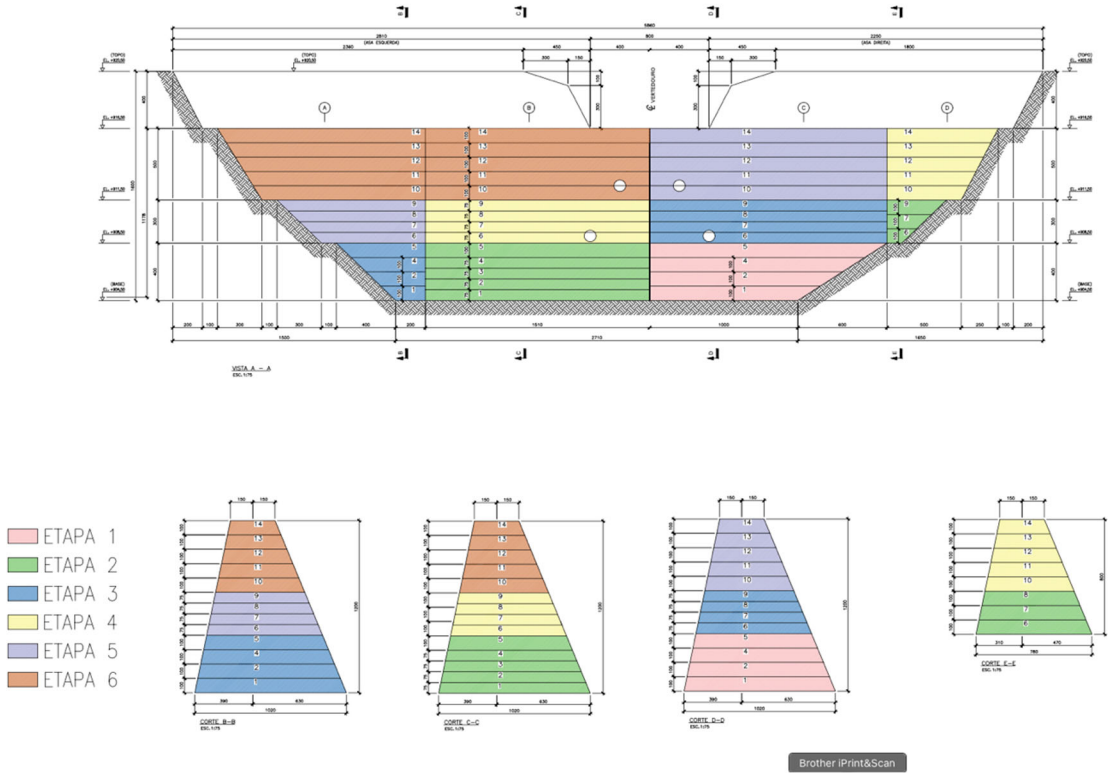


砂防堰堤のコンクリート打設順序イメージ
（出典：砂防マニュアル施工編 5 章 3）

砂防堰堤の施工順序が確認できる写真

3.5.4　リフトスケジュール

マスコンクリートの冷却過程での温度応力や乾燥収縮によるひび割れ対策として、パイロットプロジェクトではブロック打設法が採用されていますが、ブロック打設のリフトスケジュール、ブロックの幅、打設層の高さ、ブロックごとの打設量、次のコンクリート打設までの打設間隔（日数）の情報などを、図表や写真資料を用いて説明してください。



リフトスケジュール（案）

（出典：設計報告書 Volume1　7.1.4.4）

Concretagem (dia)	Volume	Camada
1	104,59	1-C
5	108,72	2-C
9	111,49	4-C
13	123,53	5-C
14	112,95	1-B
18	119,06	2-B e 6-D
22	119,93	3-B e 7-D
26	119,75	4-B e 9-D
30	122,31	5-B
31	114,71	1-A e 6-C
35	115,46	2-A e 7-C
39	113,71	4-A e 8-C
43	119,75	5-A e 9-C
44	117,42	6-B e 10-D
48	111,83	7-B e 11-D
52	103,92	8-B e 12-D
56	94,90	9-B e 13-D
56	94,90	9-B e 13-D
60	23,93	14-D
61	91,20	10-C
65	124,35	6-A e 11-C
69	117,90	7-A e 12-C
73	109,90	8-A e 13-C
77	97,45	9-A e 14-C
78	86,07	10-B
81	66,12	10-A
82	77,01	11-B
85	61,84	11-A
86	67,95	12-B
89	56,59	12-A
90	58,89	13-B
93	51,09	13-A
94	49,83	14-B
97	45,21	14-A

各ブロックのコンクリート打設量（体積）

（出典：設計報告書 Volume1　7.1.4.4）

ブロック打設の状況写真

3.6 特殊工の施工

3.6.1 堤体の水抜き暗渠

平常時の湛水防止、堆砂後の間隙水圧の軽減、施工中の転流工を目的として堤体内に設置される水抜き暗渠の配置、使用材料、施工方法を、図や写真資料を用いて説明してください。水抜き暗渠の配置や施工にあたって配慮した事項があれば、別途説明してください。

水抜き暗渠の施工状況

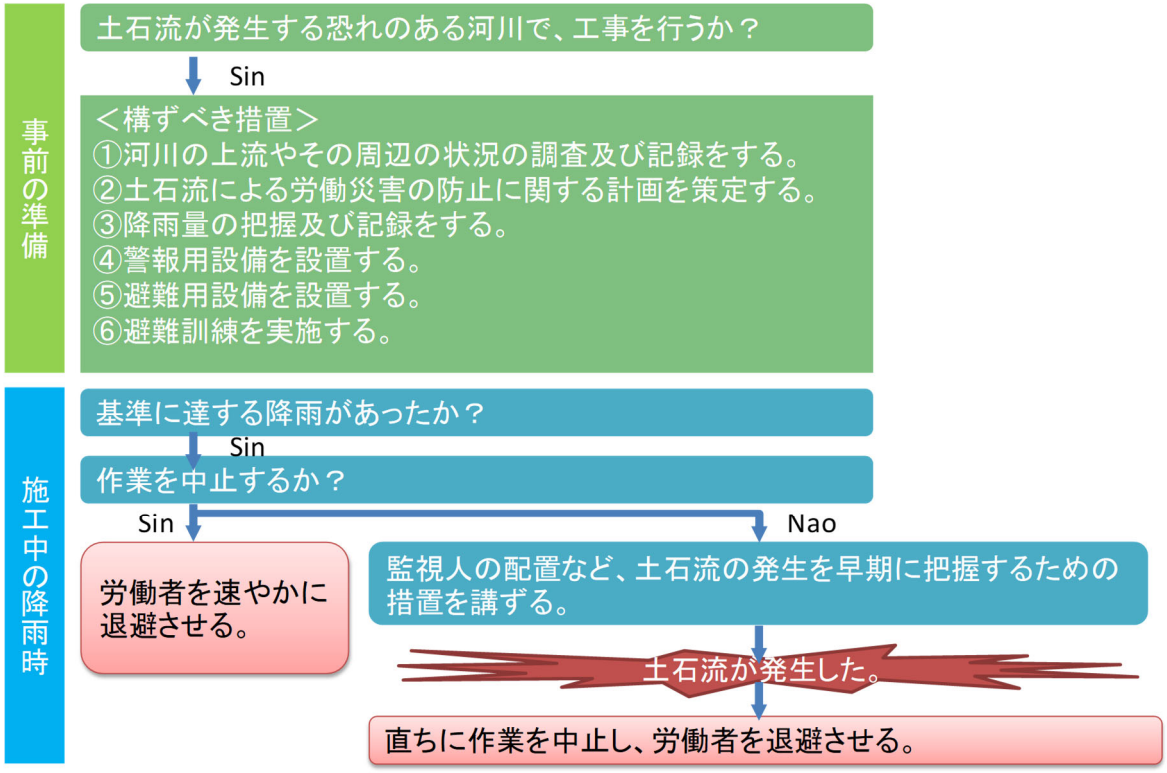
3.6.2 斜面安定化工

砂防堰堤の間詰部分や周辺の斜面を安定化させるために実施された工事（ソイルセメント工、植生被覆工やショットクリートと組み合わせた補強土工、蛇籠工）について、工種ごとに実施場所、概要、工事実施状況および完成状況を図表や写真資料を用いて説明してください。施工にあたって留意した事項、施工中に発生した問題や対応策があれば、併せて説明してください。

3.7 施工時の安全対策

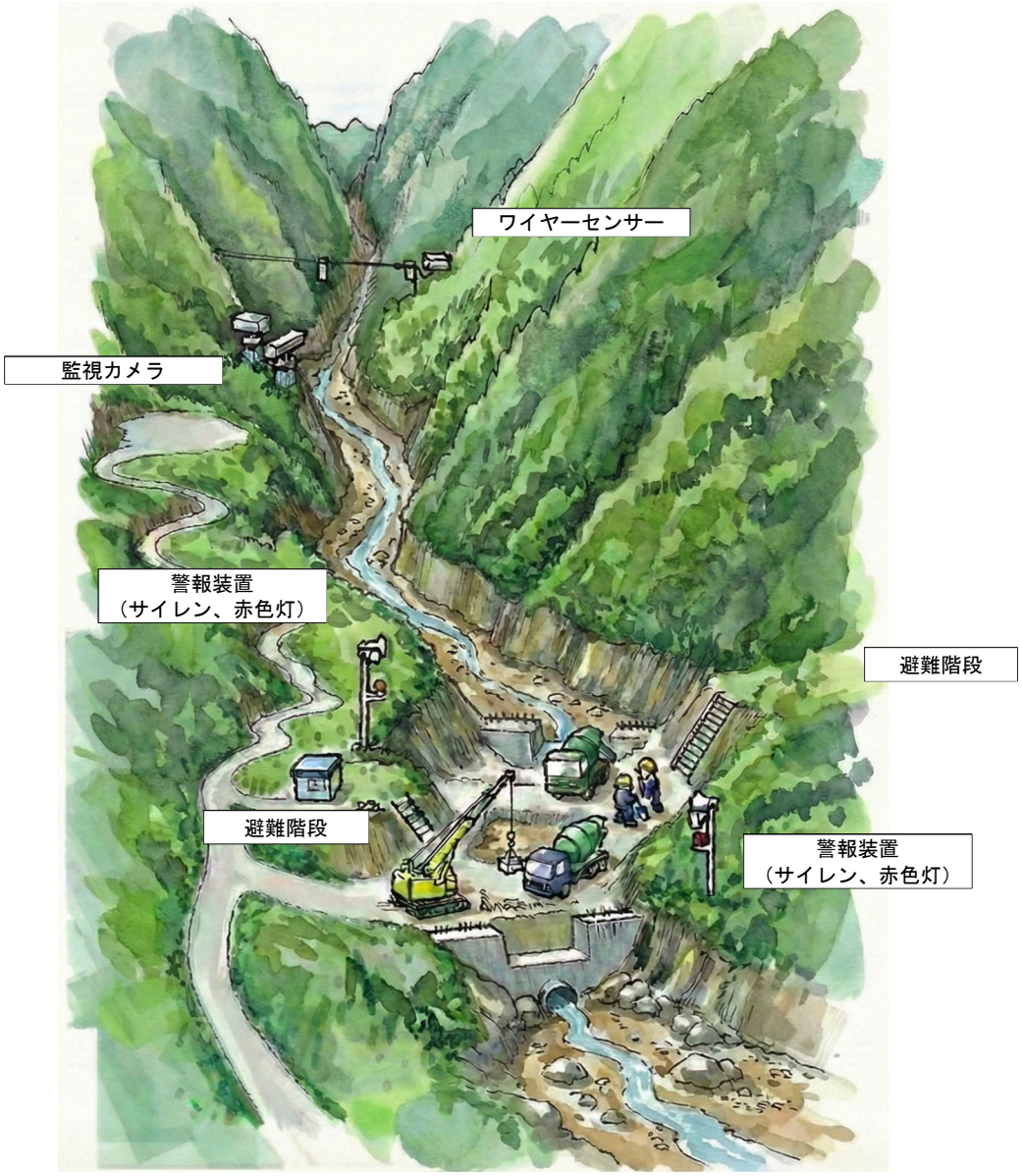
砂防堰堤の工事では、一般的な建設工事における労働災害のほかに、狭隘な谷間で実施される工事特有の、落石、フラッシュフラッド、土石流といったハザードによる災害を被る可能性があります。これらの砂防堰堤の工事現場特有の災害リスクを軽減させ、または回避するためのポイントは、以下の 3 点です。

- ハザード発生の危険性の予測
- ハザード発生の早期把握のための対策
- ハザード発生時の労働者の安全な場所への迅速な避難



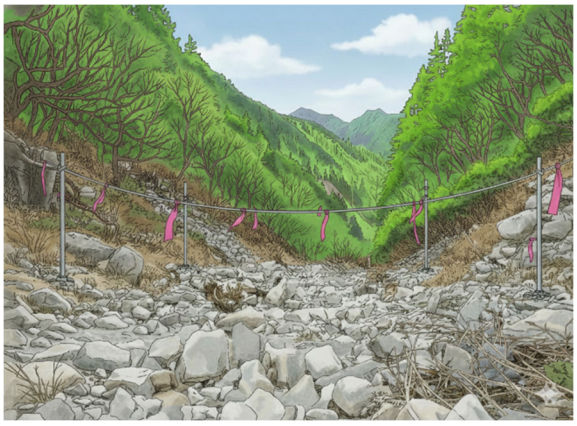
土石流に起因する労働災害防止対策の流れ

パイロットプロジェクトの砂防工事で実際に実施された砂防工事特有の災害リスクの軽減・回避策について、その種類ごとに実施状況を図表や写真資料を用いて説明してください。日本で実施されている一般的な対策例を、参考として以下に示します。
災害リスクが高くなる雨天時の作業実施基準を事前に定めておくことも災害リスク軽減策のひとつです。

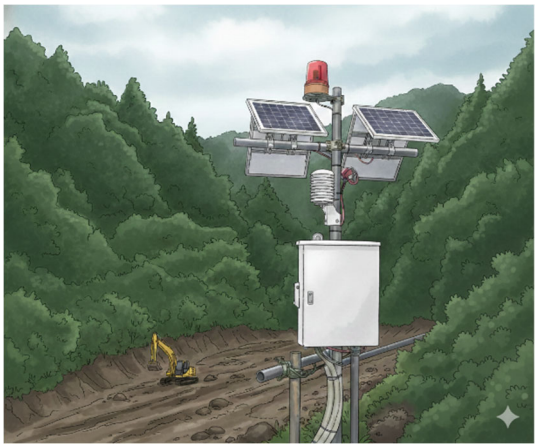


災害防止対策のイメージ図

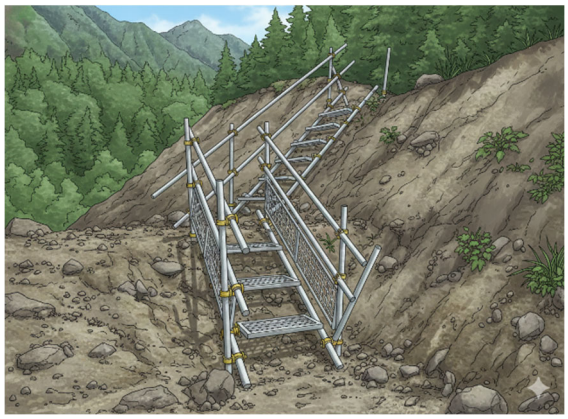
（出典：土石流による労働災害の防止に向けて、厚生労働省・建設業労働災害防止協会　1998年　を基に編集）



上流の崩壊地の監視状況、土石流ワイヤーセンサーの設置状況（※Gemini で生成）



監視カメラ、雨量計、警報装置（サイレン、赤色灯など）等の設置状況（※Gemini で生成）



高所に避難するための階段設置状況（※Gemini で生成）

避難訓練や安全教育の実施状況（※Gemini で生成）

第 3 部：リオデジャネイロ州テレゾポリス市におけるパイロットプロジェクト

ブラジル国強靭な街作りのための土砂災害構造物対策能力向上プロジェクト
事例集
第 3 部：リオデジャネイロ州テレゾポリス市におけるパイロットプロジェクト

目　　次

第 1 章　土石流構造物対策の計画 1-1

1.1　計画対象区域の位置と特徴 1-1
1.1.1　計画対象地域の位置 1-1
1.1.2　テレソポリス地域の特徴 1-2

1.2　背景 1-2
1.2.1　2011 年に発生した土石流の特徴 1-2
1.2.2　プリンシペ川流域の土石流発生状況 1-4

1.3　検討対象地域の概要 1-7
1.3.1　位置 1-7
1.3.2　地形特性 1-8
1.3.3　地質特性 1-9
1.3.4　土地利用 1-10

1.4　対策工計画の基本的事項 1-11
1.4.1　既存施設 1-11
1.4.2　計画基準点 1-13
1.4.3　降雨解析 1-13
1.4.4　計画規模 1-18

1.5　計画総流出量の算定 1-19
1.5.1　流域の谷次数区分 1-19
1.5.2　移動可能土砂量 (Vdy1) 1-20
1.5.3　一定の再現期間の最大日雨量に伴う運搬可能土砂量 (Vdy2) 1-32
1.5.4　計画流出流木量 (Vw) 1-33
1.5.5　計画総流出量 1-33

1.6　計画対象流量 1-34
1.6.1　土砂含有を考慮した流量 1-34
1.6.2　土石流ピーク流量 1-35
1.6.3　土石流の氾濫解析（HyperKANAKO） 1-36

1.7　施設配置計画 1-38
1.7.1　地形測量 1-38
1.7.2　現況施設効果量の算定 1-40
1.7.3　計画施設の対策工選定 1-40
1.7.4　施設配置計画 1-40

