Parte 3 Projeto-piloto no município de Teresópolis-RJ

Projeto de Aprimoramento da Capacidade Técnica em Medidas Estruturais contra Movimentos Gravitacionais de Massa com Foco na Construção de Cidades Resilientes – PROJETO SABO

Apresentação de Exemplos

Parte 3 – Projeto-piloto no município de Teresópolis-RJ

Sumário

Capítulo 1 Plano de Intervenções para retenção de fluxos de detritros 1-1

1.1 Localização e caracteríticas da área objeto do plano 1-1
1.1.1 Localização da área objeto do plano 1-1
1.1.2 Características da região de Teresópolis 1-2

1.2 Antecedentes 1-2
1.2.1 Caracterização dos fluxos de detritos ocorridos na área em 2011 1-2
1.2.2 Situação da ocorrência de fluxos de detritos na bacia do Príncipe 1-4

1.3 Características gerais da área de estudo 1-7
1.3.1 Localização 1-7
1.3.2 Características do relevo 1-8
1.3.3 Características geológicas 1-9
1.3.4 Uso do solo 1-10

1.4 Referências básicas para o plano de obras 1-11
1.4.1 Estruturas existentes 1-11
1.4.2 Ponto de referência do plano 1-13
1.4.3 Chuvas extremas 1-13
1.4.4 Porte do plano 1-18

1.5 Estimativa do volume total dos detritos do plano 1-19
1.5.1 Hierarquia de canais da bacia hidrográfica 1-19
1.5.2 Volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvegue (Vdy1) 1-20
1.5.3 Volume potencial de material transportável pela chuva dentro de um evento com determinado tempo de recorrência (Vdy2) 1-32
1.5.4 Volume de troncos carreados (Vw) 1-33
1.5.5 Volume total dos detritos do plano 1-33

1.6 Vazão-alvo do plano 1-34
1.6.1 Vazão que considera o solo carreado 1-34
1.6.2 Vazão de pico do fluxo de detritos 1-35
1.6.3