1.8　優先施設の検討 1-47
1.8.1　優先施設の選定 1-47
1.8.2　堰堤軸の検討 1-47
1.8.3　概略図面の作成 1-51

第 2 章　土石流構造物対策の設計 2-1

2.1　設計の概要 2-1
2.1.1　実施項目 2-1
2.1.2　透過型砂防堰堤の設計順序 2-1
2.1.3　対象渓流の位置 2-2

2.2　詳細設計のための調査 2-3
2.2.1　地形測量 2-3
2.2.2　地質調査 2-4
2.2.3　礫径調査 2-8

2.3　設計条件 2-9
2.3.1　鋼構造への作用 2-9
2.3.2　土石流ピーク流量の算定 2-11
2.3.3　土石流荷重 2-13

2.4　鋼製部の設計 2-15
2.4.1　鋼管間隔の設定 2-15
2.4.2　開口部の設定 2-15
2.4.3　土石流ピーク流量(Qsp)に対する越流水深 2-18
2.4.4　設計水深の決定 2-19

2.5　構造計算 2-21
2.5.1　鋼管フレームの設計 2-21
2.5.2　荷重の組み合わせ 2-21
2.5.3　構造計算法 2-23
2.5.4　フランジ継手の照査 2-40

2.6　安定計算 2-42
2.6.1　底版コンクリートの形状 2-42
2.6.2　安定条件 2-44
2.6.3　底版コンクリート内の引抜きと圧縮 2-51
2.6.4　用心鉄筋 2-53

2.7　非越流部（不透過部）の形状 2-54
2.7.1　安定計算に用いる荷重の組み合わせ 2-54
2.7.2　袖形状 2-58

2.8　設計図面（2025 年 12 月時点） 2-66

2.9　今後の留意事項 2-80
2.9.1　施設配置計画の検討 2-80
2.9.2 詳細設計のための調査 2-82
2.9.3　砂防堰堤の設計 2-83
2.9.4　維持管理計画の検討 2-83

第 3 章　土石流構造物の施工 3-1

3.1　施工の手順 3-1

3.2　工事用道路 3-1
3.2.1　施工状況 3-1
3.2.2　施工中に発生した技術的問題と対処結果 3-4

3.3　転流工 3-5
3.3.1　対象流量 3-5
3.3.2　転流工の配置と転流方式 3-5
3.3.3　転流工の設計 3-6
3.3.4　施工中に発生した技術的問題と対処結果 3-6

3.4　掘削工 3-7
3.4.1　掘削状況 3-7
3.4.2　施工中に特に留意した事項 3-9
3.4.3　施工中に発生した技術的問題と対処結果 3-10

3.5　コンクリート工 3-10
3.5.1　コンクリートの配合と製造・運搬 3-10
3.5.2　コンクリート工の各手順の実施方法 3-11
3.5.3　打設順序 3-13
3.5.4　リフトスケジュール 3-14

3.6　鋼製フレーム砂防堰堤の組立て 3-15
3.6.1　鋼製部の製造・運搬 3-15
3.6.2　組立方法 3-15
3.6.3　出来形管理 3-19

3.7　特殊工の施工 3-19
3.7.1　堤体の水抜き暗渠 3-19
3.7.2　斜面安定化工 3-20

3.8　施工時の安全対策 3-20

第 1 章　土石流構造物対策の計画

1.1　計画対象区域の位置と特徴

1.1.1　計画対象地域の位置

テレゾポリス市（面積 770km^2 強）は、ブラジル国リオデジャネイロ州の自治体であり、リオデジャネイロ州内陸の南東部に位置する。フルミネンセ山脈（Serra Fluminense）のペトロポリス中間地理区に位置し、州都リオデジャネイロ市から北に 94.3km の距離にある。

対象渓流は、テレゾポリス市の中心部から 5.0 km に位置し、土石流が発生したカンポ・グランデ地区に属する。

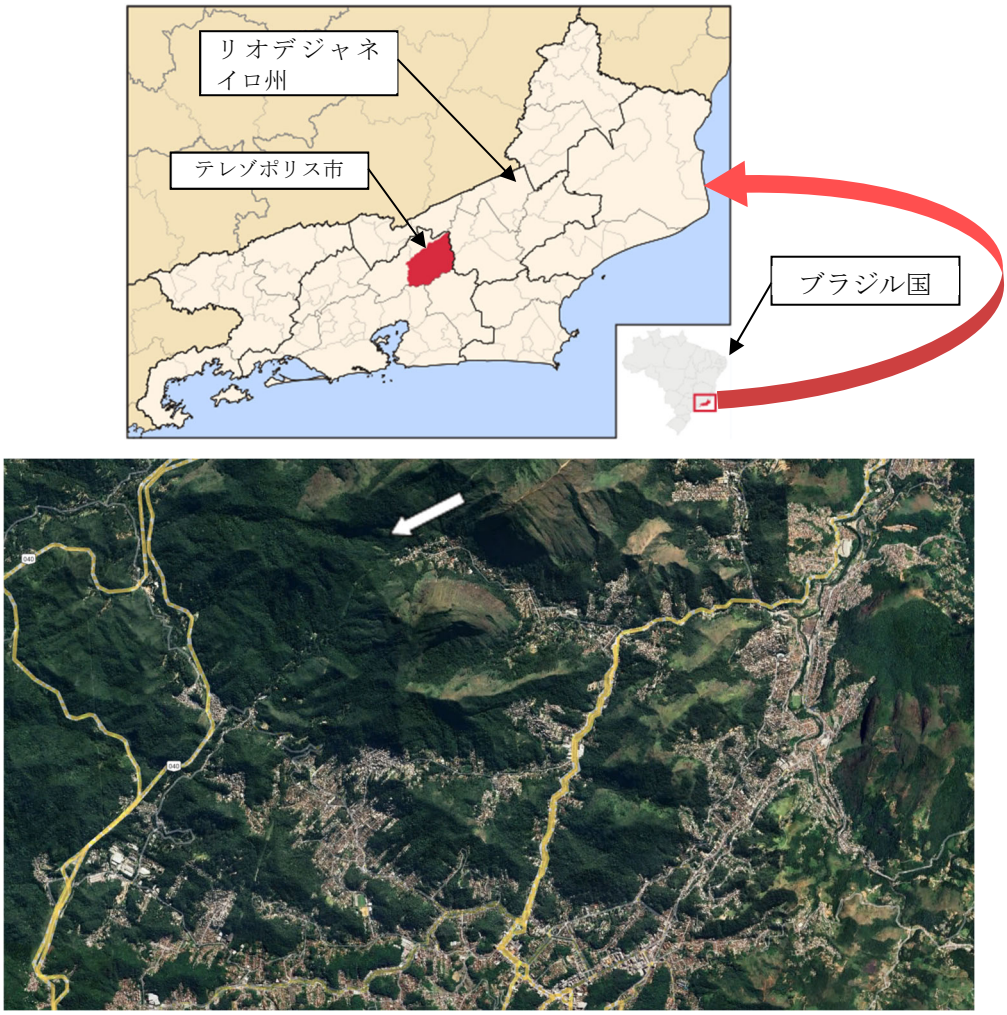


図 1.1.1 土石流構造物対策の計画対象地域

出典：砂防プロジェクトにて作成

1.1.2 テレソポリス地域の特徴

ブラジル地理統計院の国勢調査によると、2010年8月1日現在のテレゾポリス地域の人口は163,746人である。

国立気象研究所のデータによると、1991年から2020年までの年間平均降水量は1,649.9mmで、24時間累積降水量の最大値は2012年4月7日の194mmであった。

リオデジャネイロ州北西部のセラ・ドス・オルガイオス（Serra dos Órgãos）地区に位置するリオデジャネイロ山岳地域は、2011年1月上旬に激しい降雨に見舞われ、その結果、大規模な洪水及び土石流が発生し、リオデジャネイロ州において史上最大級の災害に見舞われた。

2011年1月11日から12日にかけて、同地域で連続的な土石流災害を引き起こした異常降雨が発生し、数千人が影響を受け、甚大な被害が発生した。

Pelizoni（2014）によると、この出来事の起源は南東部の降雨にあり、リオデジャネイロ州の山間部では8～10日間降水が続き、土壌の飽和プロセスが始まり、1月10日と12日に3時間にわたって降った豪雨が前線性の雨と重なった。また、Pelizoni (2014)が記述しているように、この出来事に加えて、アマゾンからの水分を供給源とする積乱雲が形成され、1月11日から12日の夜間に4.5時間にわたって豪雨が谷の源流で局地的に降った。

Nunes (2013, apud Pelizoni, 2014)によると、最も被害を受けた地域は、ノヴァ・フリブールゴ、ペトロポリス、テレソポリス、ボム・ジャルディン、サン・ジョゼ・ド・ヴァーレ・ド・リオ・プレト、スミドゥーロの各自治体で、公式には970人以上が死亡し、2万人以上が家を失った。

1.2 背景

1.2.1 2011年に発生した土石流の特徴

2011年1月、リオデジャネイロ州テレソポリス市の最西部に位置するコルゴ・ド・プリンシペ（Córrego do Príncipe）は、土石流によって壊滅的な被害を受けた。

リオデジャネイロ州テレゾポリス市の西端に位置するプリンシペ渓流は、2011年1月12日に発生した土石流で大きな被害を受けた。Muriel Conqら（2015）は、現地調査や衛星画像解析に基づき、豪雨に起因する土石流によって、プリンシペ渓流の上流2.8kmの区間で岩石ブロックや転石の流動が、またその下流を含む合計4.8kmの区間で土砂の堆積が生じ、大きな被害をもたらしたと報告している（図-1.1）。このスタディでは、2011年1月の災害で被害を受けたエリアの上流に基準点を設定し、それより上流の渓流を対象として、土石流災害を軽減するための土石流構造物対策の検討を行った。基準点付近の河床勾配は、土石流の堆積区間に相当する4.4度である。

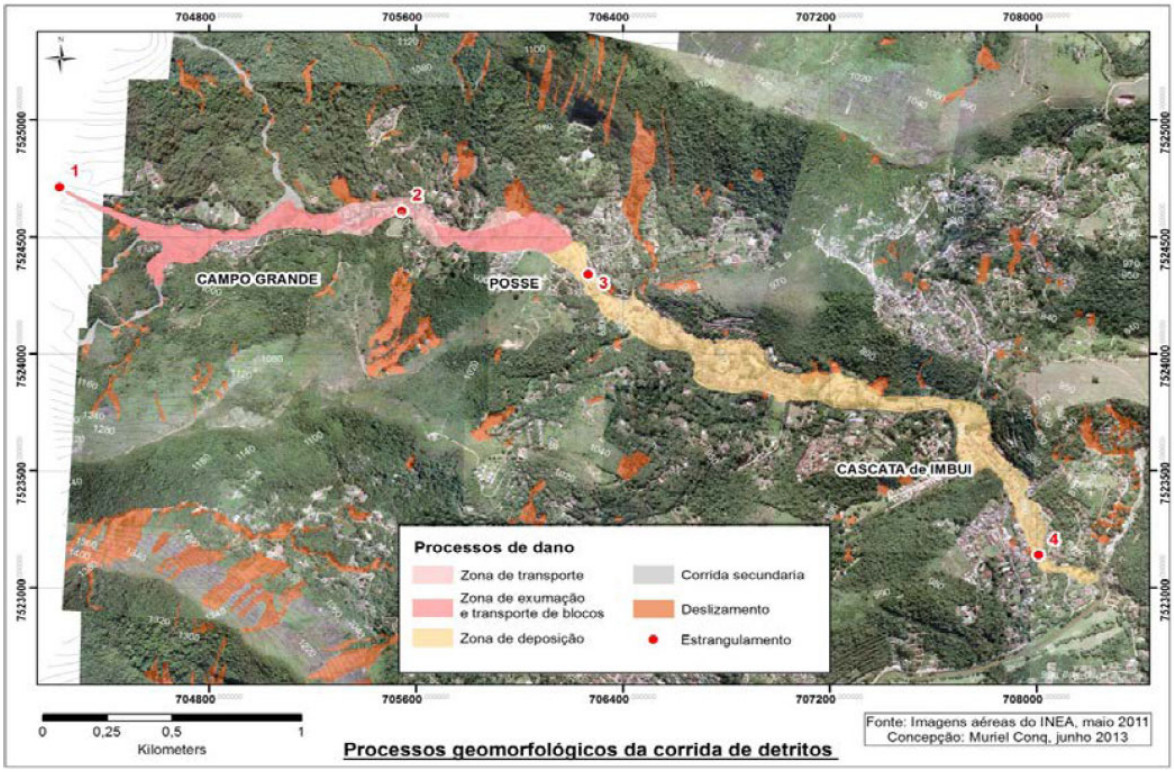


図 1.2.1 土石流の流下範囲と堆積した土砂の特性区分図

出典: Muriel Conq, Carla Semiramis Silveira, Francisco Dourado (2015): Processos geomorfológicos e danos derivados da corrida de detritus de janeiro 2011 na bacia do Córrego do Príncipe, Teresópolis – Região Serrana do Rio de Janeiro, Ciência e Natura, v.37, p. 93 – 103

1.2.2　プリンシペ川流域の土石流発生状況

(1) 土砂生産状況

2011 年 1 月 19 日に撮影された写真では、プリンシペ川上流域の流域界付近（0 次谷）から土砂が生産され、下流河道に流出している状況が確認されている。同様の土砂生産が流域内の多くの場所で発生している。

図 1.2.2 2011 年災害時の土砂生産状況（2011 年 1 月 19 日）

出典：ブラジル国統合地域開発省撮影

(2) 土石流の流下堆積状況

プリンシペ川下流域では、大規模な土石流となって流下堆積しており、Campo Grande 地区において甚大な被害が発生した。土石流堆積物は、谷出口付近から教会までの 1.5km 程度の区間にわたって堆積していることが確認された。土石流堆積物には、巨礫が確認されることから、巨礫を多数含む土石流が流下したと推察される。

図 1.2.3 2011 年災害時の土砂生産状況（2011 年 1 月 19 日）
出典：ブラジル国統合地域開発省撮影

図 1.2.4 2011 年災害時の土砂生産状況（2011 年 1 月 19 日）
出典：ブラジル国統合地域開発省撮影

GIDES プロジェクトにおいて実施した土石流災害後の住民対象インタビューによると、谷出口付近では複数方向から土石流が同時に流れてきており、水位は 5m 程度であったとされている。この土石流によって集落の家屋や道路は破壊され、多数の死者と行方不明者が発生した。2016 年当時の現地調査では、谷出口付近に段丘堆積物が形成されており、これが土石流堆積物であったと考えられる。

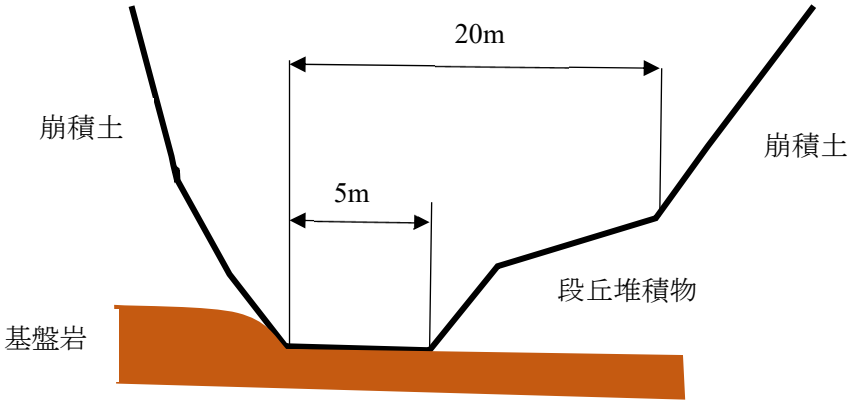


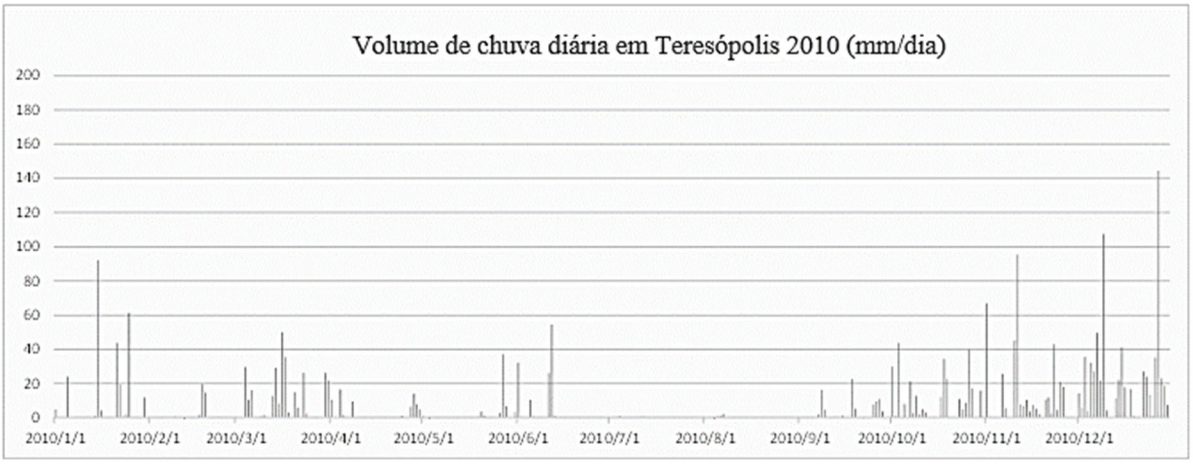
図 1.2.5 土石流堆積物の状況（扇頂部付近）

図 1.2.6 土石流痕跡の調査

出典: Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil/Ministério da Integração Nacional (2018): Volume 4 - Manual Técnico para Intervenções Estruturais para Fluxo de Detritos , Projeto Gides

(3) 降雨状況

ブラジル気象庁（Instituto Nacional de Meteorologia/ INMET）の降雨観測データに基づき、2010 年から 2011 年にかけてのテレゾポリス市の降雨状況を整理した。災害が発生した 2011 年 1 月 11 日から 12 日にかけての最大時間雨量は 17.6 mm/h、最大 24 時間雨量は 90.8 mm/24h となっており、100 年超過確率雨量 199 mm/dia に比べて小さい。しかしながら、2010 年 12 月 9 日と同月 27 日に日雨量が 100 mm を越えており、また 12 月の 1 ヶ月の総雨量が 707 mm と非常に多い。したがって、強い雨が長期間続いたことが災害の原因と考えられる。



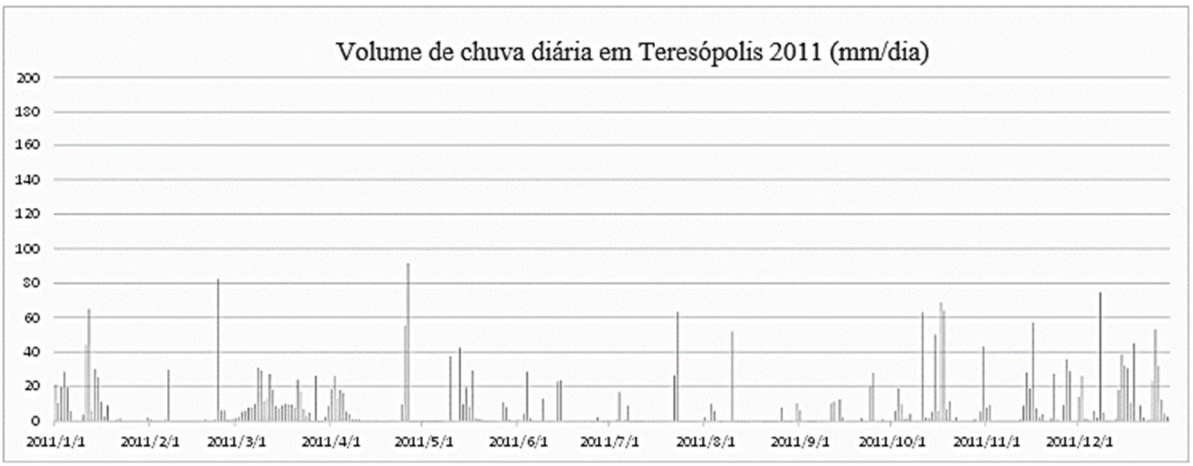


図 1.2.7 テレゾポリス市の 2010 年から 2011 年にかけての日雨量

出典：砂防プロジェクトにて作成

1.3 検討対象地域の概要

1.3.1 位置

調査対象流域は、テレゾポリス市の最西端に位置するプリンシペ川のイコニャ川流域であり、流域面積は 3.19km^2 である。流域内にも複数の住宅があるため、住宅に沿って道路が存在する。2011 年土石流発生前は、谷出口下流のプリンシペ川沿いに多くの住宅が立地していたが、土石流によって大きな被害が発生した。

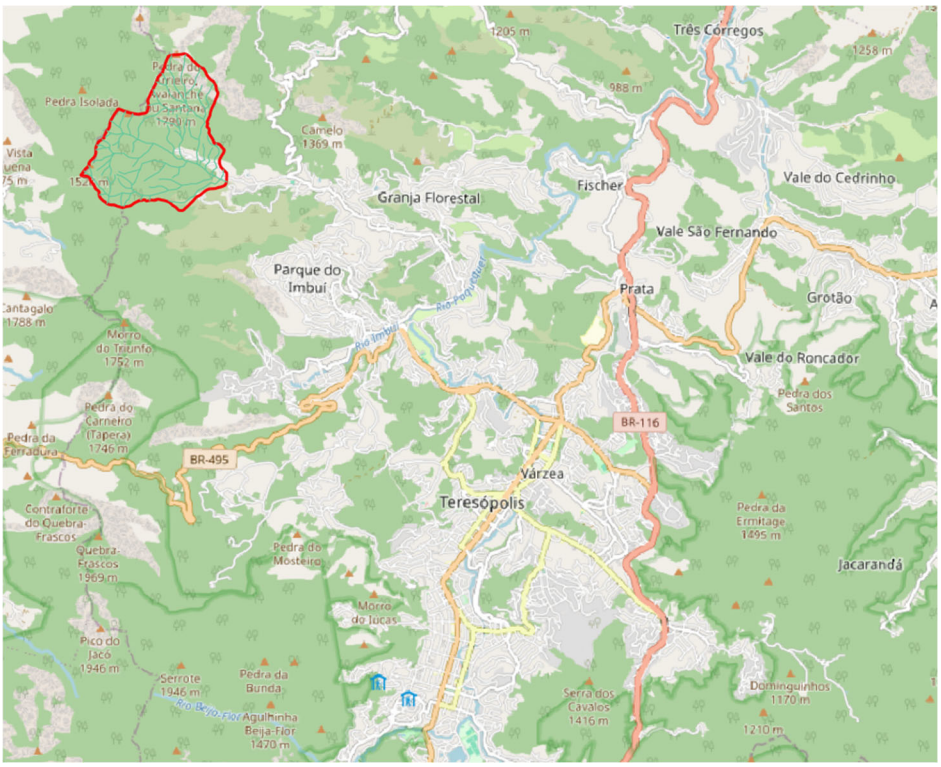


図 1.3.1 対象流域の位置

出典：砂防プロジェクトにて作成

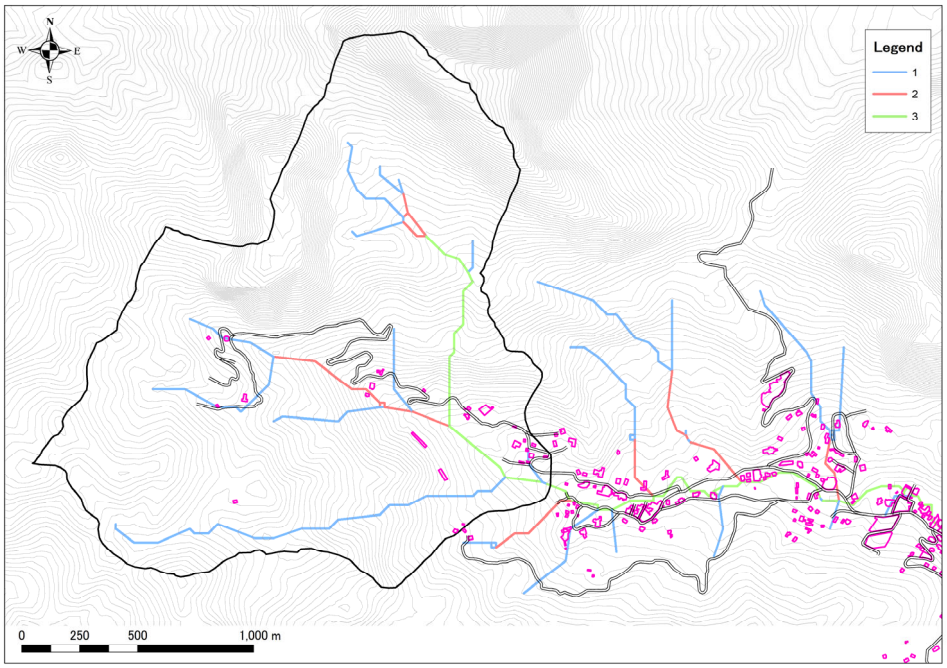


図 1.3.2 対象流域（プリンシペ川上流域）

出典：砂防プロジェクトにて作成

1.3.2 地形特性

流域内の北側斜面は、傾斜 40 度以上の急斜面になっており、河道部分には滝が形成されている。一方、流域南側は 10～25 度程度の傾斜度となっており、北側流域と比較すると緩勾配

斜面となっている。

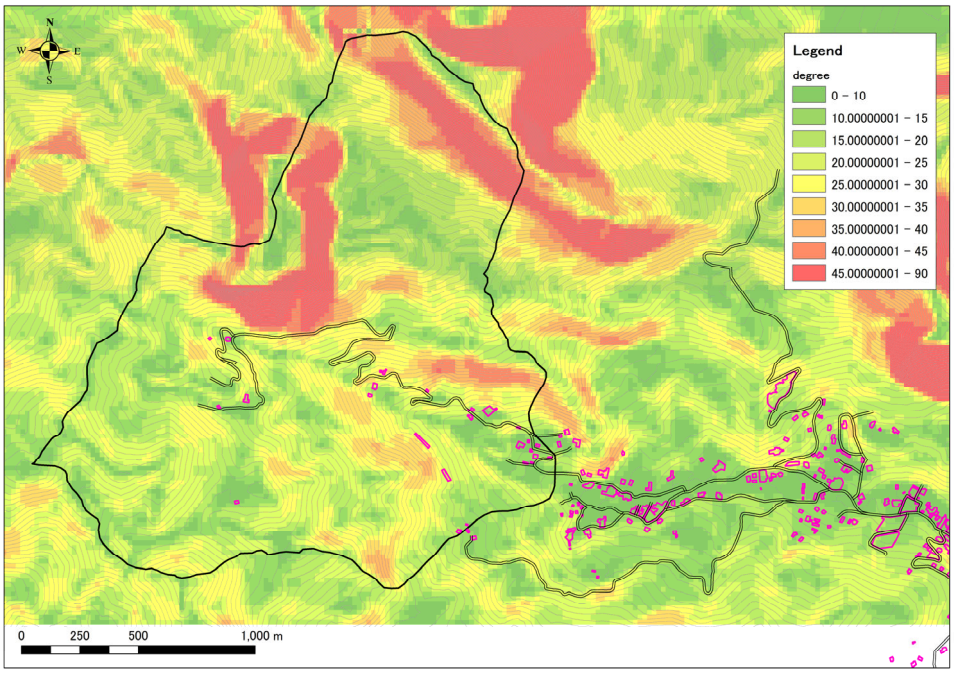


図 1.3.3 傾斜区分図（プリンシペ川上流域）

出典：砂防プロジェクトにて作成

1.3.3 地質特性

流域内の地質は、Rio Negro Complex（NP23ϒ1rn)）と Granito Teresópolis (Є4O1ϒ6nftr)から構成されている。この花崗岩は Teresópolis 市と Nova Friburgo 市の間に露出している。その特徴はチタン鉄鉱とアラナイトが特徴である。ポルフィライト質で、中粒相と細粒相がある。細粒相は、炭酸塩、亜塩素酸塩、セリサイトが形成され、遅発性マグマ起源の熱水流体の証拠を示している。

図 1.3.4 渓床の露岩状況

出典：砂防プロジェクトにて作成

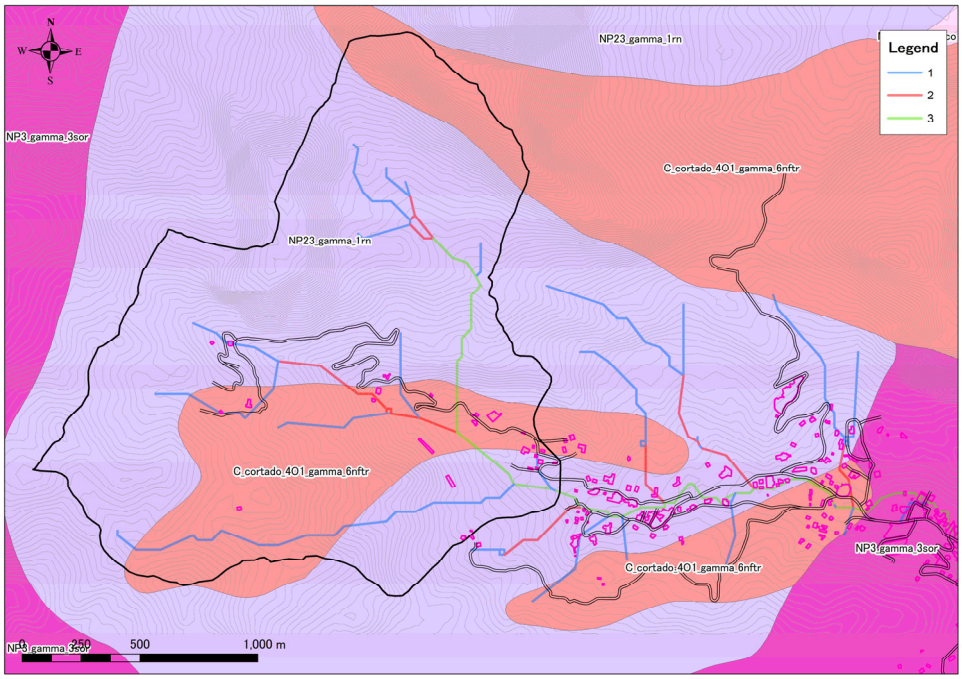


図 1.3.5 流域地質図（プリンシペ川上流域）

出典：砂防プロジェクトにて作成

1.3.4 土地利用

流域内下流からプリンシペ川沿いに住宅地が形成されている。公共施設としては住宅地内に教会が立地している。2011 年土石流災害の際は、教会にも土石流氾濫が到達し、被災している。

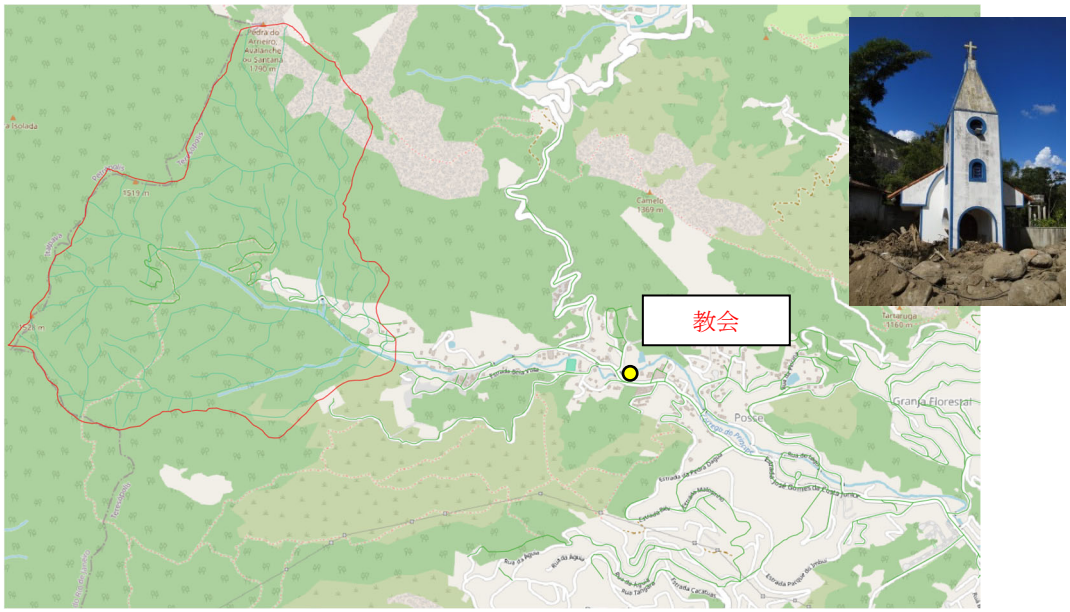


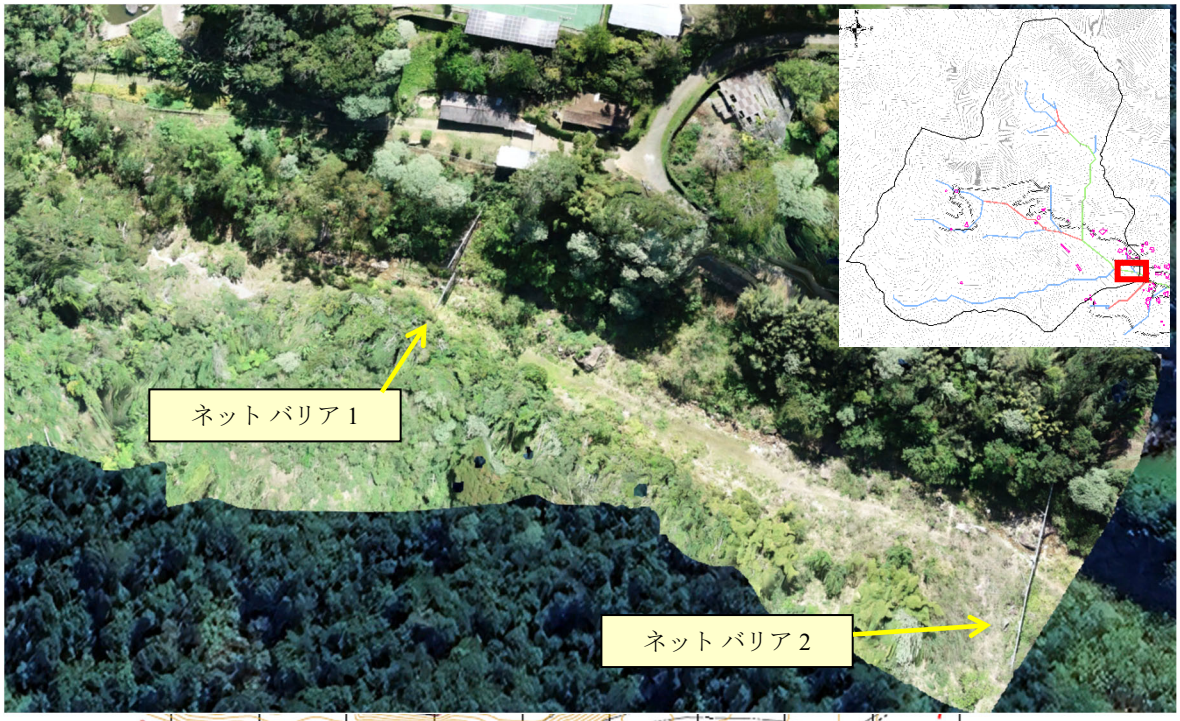
図 1.3.6 流域周辺の公共施設（プリンシペ川上流域）

出典：砂防プロジェクトにて作成

1.4　対策工計画の基本的事項

1.4.1　既存施設

基準点上流の対象渓流はイコンハ川と呼ばれる。谷出口では、河道が扇状に形成されており、谷幅が広い。このため、土石流を効率よく捕捉するためには、できるだけ下流で土石流を捕捉する工事が必要であることが知られている。2011 年の土石流災害後、流域の下流端に近い 3 次谷の河道に 2 つのネットバリアが、リオデジャネイロ州環境研究所（INEA）によって建設されている。



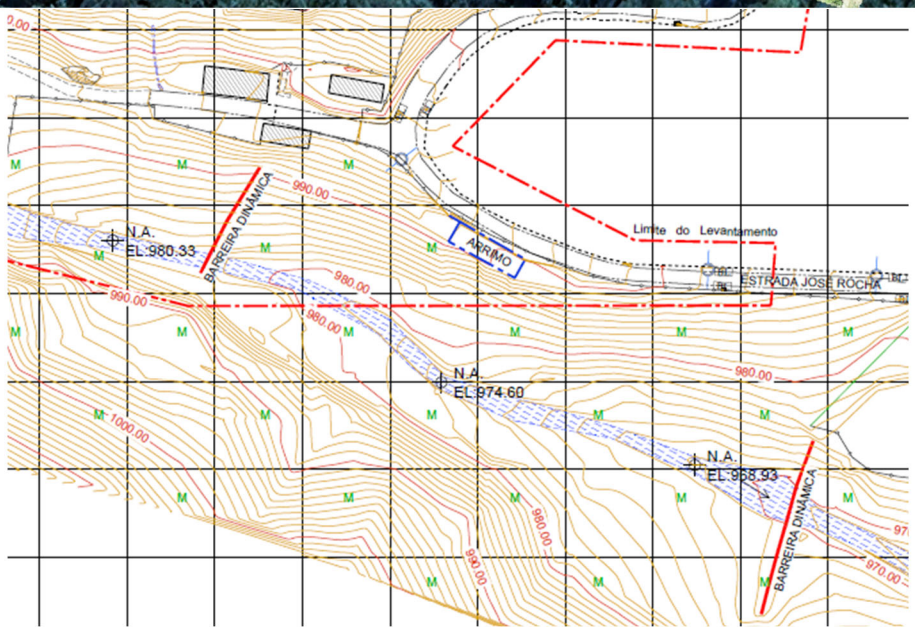


図 1.4.1 ネットバリアの設置状況

出典：砂防プロジェクトにて作成

図 1.4.2 ネットバリア 2 の状況

出典：砂防プロジェクトにて作成

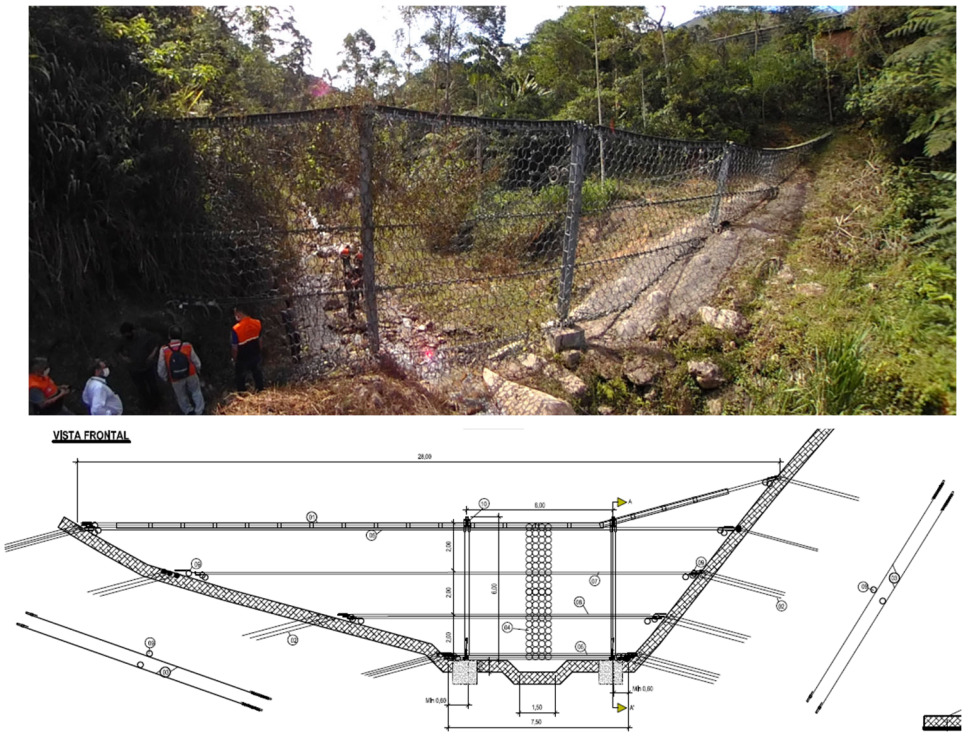


図 1.4.3 ネットバリア 1 の状況

出典：砂防プロジェクトにて作成

1.4.2　計画基準点

計画基準点は、2011 年土石流時の氾濫開始点である谷出口に設定した。設定した計画基準点は既設ネットバリア 2 の下流に位置する。計画基準点の河床勾配は 1/10 程度で土石流区間（堆積区間）となっている。

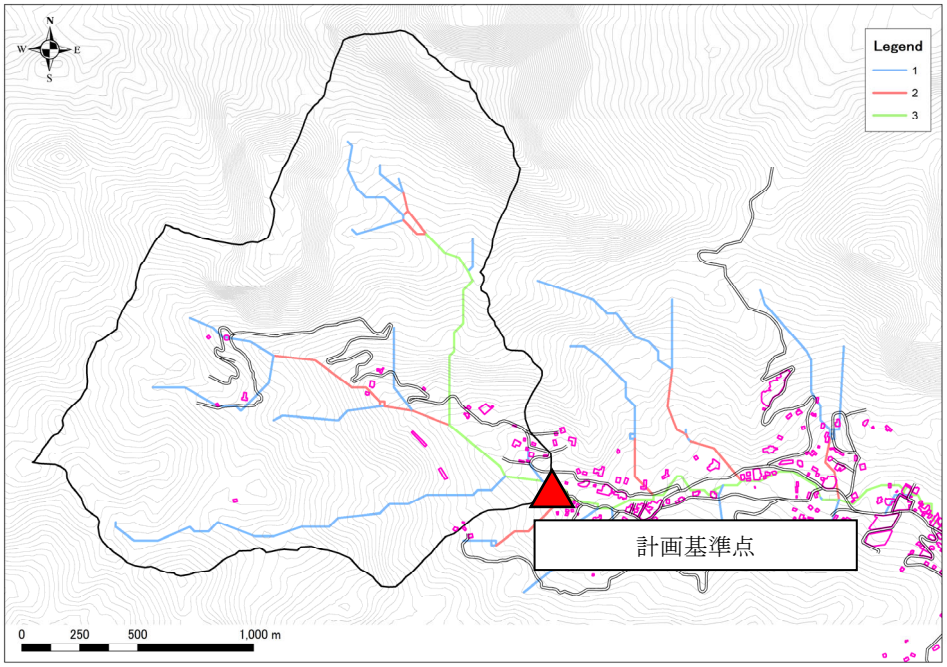


図 1.4.4 計画基準点（プリンシペ川上流域）

出典：砂防プロジェクトにて作成

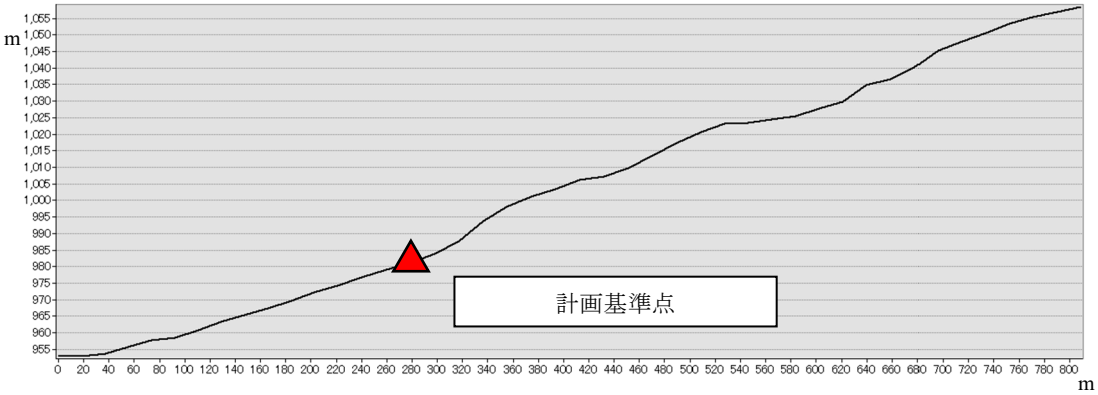


図 1.4.5 計画基準点（プリンシペ川上流域）

出典：砂防プロジェクトにて作成

1.4.3　降雨解析

降雨解析による極端な降雨量の算定結果は、運搬可能土砂量の算定の基本となるもので、再現期間に対する最大日雨量で表される。

(1) 考慮するデータおよび降雨観測所の選定

国立水庁 (ANA) のデータベース、国立水文情報システムに含まれる Hidroweb システム（http://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa）から入手可能なデータを用いて、この地域の降雨観測所の評価を行った。データは 2021 年 12 月に収集された。

Córrego do Príncipe には、INEA - RJ の責任の下で運営されている POSSE と呼ばれる流況観測所（コード 58414800）があり、2011 年 10 月 31 日以降の流況データ、すなわち 10 年強のデータがある。プロジェクトの後期に行われる今後の調査更新のために、INEA にこのデータが利用可能かどうかを確認し、降雨量を流量に変換するモデルの校正を行うことを提案した。

降雨観測所の選定条件として、30 年以上のデータを蓄積しているものに限定した。当地域の降雨観測所で入手可能なデータのうち、この条件を満たすものは、以下の 2 つであった。

- TERESÓPOLIS Pluviometric 観測所 (PARQUE NACIONAL)(コード 2242071)は、INMET によって運営されている。この雨量計は、プリンシペ川に設置されたネットバリアから約 7km の地点にあり、1913 年から 2012 年までのデータを提供している。
- CPRM によって運営されている BOM SUCESSO 観測所（コード 2242026）。この雨量計は、プリンシペ川流域に設置されたネットバリアから約 25km の地点にある。

さらに、ネットバリアの位置から 2km 強の地点に、TERESÓPOLIS_Parque do Imbui（コード 2242423）という観測所が確認された。この雨量観測所は CEMADEM によって運営されているが、調査対象となる災害時および 2013 年 12 月 31 日に行われたと思われる観測所の運用開始時には、そのデータは Hidroweb のデータベースにはなかった。

そのため、TERESÓPOLIS Pluviometric 観測所(PARQUE NACIONAL) (コード 2242071)と BOM SUCESSO 観測所 (コード 2242026)の 2 箇所の雨量計を調査対象とした。対象観測所の位置を以下に示す。

図 1.4.6 調査対象とした雨量計の位置

出典：砂防プロジェクトにて作成

下表は、降雨観測期間の各年の年最大日雨量を示したもので、合計 100 年間のデータである。数値は高いものから低いものへと並んでいる。なお BOM SUCESSO 観測所（コード 2242026）とは、降雨特性が同じとみなせるほど近接した観測所であるため、欠測期間のデータは BOM SUCESSO 観測所（コード 2242026）のデータを用いて埋めた。

表 1.4.1 観測データに基づく年最大日雨量データ
(TERESÓPOLIS (PARQUE NACIONAL) – コード 2242071)

ANO	CHUVA MÁX DIÁRIA(MM)
1922	249,30
2012	194,00
1967	166,10
1978	156,15
1920	150,00
1919	149,20
1923	149,00
2002	145,40
1979	140,00
1966	134,10
1993	134,00
1937	127,00
2006	125,10
2011	124,60
1976	123,06
1958	121,40
1947	109,70
2008	106,80
2010	104,60
1995	104,20
1990	103,95
1946	103,20
1952	101,90
1977	99,67
1935	98,40
1950	92,00
1914	91,80
1934	91,60
1961	87,70
1968	87,20
1981	86,20

ANO	CHUVA MÁX DIÁRIA(MM)
1981	86,20
1924	86,00
1933	85,80
1929	84,80
2007	83,40
2003	80,80
1927	80,50
1931	80,00
1945	79,40
1943	79,30
1944	79,10
1955	78,70
1956	78,40
1913	77,00
2005	77,00
1925	76,80
2009	74,80
1962	74,60
1948	73,40
2004	72,40
1930	72,30
1941	71,90
1932	71,60
1965	71,20
1992	71,20
1921	70,20
1939	69,60
1972	69,44
1959	68,90
1915	68,40
1917	68,20
1973	68,01
1926	68,00
1938	68,00

ANO	CHUVA MÁX DIÁRIA(MM)
1985	67,50
1918	66,70
1916	66,00
1970	65,70
1951	65,50
1998	63,40
1991	63,16
1936	62,20
1986	61,90
1940	61,20
1957	61,10
1982	60,50
1980	60,00
1960	59,80
1949	59,60
1971	59,45
1969	58,70
1928	57,80
1964	57,20
1953	56,80
1987	56,50
1983	55,30
1954	52,30
1997	48,00
2001	46,33
1942	46,30
1963	46,20
1984	40,90
2000	38,92
1996	37,00
1994	31,40
1988	26,08
1975	25,22
1989	21,23
1999	15,53
1974	11,25

出典：砂防プロジェクトにて作成

(2) 解析方法

この検討は、対象観測所で記録された年間最大日雨量のデータ系列に基づいた。欠測が起こった年については、欠測が乾季に発生していることを確認したうえで、その年の最大年値を考慮した。

降雨解析は、最大日雨量とそれに関連する発生頻度との関係を確立することを目的としたもので、雨量計に記録された日雨量に対する年間最大降雨記録の確率的評価に基づく。すなわち、各年に年間最大値が対応することから、{ y1, y2, ..., yn} の集合が得られる。これは、年間の最大日雨量である確率変数 Y のサンプルとして解釈できる。したがって、問題は P[Y > xT] =T となる xT の値を求めることである。ここで、xT は発生頻度（T 年）に対応する降雨量である。そのため、確率分布をサンプル{y1, y2,..., yn} に当てはめることによって、任意の T に対する xT を設定することができる。

検討した分布は、2 つのパラメータを有する指数分布（モーメント法により推定）およびグンベル分布（極値分布のタイプ 1 型）である。採用する分布の選定にあたっては、サンプルの歪度が 1.5 を超える場合は指数分布を、1.5 未満の場合はグンベル分布を採用するよう勧告する『流域の水力発電調査マニュアル－2007 年版』が考慮された。

平均値 (x)、標準偏差 (s)、および歪度 (g) の算出には、次の方程式が用いられた。

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i$$ 方程式 4-1

$$s = \left[\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^{n} \left(x_i - \bar{x} \right)^2 \right]^{0,5}$$ 方程式 4-2

$$g = \frac{n}{(n-1)\cdot(n-2)} \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^3}{s^3} \right)$$ 方程式 4-3

再現期間 T に対応し、超過しない確率(p)を持つ両分布の分位数

$P(Y \le x_T) = 1 - P(Y > x_T) = 1 - \frac{1}{T}$ は、次の方程式を用いて算出される。

2 つのパラメータを有する指数分布:

$$x_T = x_o - \beta \cdot \ln \cdot \left(\frac{1}{T} \right)$$ 方程式 4-4

ここで:

$$x_o = \bar{x} - s$$

$$\beta = s$$

x_o および β は、分布パラメータである。

グンベル分布

$$x_T = \beta - \alpha \cdot \left(\ln \cdot \left(-\ln \cdot \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right)$$ 方程式 4-5

ここで:

$$\alpha = 0{,}779 \cdot s$$

$$\beta = \bar{x} - 0{,}577 \cdot \alpha$$

ここで α および β は、分布パラメータである。

(3) 異常な降雨に関する解析結果

上述の手法に基づく解析の結果、歪度値が 1.5 未満であったため、グンベル分布が採用された。得られたパラメータを下表に示す。

再現期間 100 年の降雨量は 199mm/日である。

表 1.4.2 グンベル分布のパラメータ

サンプルデータ数=	100
$\bar{x}$	81,69
s	1.403,53
s^2	37,46
g=	1,43
α =	29,18
β =	64,85

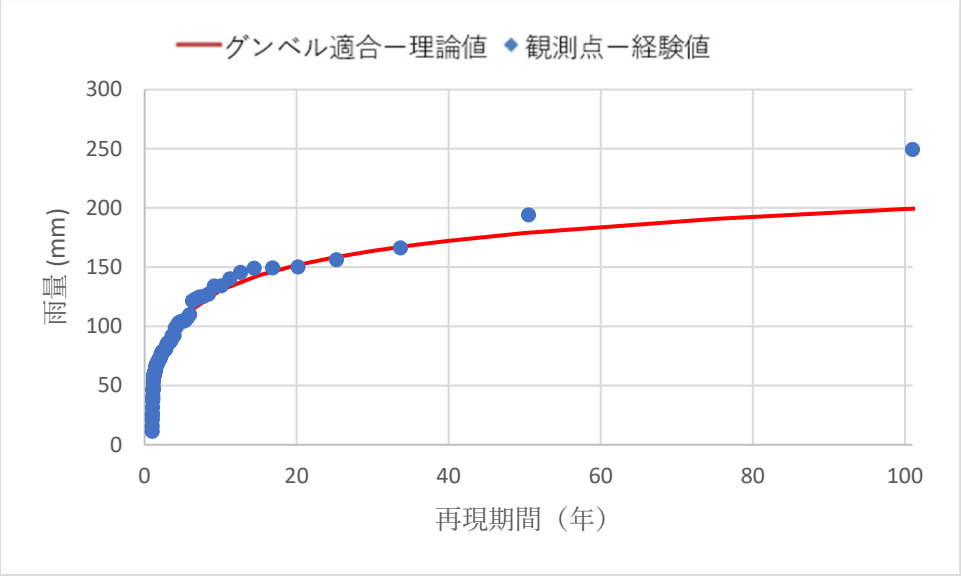


図 1.4.7 グンベル分布への統計適合

出典：砂防プロジェクトにて作成

表 1.4.3 再現期間と最大日雨量

再現期間（年数）	雨量 (mm)
2	76
3	91
4	101
5	109
10	131
15	143
20	152
25	158
30	164
35	168
40	172
50	179
75	191
100	199
200	219
250	226
500	246
750	258
1000	266

出典：砂防プロジェクトにて作成

1.4.4 計画規模

2011 年災害時の 24 時間雨量及びテレゾポリス市の既往最大 24 時間雨量は、100 年確率程度であることから、SABO マニュアルに準拠し、対象渓流の計画規模 100 年確率の 199mm を採

用した。

1.5　計画総流出量の算定

計画総流出量は、先に設定した計画基準点にて算定する。計画総流出量は、計画流出土砂量に計画流出流木量を加えたものである。

計画流出土砂量は、移動可能土砂量（Vdy1）と運搬可能土砂量（Vdy2）とを比較し、このうち小さい方の値を採用する。

移動可能土砂量は、検討対象地域の地形や地質を考慮して、発生可能な最大の土砂量である。

運搬可能土砂量は、計画で設定した再現期間の日雨量の時、流下する恐れのある最大の土砂量である。

1.5.1　流域の谷次数区分

簡易リスクマッピングマニュアル “Manual de mapeamento simplificado para identificação preliminar e priorização de talvegues susceptíveis à ocorrência de fluxos de detritos, visando a implantação de Barreiras Sabo” に記載された渓流抽出手法に準拠し、谷次数区分図を作成した。

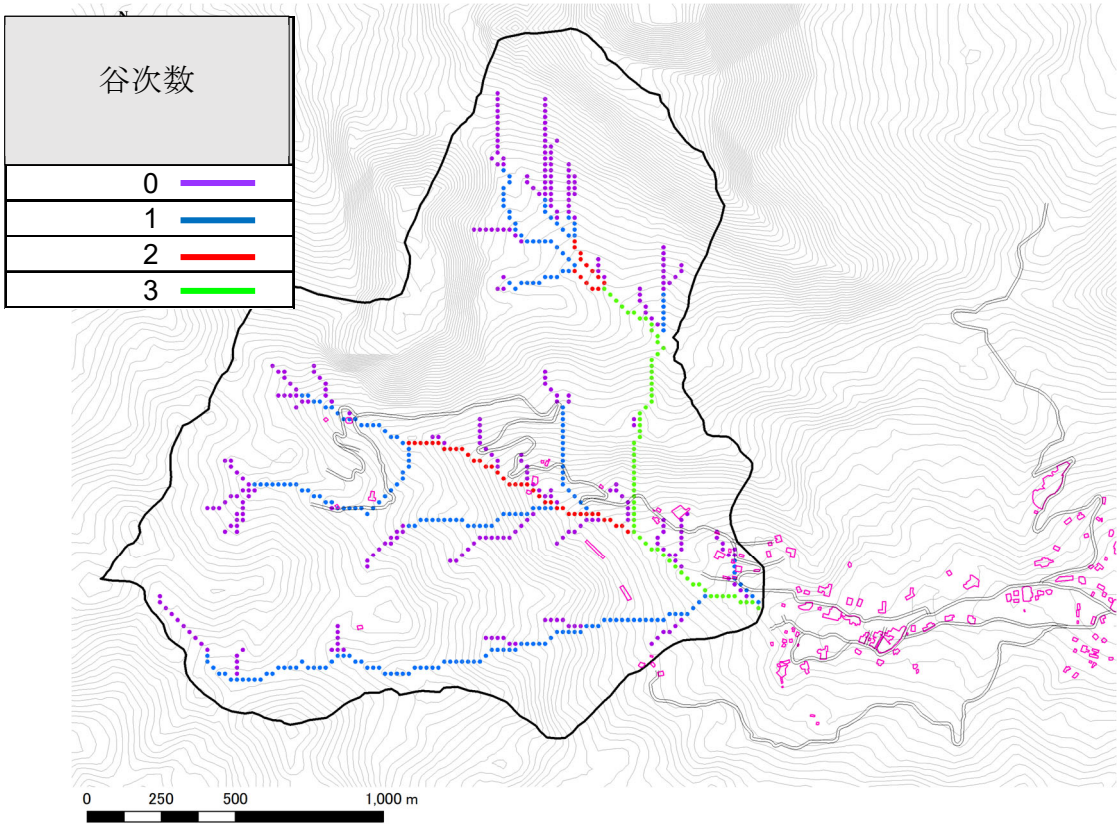


図 1.5.1 谷次数区分図

出典：砂防プロジェクトにて作成

1.5.2　移動可能土砂量（V_{dy1}）

移動可能土砂量は、谷次数毎の延長と、現地調査結果から設定した谷次数毎の侵食可能深と幅を掛け合わせて算定した。侵食可能深と幅は、谷次数毎に複数の横断面を設定し、現地調査結果から、これらの横断面を生成した。現地調査位置を下図、現地調査結果を次ページ以降に示す。算定した移動可能土砂量（V_{dy1}）は、140,112m^3（四捨五入 141,000m^3）であった。

表 1.5.1 移動可能土砂量算定結果一覧

谷次数	延長 (m)	侵食可能面積 (m^2)	移動可能土砂量 (m^3)
0	5.820	6,33	36.860
1	4.720	9,00	42.480
2	1.020	18,35	18.717
3	1.300	32,35	42.055
	合計		140.112

出典：砂防プロジェクトにて作成

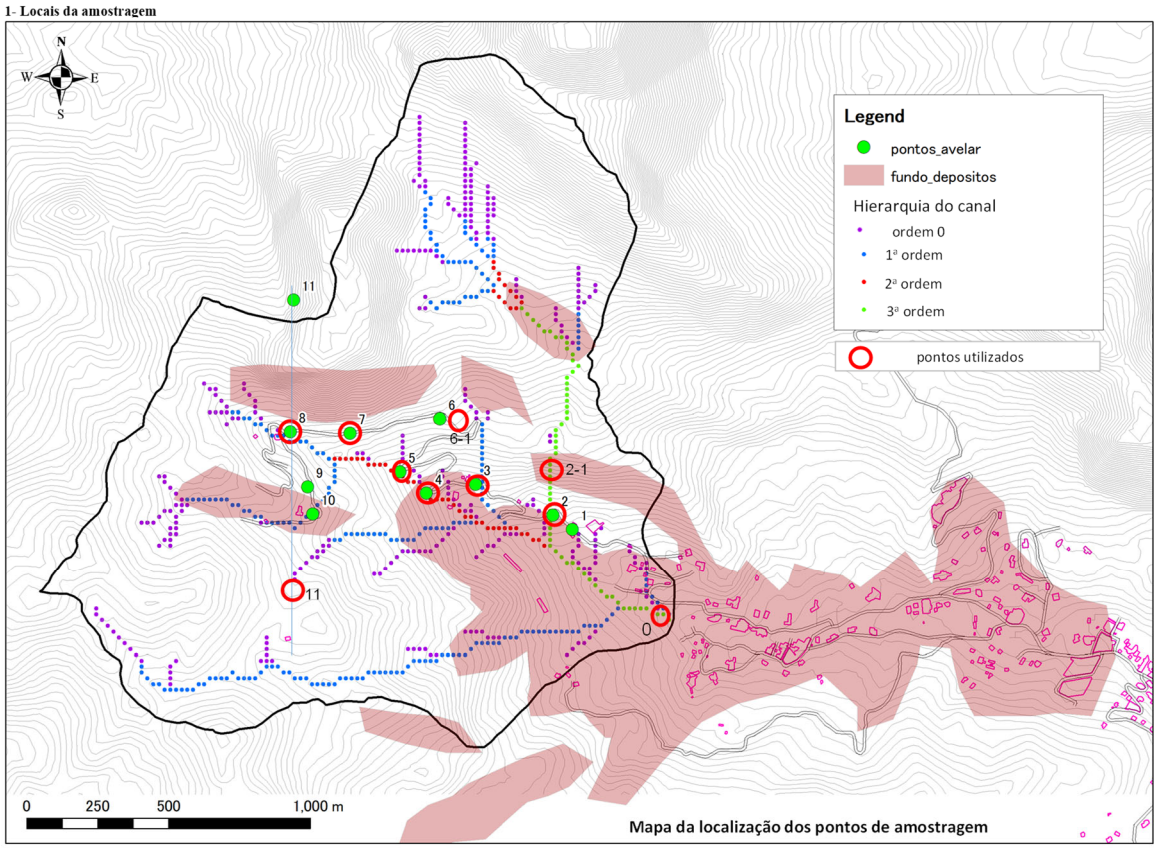


図 1.5.2 断面調査箇所位置図

出典：砂防プロジェクトにて作成

表 1.5.2 断面調査結果一覧

No.	0次谷			1次谷			2次谷			3次谷		
	B_d (m)	D_e (m)	A_{dy1} (m^2)	B_d (m)	D_e (m)	A_{dy1} (m^2)	B_d (m)	D_e (m)	A_{dy1} (m^2)	B_d (m)	D_e (m)	A_{dy1} (m^2)
0										26	1.333＊	34.7
2										10	3	30
2-1										0	0	0
3				4	2	8						
4							8	3.333＊	26.7			
5							6	1.667＊	10.0			
6-1	6	1	6									
7	16	0.5	8									
8				6	1.667＊	10						
11	10	0.5	5									
平均	10.67	0.67	6.33	5.00	1.83	9.00	7.00	2.50	18.33	18.00	2.17	32.33

注記：
Bd：土石流発生時の侵食幅（m）
De：土石流発生時の堆積物の侵食深（m）
Ady1：斜面および谷底における不安定土砂の断面積（m^2）
＊：最大侵食深の 2/3 倍で、侵食可能断面の形状が放物線で表現できると考えられる箇所

出典：砂防プロジェクトにて作成

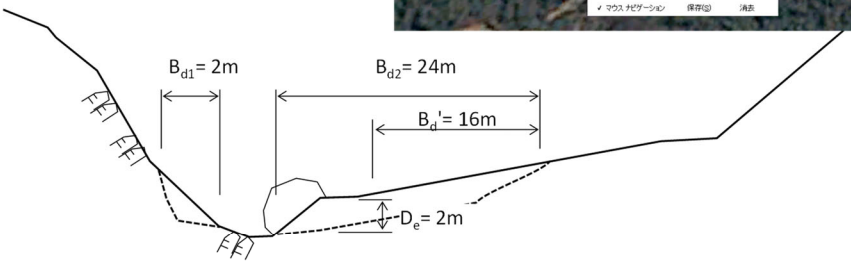
Planilha de levantamento de troncos e volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvgue

Número do ponto do levantamento:	0	Data da realização:	26 janeiro, 2022
Pesquisador/fotógrafo:	Yosuke NISHIO		

Fotos

Desenho preliminar

侵食幅（B_d）は、2011年災害時の土石流幅（30m）から岩が露出している部分（4m）を控除して26mとした。
侵食深（D_e）は、河床の岩の露出状況から2m程度と判断した。



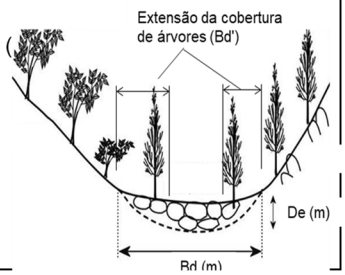
Hierarquia do canal 3

Área da seção do volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvgue (

$A_{dy1} = B_d \times D_e =$ 26.0 (m) x 2.0 (m) x2/3 34.7 (m^2)

Área arborizada de B_d (B_d') 16.0 (m)

Diâmetro médio das árvores na altura do peito (DAP) até 10cm ☐
acima de 10cm ☑



出典：砂防プロジェクトにて作成

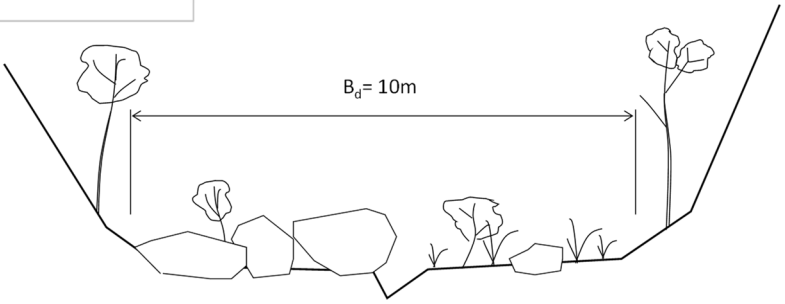
Planilha de levantamento de troncos e volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvgue

Número do ponto do levantamento:	2	Data da realização:	26 janeiro, 2022
Pesquisador/fotógrafo:	Masaharu MIZOGUCHI		

Fotos

Desenho preliminar

侵食幅（B_d）は、2011年災害による土石流堆積物の堆積幅（10m）とした。
侵食深（D_e）は、河床に分布する礫径の平均（3m）相当であると判断した。



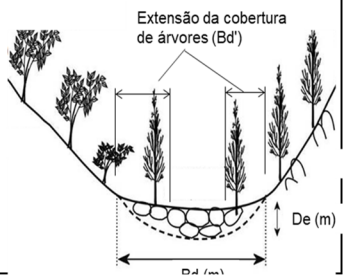
Hierarquia do canal 3

Área da seção do volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvgue

$A_{dy1} = B_d \times D_e =$ 10.0 (m) x 3.0 (m) = 30.0 (m^2)

Área arborizada de B_d (B_d') 0.0 (m)

Diâmetro médio das árvores na altura do peito (DAP) até 10cm ☑
acima de 10cm ☐

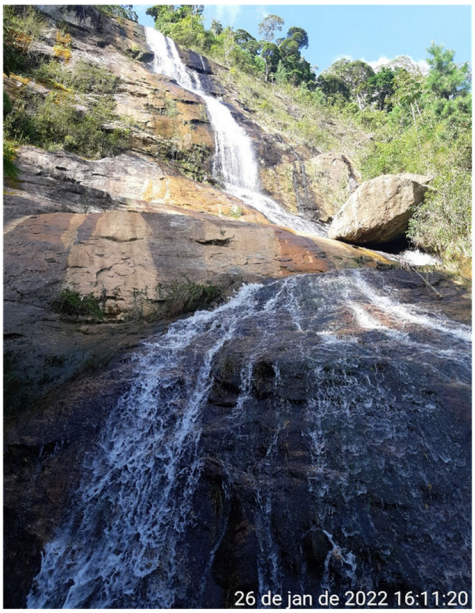


出典：砂防プロジェクトにて作成

Planilha de levantamento de troncos e volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvgue

Número do ponto do levantamento:	2-1	Data da realização:	26 janeiro, 2022
Pesquisador/fotógrafo:	Masaharu MIZOGUCHI		

Fotos



Desenho preliminar

滝の表面には岩が露出し移動可能土砂は存在しないため、侵食幅（B_d）、侵食深（D_e）とも0とした。

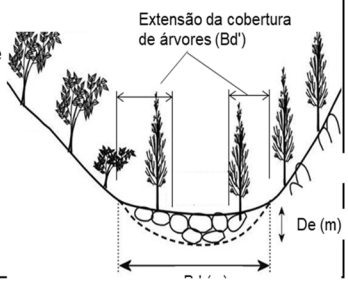
Hierarquia do canal 3

Área da seção do volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvgue

$A_{dy1} = B_d \times D_e =$ 0.0 (m) x 0.0 (m) = 0.0 (m^2)

Área arborizada de B_d (B_d') 0.0 (m)

Diâmetro médio das árvores na altura do peito (DAP) até 10cm ☐
acima de 10cm ☐



出典：砂防プロジェクトにて作成

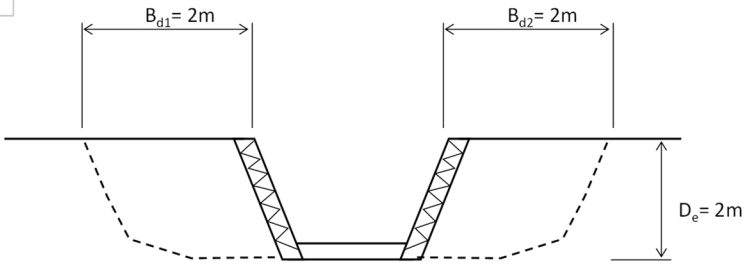
Planilha de levantamento de troncos e volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvgue

Número do ponto do levantamento:	3	Data da realização:	19 julho, 2023
Pesquisador/fotógrafo:	Masaharu MIZOGUCHI		

Fotos

Desenho preliminar

水路から溢れた土石流が護岸背面を侵食する現象を想定した。侵食幅(B_d)は上流の谷底幅を考慮して設定し、侵食は既存水路工の底版まで及ぶと判断した。



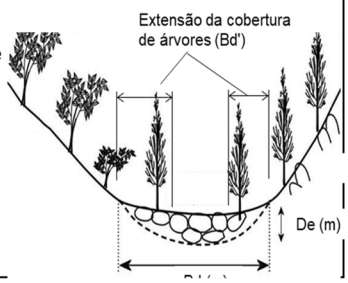
Hierarquia do canal 1

Área da seção do volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvgue

$A_{dy1} = B_d \times D_e =$ 4.0 (m) x 2.0 (m) = 8.0 (m^2)

Área arborizada de B_d (B_d') 0.0 (m)

Diâmetro médio das árvores na altura do peito (DAP) até 10cm ☐
acima de 10cm ☐

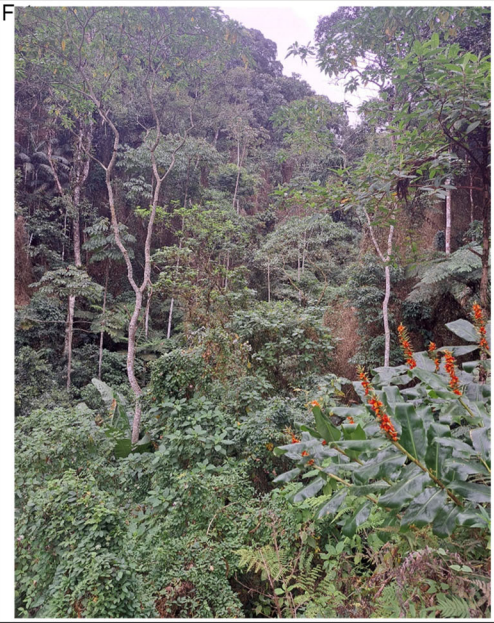


出典：砂防プロジェクトにて作成

Planilha de levantamento de troncos e volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvgue

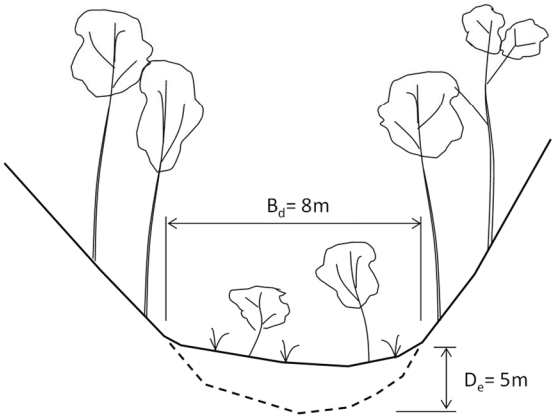
Número do ponto do levantamento:	4	Data da realização:	9 agosto, 2023
Pesquisador/fotógrafo:	Comitê técnico		

F



Desenho preliminar

侵食幅(B_d)は、2011年災害時に発生した土石流による侵食幅(8m)とした。
侵食深(D_e)は、技術委員会からのコメントに基づき5mとした。



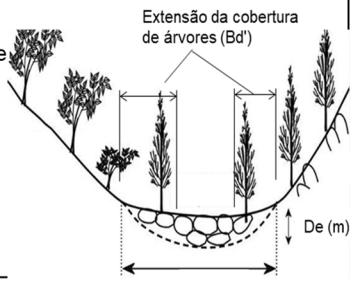
Hierarquia do canal 2

Área da seção do volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvgue

$A_{dy1} = B_d \times D_e =$ 8.0 (m) x 5.0 (m) x2/3 26.7 (m^2)

Área arborizada de B_d (B_d') 8.0 (m)

Diâmetro médio das árvores na altura do peito (DAP) até 10cm ☑
acima de 10cm ☐



出典：砂防プロジェクトにて作成

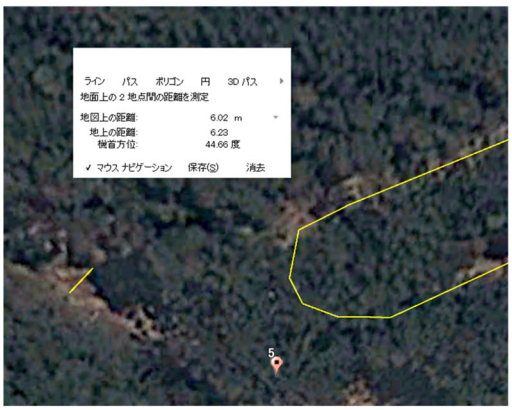
Planilha de levantamento de troncos e volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvgue

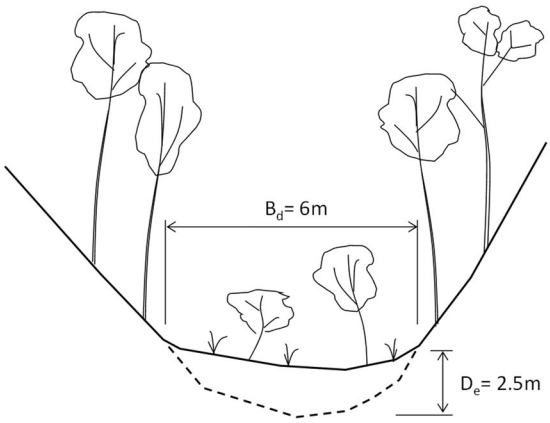
Número do ponto do levantamento:	5	Data da realização:	9 agosto, 2023
Pesquisador/fotógrafo:	Comitê técnico		

Fotos

Desenho preliminar

侵食幅（B_d）は、2011年災害時に発生した土石流による侵食幅（6m）とした。
侵食深（D_e）は、技術委員会からのコメントに基づき2.5mとした。





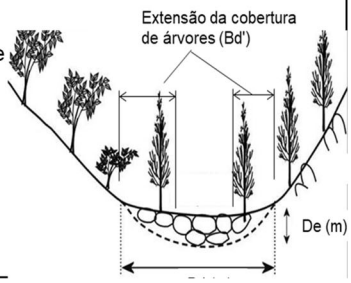
Hierarquia do canal 2

Área da seção do volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvgue

$A_{dy1} = B_d \times D_e =$ 6.0 (m) x 2.5 (m) x(2/3) 10.0 (m^2)

Área arborizada de B_d (B_d') 6.0 (m)

Diâmetro médio das árvores na altura do peito (DAP) até 10cm ☑
acima de 10cm ☐



出典：砂防プロジェクトにて作成

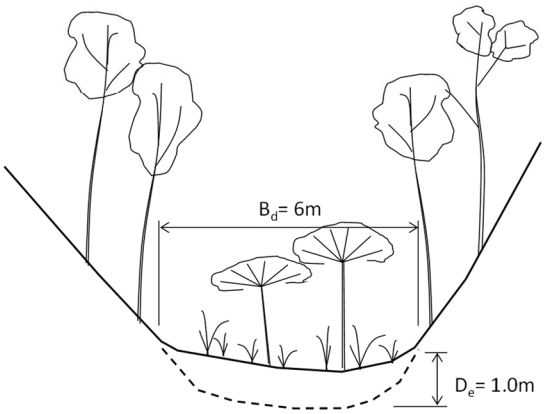
Planilha de levantamento de troncos e volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvgue

Número do ponto do levantamento:	6-1	Data da realização:	19 julho, 2023
Pesquisador/fotógrafo:	Masaharu MIZOGUCHI		

Fotos

Desenho preliminar

侵食幅（B_d）は、高い立木がない部分は過去に土砂が移動した可能性が高いと判断し、6mとした。
侵食深（D_e）は、地盤の状況および道路によって侵食が規制されることを考慮し1mとした。



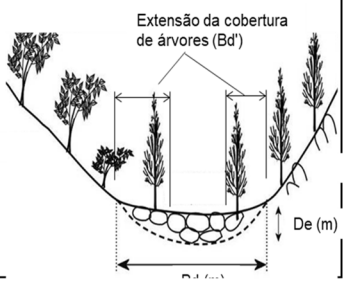
Hierarquia do canal 0

Área da seção do volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvgue

$A_{dy1} = B_d \times D_e =$ 6.0 (m) x 1.0 (m) = 6.0 (m^2)

Área arborizada de B_d (B_d') 6.0 (m)

Diâmetro médio das árvores na altura do peito (DAP) até 10cm ☑ acima de 10cm ☐



出典：砂防プロジェクトにて作成

Planilha de levantamento de troncos e volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvgue

Número do ponto do levantamento:	7	Data da realização:	9 agosto, 2023
Pesquisador/fotógrafo:	Comitê técnico		

Fotos

侵食幅（B_d）は、2011年災害時に発生した斜面崩壊による侵食幅（16m）とした。侵食深（D_e）は、岩盤の露出状況を考慮し0.5mとした。

A largura da erosão foi medida a partir dos rastros de uma falha de declive que ocorreu nesse vale em 2011.
侵食幅は、2011年にこの谷で発生した斜面崩壊の跡から測定した。

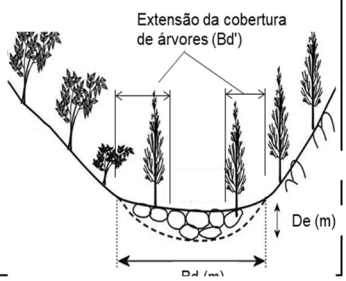
Hierarquia do canal 0

Área da seção do volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvgue

$A_{dy1} = B_d \times D_e =$ 16.0 (m) x 0.5 (m) = 8.0 (m^2)

Área arborizada de B_d (B_d') 16.0 (m)

Diâmetro médio das árvores na altura do peito (DAP) até 10cm ☑
acima de 10cm ☐



出典：砂防プロジェクトにて作成

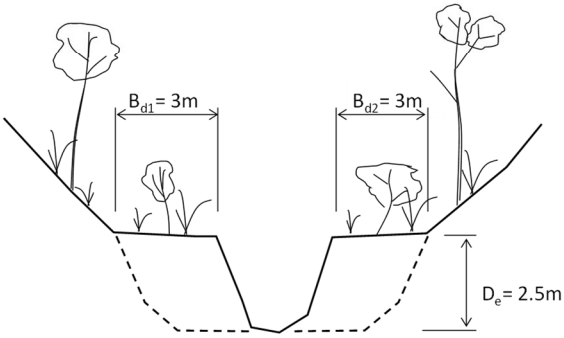
Planilha de levantamento de troncos e volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvgue

Número do ponto do levantamento:	8	Data da realização:	9 agosto, 2023
Pesquisador/fotógrafo:	Comitê técnico		

Fotos

Desenho preliminar

侵食幅（B_d）は、高い立木がない部分は過去に土砂が移動した可能性が高いと判断し、6mとした。
侵食深（D_e）は、技術委員会からのコメントや現場写真の状況から2.5mとした。



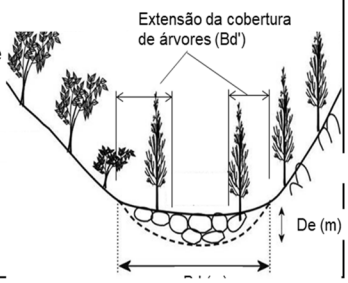
Hierarquia do canal 1

Área da seção do volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvgue

$A_{dy1} = B_d \times D_e =$ 6.0 (m) x 2.5 (m) x2/3 10.0 (m^2)

Área arborizada de B_d (B_d') 6.0 (m)

Diâmetro médio das árvores na altura do peito (DAP) até 10cm ☑
acima de 10cm ☐



出典：砂防プロジェクトにて作成

Planilha de levantamento de troncos e volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvgue

Número do ponto do levantamento:	11	Data da realização:	9 agosto, 2023
Pesquisador/fotógrafo:	Comitê técnico		

Fotos

Desenho preliminar

ポイントの座標をGPS画面に基づき修正した。
花崗岩を厚さ10cm程度の表土が覆う。周囲の樹木の低さから、谷部においても移動可能土砂の深さ（D_e）は0.5m程度と予想する。
侵食幅（B_d）は、2011年災害時に近傍で発生した斜面崩壊の幅から10mと判断した。

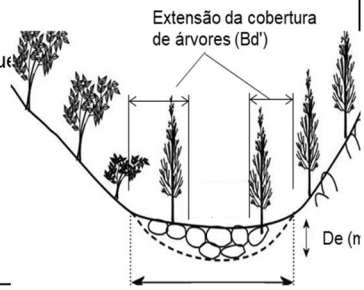
Hierarquia do canal 0

Área da seção do volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvgue

$A_{dy1} = B_d \times D_e =$ 10.0 (m) x 0.5 (m) = 5.0 (m^2)

Área arborizada de B_d (B_d') 0.0 (m)

Diâmetro médio das árvores na altura do peito (DAP) até 10cm ☑
acima de 10cm ☐



出典：砂防プロジェクトにて作成

1.5.3　一定の再現期間の最大日雨量に伴う運搬可能土砂量（V_{dy2}）

運搬可能土砂量は、計画規模 100 年の計画降雨量（199mm）を採用し、方程式 5-1 を用いて算定した。

$$V_{dy2} = \frac{10^3 \times P_p \times A}{1 - K_v} \times \left(\frac{C_d}{1 - C_d}\right) K_{f2}$$ Equação 5-1

ここで、

V_{dy2}　：運搬可能土砂量（m^3）

P_p　：一定期間の最大日雨量（mm）

A　：流域面積（km^2）

K_v　：空隙率（より適切なものがない限り、0.4 とする）

K_{f2}　：流域面積に対する流出補正率（最低値 0.1、最大値 0.5）

C_d　：流動中の土石流濃度

流動中の土石流濃度は、方程式 5-2 を用いて算出した。

$$C_d = \frac{\rho tan\theta}{(\sigma - \rho)(tan\emptyset - tan\theta)}$$ Equação 5-2

ここで、

σ　：粒径が大きい礫の密度（2,600 kg/m^3）

ρ　：水の密度（1,200 kg/m^3）

ϕ　：渓床堆積土砂の内部摩擦角（30°～40°程度であり、一般に 35°を用いてよい）

θ　：計画基準点からおおむね上流 200 m 区間の平均渓床勾配（°）

下表に上記方程式に用いたパラメータのまとめを表す。このパラメータに基づく運搬可能土砂量（Vdy2）は、72,550 m^3（73,000m^3 四捨五入）であった。

表 1.5.3 式 5- 1 に採用したパラメータ

$P_{P\ (mm/day)}$	199
A (km^2)	3,19
C_d	0,30
K_v	0,4
K_{f2}	0,16

表 1.5.4 式 5- 2 に採用したパラメータ

σ (kgf/m^2)	2600
ρ (kgf/m^3)	1200
φ (°)	35
θ (°)	4.4
C_*	0,6
C_d	0,106
C_d	0,30

出典：砂防プロジェクトにて作成

1.5.4 計画流出流木量（V_w）

流域内の断面調査の結果、下流域の河道沿いには流木化する樹木は確認されたが、上流域の河道沿いには、直径 10cm 以上の立木がほとんどない状況が確認された。技術委員会と協議した結果、プリンシペ川流域においては、流木は評価対象外とすることで合意した。

1.5.5 計画総流出量

計画総流出量は、移動可能土砂量と運搬可能土砂量を比較し、小さいほうの値を採用する。移動可能土砂量は 141,000m^3、計画規模 100 年に相当する降雨による運搬可能土砂量は 73,000m^3 であることから、計画総流出量は 73,000m^3 となった。

1.6 計画対象流量

1.6.1 土砂含有を考慮した流量

土砂含有を考慮した流量は、計画規模の降雨量から求められる清水の対象流量から算出する。清水の対象流量の算出には合理式を用いるものとし、洪水到達時間は、Corps Engineers 式、洪水到達時間内の平均降雨強度は、テレゾポリス市の IDF 曲線から算出した。土砂含有を考慮した流量は、清水の対象流量の 1.5 倍とし、Q=59.0m^3/s となった。

表 1.6.1 土砂含有を考慮した流量の算出に用いたパラメータ

流域面積	3,19	km^2
流出係数	0,85	
排水路長	2,28	km
平均勾配	0,22	m/m
計画規模	100	year

流出係数は山地の平均値を適用

$$Q = 1.5 \cdot Q_P$$

Equação 6-1

$$Q_P = \frac{1}{3.6} \cdot C \cdot I \cdot A$$

Equação 6-2

$$T_C = 0.191 \cdot L^{0.76} \cdot S^{-0.19}$$

Equação 6-3

$$I = \frac{a \cdot {T_R}^b}{(t+c)^d}$$

Equação 6-4

ここで,

Q ：土砂含有を考慮した流量 (m^3/s)

Q_P ：清水の対象流量 (m^3/s)

C ：流出係数

I ：洪水到達時間内の平均雨量強度 (mm/h)

A ：流域面積 (km^2)

T_C ：洪水到達時間（h）

L ：流路長 (m)

S ：平均河床勾配 (m/m)

T_R ：再現期間（超過確率年）

A,b,c,d ：地域ごとの係数

t　　：雨の継続時間（=集中時間 T_C）

1.6.2　土石流ピーク流量

土石流氾濫解析及び設計に用いる土石流ピーク流慮は、1 波の土石流発生時に流下すると想定される土砂量（Vdqp）から算定した。ここで、1 波の土石流発生時に流下すると想定される移動可能土砂量の最大値は 49,317m^3（49,320m^3 四捨五入）である。なお、Vdqp についても移動可能土砂量と運搬可能土砂量を比較し、小さいほうの値を採用する必要がある。ここで運搬可能土砂量は 73,000m^3 であることから、土石流ピーク流量の算定に用いる Vdqp は 49,320m^3 となる。

4. 土石流ピーク流量の算定に用いる、1 波の土石流で移動する可能性のある土砂量

流下経路	0次谷			1次谷			2次谷			3次谷			移動可能土砂量 Sum (m^3)	Area (km^2)	単位流域面積あたり土砂量 (m^3/km^2)
	Sum Point	Sum Length (m)	Sum Sediment (m^2)	Sum Point	Sum Length (m)	Sum Sediment (m^2)	Sum Point	Sum Length (m)	Sum Sediment (m^2)	Sum Point	Sum Length (m)	Sum Sediment (m^2)			
①	10	200	1,267	86	1,720	15,480	0	0	0	0	0	0	16,747	3.18	5,266
②	9	180	1,140	31	620	5,580	38	760	13,946	39	780	25,233	45,899	3.18	14,434
③	13	260	1,647	21	420	3,780	5	100	1,835	65	1,300	42,055	49,317	3.18	15,508

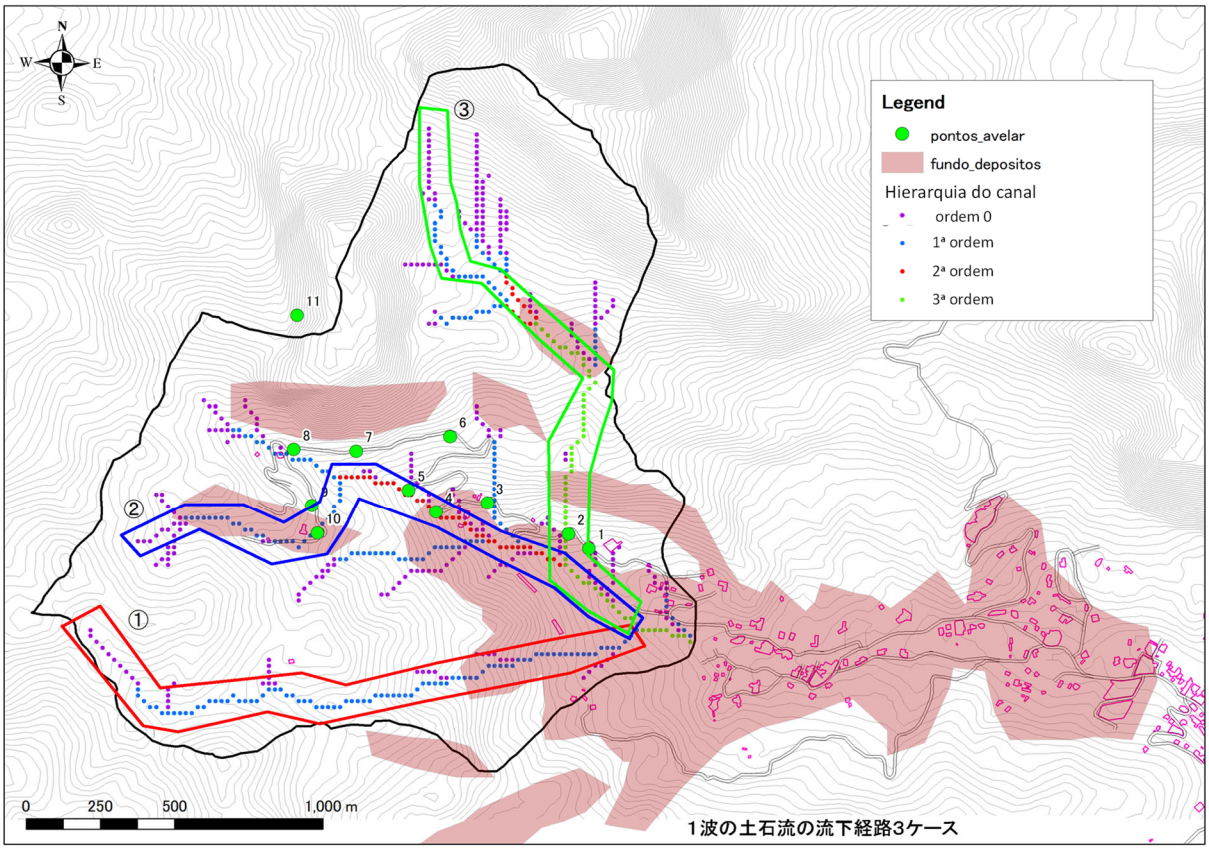


図 1.6.1　1 波の土石流発生時に流下すると想定される移動可能土砂量

出典：砂防プロジェクトにて作成

土石流ピーク流量は、過去の土石流調査結果から作成された土石流ピーク流量と土石流総流量の関係式から算出する。ここで、土石流総流量は、1 回の土石流に含まれる水と土砂の和から得られる総量であり、土石流濃度を用いて算出する。下式より、土石流ピーク流量は 200 m^3/s となった。

$$Q_{SP} = 0.002 \cdot \Sigma V$$ Equação 6-5

$$\Sigma V = \frac{C_* \cdot V_{dqp}}{C_d}$$ Equação 6-6

ここで,

Q_{SP} ：土石流ピーク流量 (m^3/s)

ΣV ：土石流総流量 (m^3)

C_d ：土石流濃度

C_* ：谷底及び上流斜面に存在する移動可能土砂量の濃度（0.6 程度)、粒子量を総土砂量で割って得られる。

V_{dqp} ：１回の土石流に流下されると推定される、谷底及び上流斜面に存在する土砂量

1.6.3 土石流の氾濫解析（HyperKANAKO）

土石流の氾濫解析は、土石流の波形を用いた二次元解析によって行われ、流下による河床変動を計算し、土石流の氾濫範囲を検証した。なお、二次元土石流氾濫解析には HyperKANAKO を用いた。本検討では、土石流の総流量とピーク流量から土石流の波形を作成した。

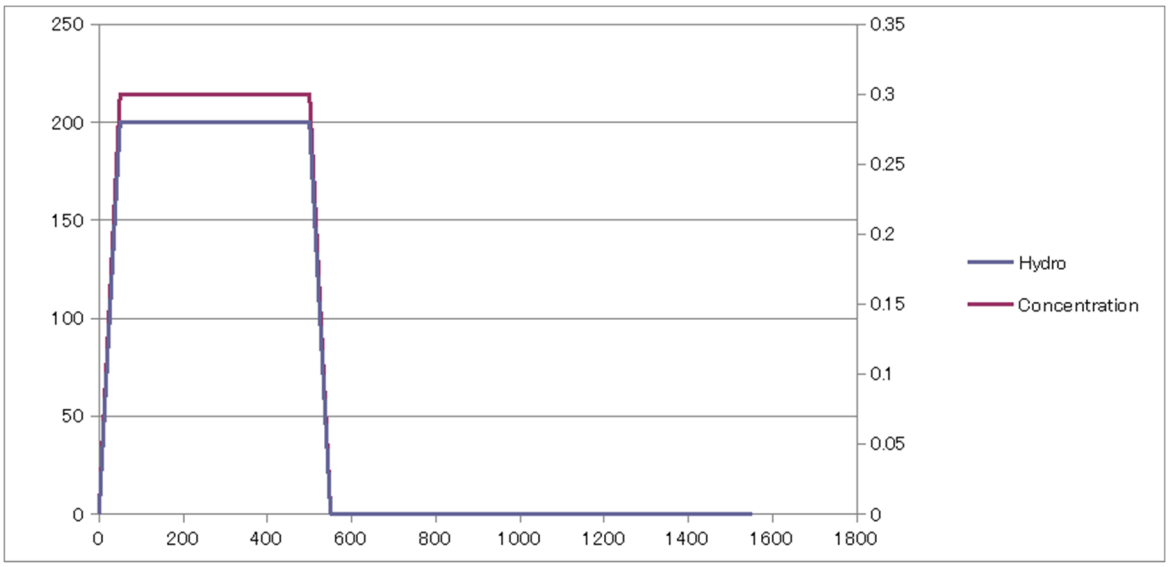


図 1.6.2 土石流波形

出典：砂防プロジェクトにて作成

土石流氾濫解析の結果、土石流は谷出口より下流の河床に沿って拡散し、住宅や事業所が分布する地域に影響が及ぶことが確認された。

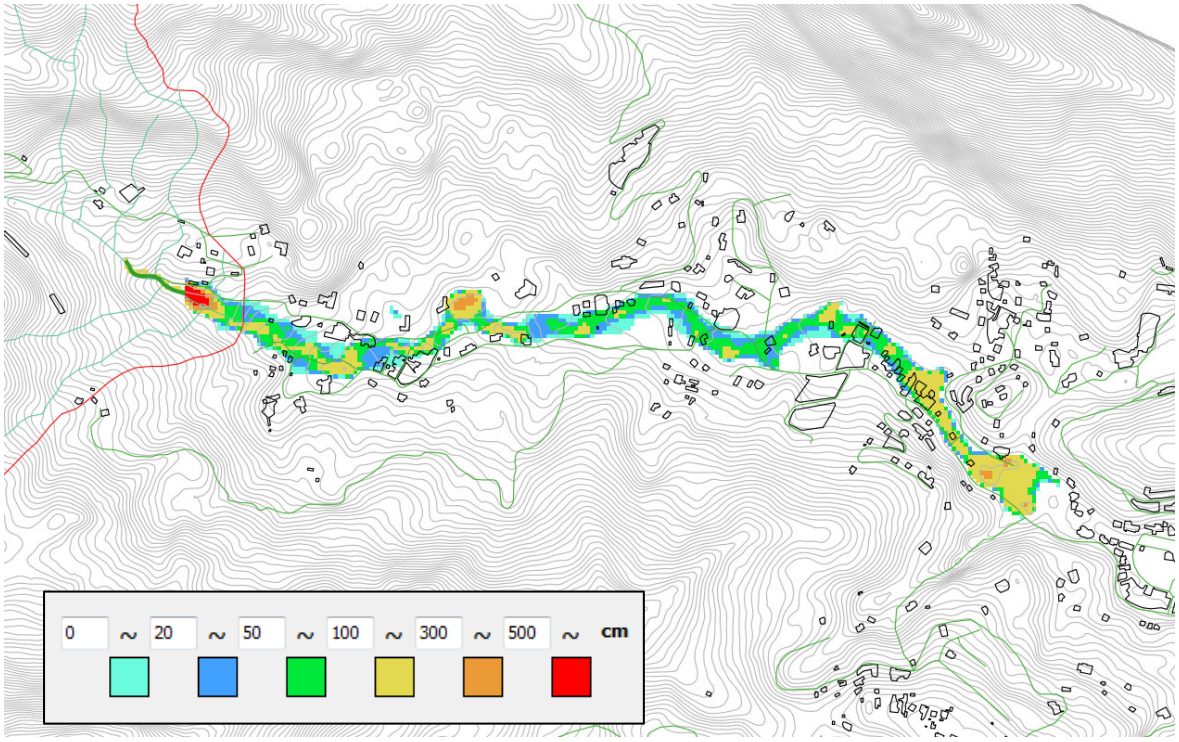


図 1.6.3 土石流氾濫解析結果（最大流動深）

出典：砂防プロジェクトにて作成

1.7　施設配置計画

本節では、土石流構造物対策の選定手順を示す。

1.7.1　地形測量

対象渓流の砂防施設配置計画を検討するため、対策施設を計画する範囲を対象として地形測量を実施し、地形図を作成する。作成範囲は、計画施設配置が想定される範囲や工事用道路や維持管理用道路の線形検討に必要となる範囲を考慮して設定する必要がある。プリンシペ川流域では、ドローン計測により、以下に示す図面を作成した。

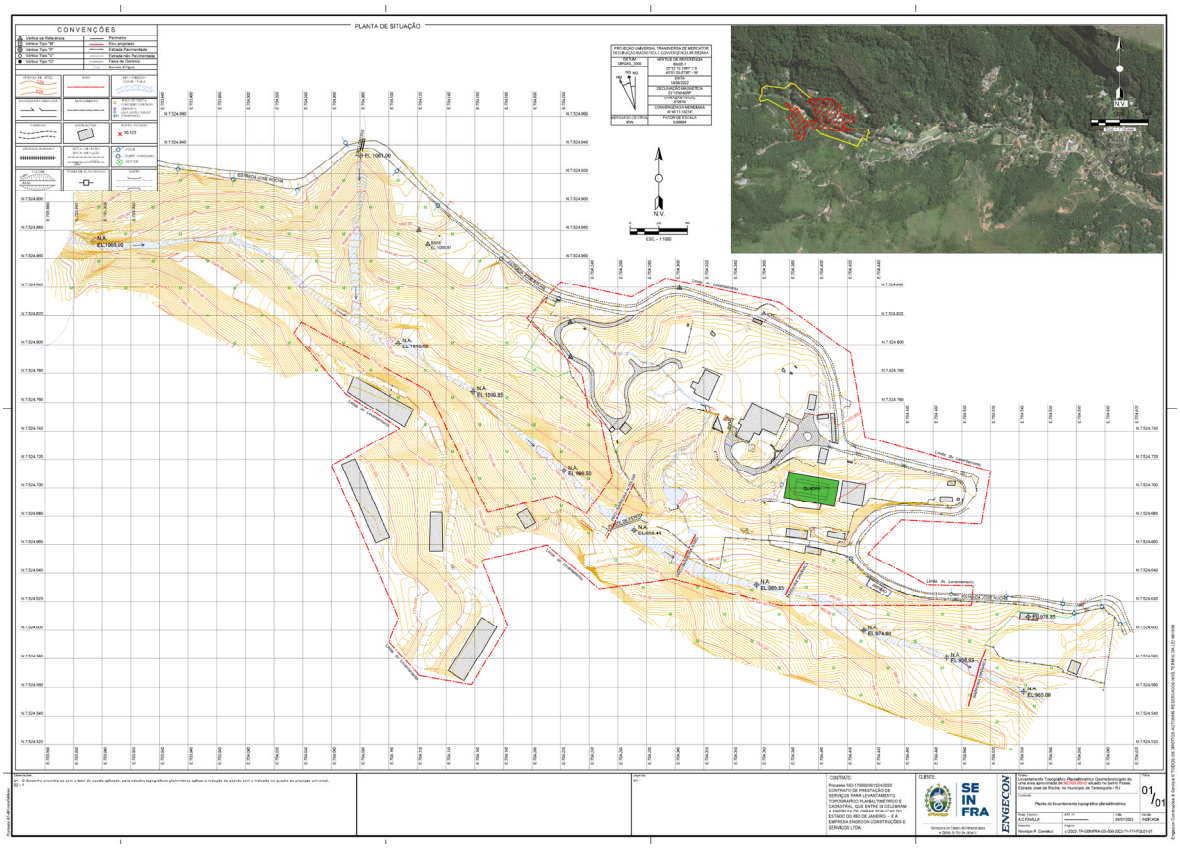


図 1.7.1 計画施設周辺の地形測量成果

出典：砂防プロジェクトにて作成

なお、地形測量を実施した結果、谷出口付近に地すべりが発生していることが確認された。現地確認の結果、斜面上部には亀裂が形成されており、住民ヒアリングにおいても徐々に移動していることが確認された。

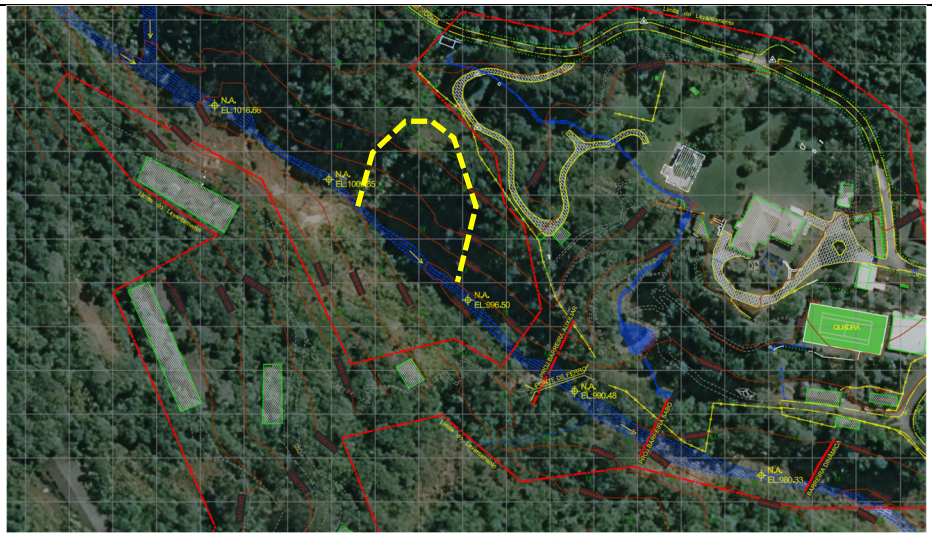


図 1.7.2 地すべりが確認された位置

図 1.7.3 地すべりの状況

図 1.7.4 地すべり箇所の現地調査

出典：砂防プロジェクトにて作成

1.7.2 現況施設効果量の算定

対象渓流には、2 基のネットバリアが設置されていることから、既設のネットバリアによる施設効果量を算定した上で、ネットバリアだけでは不足する超過土砂量を整備対象土砂量として施設配置計画を検討するものとした。

既設ネットバリアによる整備効果は、透過型砂防堰堤と同様に計画捕捉量と計画発生抑制量を評価する場合、1 基あたりの整備効果は 19,000m^3 であり、2 基で 38,000m^3 程度の土砂を捕捉できることが確認された。一方、計画流出土砂量は 73,000m^3 であることから、ネットバリアだけで全ての流出土砂を捕捉することはできないことが確認された。

1.7.3 計画施設の対策工選定

プリンシペ川流域では、2011 年に土石流災害が発生しており、再度の土石流被害を防止することが目的となることから、砂防堰堤の設置目的は土石流捕捉となる。土石流時には大量の礫が流出する状況が確認されているため、透過型砂防堰堤の配置は可能と判断した。一方、対象渓流は公園区域となっていることから、河床に落差が生じる不透過型砂防堰堤の設置は難しいと判断された。以上を総合的に判断し、対象渓流に配置する砂防堰堤は、透過型砂防堰堤を採用することとした。

表 1.7.1 土石流捕捉工の形式

区間	土砂の移動形態	堰堤の設置目的		形式	除石計画
土石流区間	土石流	土石流の発生予防		不透過型	不要
		土石流の捕捉	巨礫を含む場合	透過型	捕捉時のみ必要
			巨礫がない場合	不透過型（管理型）	定期及び捕捉時の両方が必要
		土石流の流向制御		不透過型	不要
		流木の捕捉		透過型	捕捉時のみ必要

出典：砂防プロジェクトにて作成

1.7.4 施設配置計画

対象渓流について、既設ネットバリアの施設効果量を評価した上で、土石流捕捉工を整備可能な場所に計画施設を配置し、対象渓流からの流出土砂量に対して土砂整備率が 100%となる施設配置計画を検討した。

ここで透過型砂防堰堤に除石に際して、安全面の観点から地すべり斜面下部での掘削作業を避ける必要があるため、谷出口下流の住宅近傍が砂防堰堤計画位置の有力案となった。これにともない、堆砂による住宅地への影響を小さくするため、できるだけ有効高を低くすることが留意すべき事項となった。また鋼管フレームの組み立ては、有効高が高くなるほど施工難易度が高くなるが、テレゾポリス市は、砂防堰堤設置のパイロットプロジェクトであり、ブラジル国内で初めて鋼管フレームの組み立てが行われる箇所であることにも留意する必要があった。

以上の状況を総合的に考慮し、協議の結果、テレゾポリス市のパイロットプロジェクトでは鋼製透過型砂防堰堤の有効高は 8m を上限として施設配置計画を検討するものとした。

施設配置計画は、以下の 2 案を立案した。

・透過型砂防堰堤を複数基配置する案

・透過型砂防堰堤 1 基と下流側に遊砂地を配置する案

(1) 透過型砂防堰堤を複数基配置する案

透過型砂防堰堤を複数基配置する案は、ネットバリアの上流の谷出口に鋼製透過型砂防堰堤を配置した上で、整備対象土砂量に対して不足する分について、地すべり地の上流側に透過型砂防堰堤を追加配置する案を検討した。なお施設効果量の算定にあたって、砂防堰堤の堆砂範囲が上流側の砂防堰堤や地すべり箇所に干渉する区間は、捕捉容量として評価できないため、施設効果量として計上しないものとした。

表 1.7.2 砂防堰堤の規模の推定

No.	区分	構造	有効高 (m)	計画捕捉量 (m^3)	計画発生（流出）抑制量 (m^3)	施設効果量 (m^3)
No.7	既設	リングネット	6	13.468	5.205	19.000
No.21+5	既設	リングネット	6	5.009	1.909	7.000
No.27	計画施設	鋼製透過型砂防堰堤	8	18.497	6.940	26.000
No.51	計画施設	鋼製透過型砂防堰堤	8	9.018	3.123	12.000
No.65	計画施設	鋼製透過型砂防堰堤	8	5.435	4.164	10.000
合計						74.000
計画総流出量 (m^3)						73.000
土砂整備率						101%

出典：砂防プロジェクトにて作成

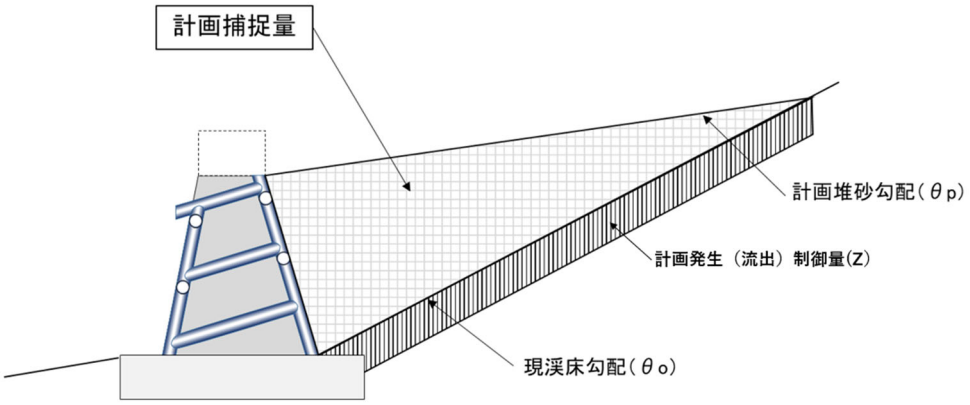
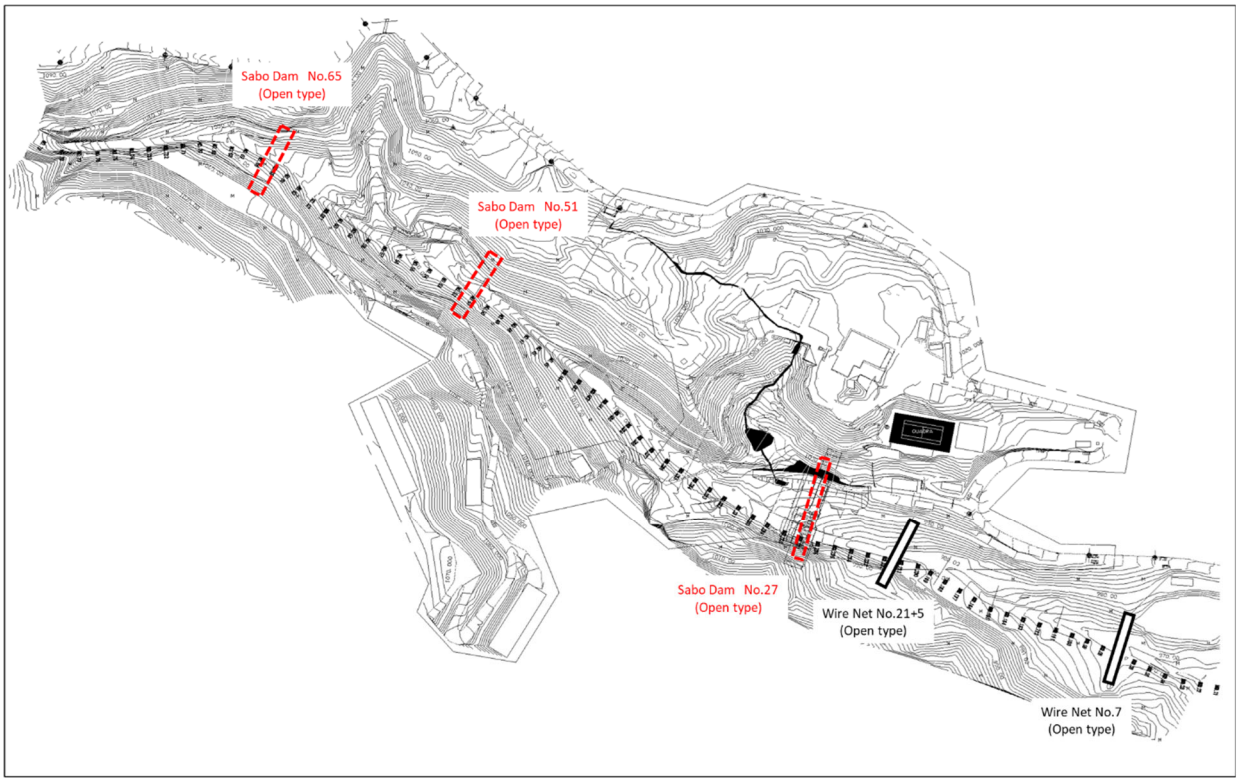


図 1.7.5 鋼製透過型砂防堰堤の施設効果

出典：砂防プロジェクトにて作成



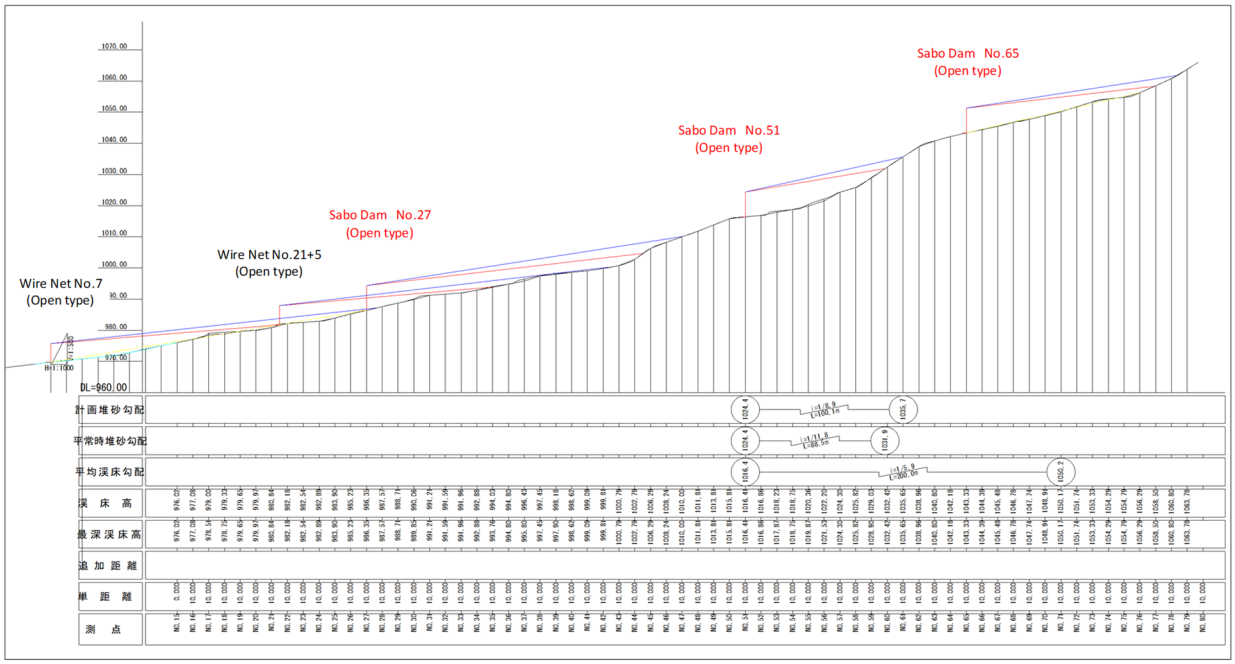


図 1.7.6 透過型砂防堰堤を複数基配置する案

出典：砂防プロジェクトにて作成

(2) 透過型砂防堰堤と遊砂地の複合案

透過型砂防堰堤を谷出口の 1 基とし、下流側に遊砂地を配置する案は、ネットバリアの上流の谷出口に鋼製透過型砂防堰堤を配置した上で、整備対象土砂量に対して不足する分について、ネットバリアの下流側に遊砂地を追加配置する案を検討した。なお、砂防堰堤の堆砂範

囲が上流側の砂防堰堤や地すべり地に干渉する区間は、施設効果量として評価しないものとした。

なお、遊砂地計画箇所は、地形測量範囲外であったため、現時点では具体的な施設配置計画が検討できない状況である。このため遊砂地区間の施設配置計画については、技術委員会が主体となって検討を継続することとした。

表 1.7.3 砂防堰堤の規模の推定

No.	区分	構造	有効高 (m)	計画捕捉量 (m^3)	計画発生（流出）抑制量 (m^3)	施設効果量 (m^3)
No.7	既設	リングネット	6	13.468	5.205	19.000
No.21+5	既設	リングネット	6	5.009	1.909	7.000
No.27	計画施設	鋼製透過型砂防堰堤	8	18.497	6.940	26.000
	計画施設	遊砂地 (不透過型)	3	23.647	0	24.000
合計						76.000
計画総流出量 (m^3)						73.000
土砂整備率						104%

出典：砂防プロジェクトにて作成

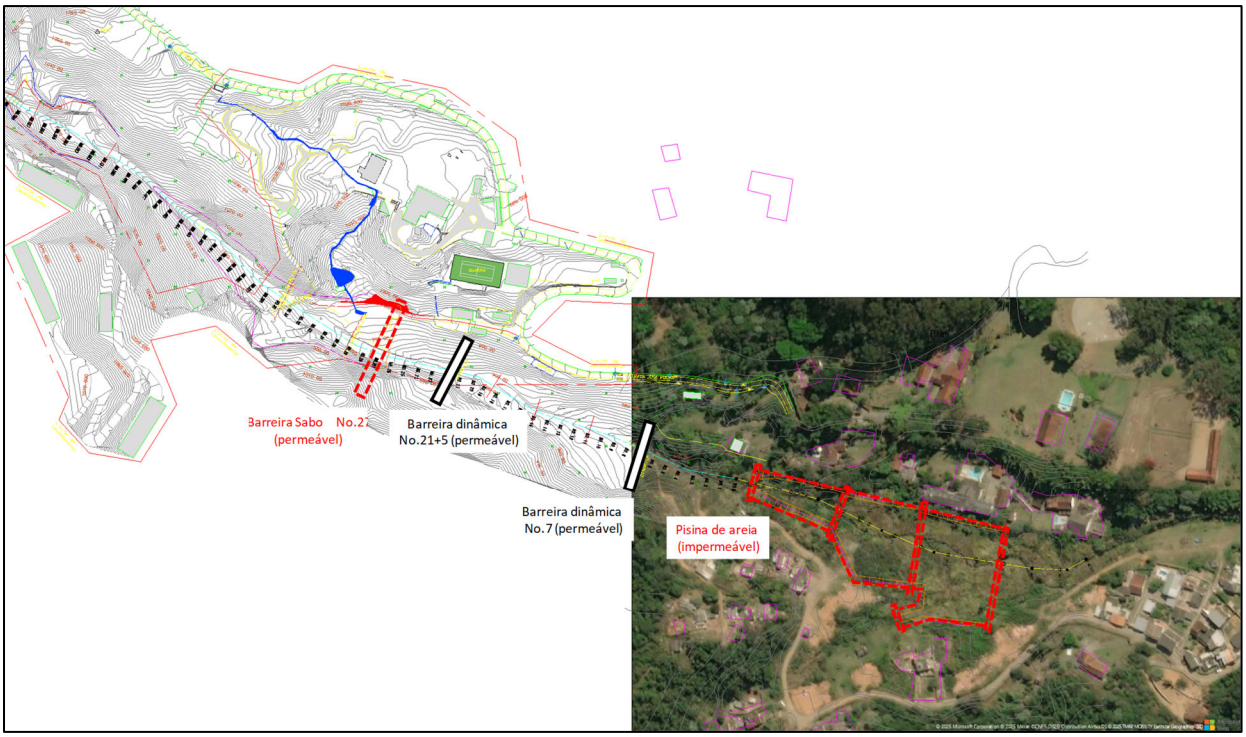


図 1.7.7 透過型砂防堰堤 1 基と下流側に遊砂地を配置する案

出典：砂防プロジェクトにて作成

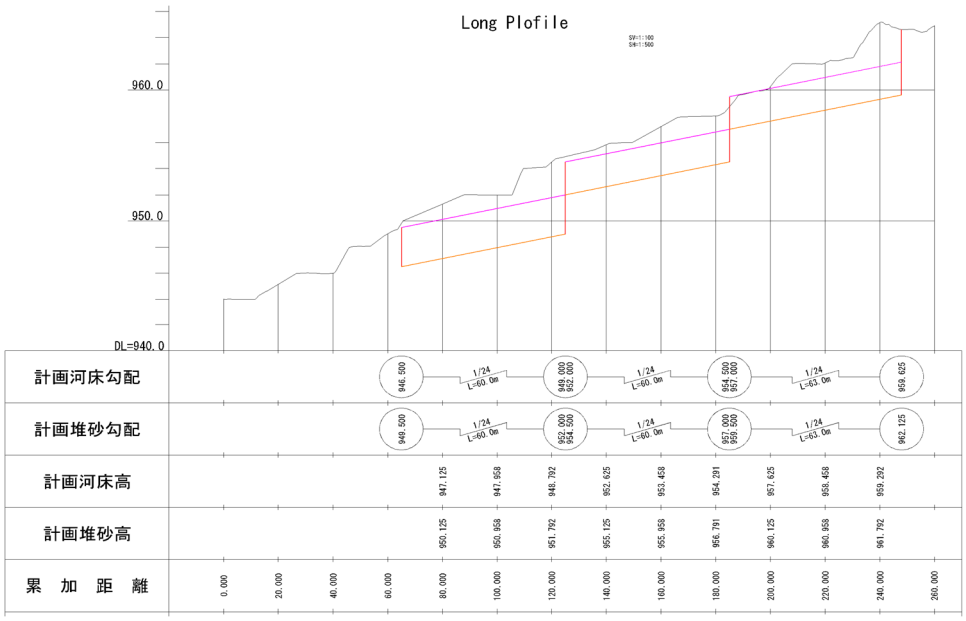


図 1.7.8 遊砂地縦断図

出典：砂防プロジェクトにて作成

図 1.7.9 遊砂地計画箇所の状況

出典：砂防プロジェクトにて作成

(3) 最適案の選定

立案した2案の施設配置計画案について市政府と現地踏査を実施し、適応性について比較した。その結果、透過型砂防堰堤を複数基配置する案は、上流側の砂防堰堤計画地点へのアクセス性に劣ることから、技術委員会とも協議した結果を踏まえ、整備実現性の観点から、透過型砂防堰堤1基と下流側に遊砂地を配置する案を最適案とした。

図 1.7.10 上流側の透過型砂防堰堤計画地点の状況

出典：砂防プロジェクトにて作成

図 1.7.11 遊砂地計画地点の状況

出典：砂防プロジェクトにて作成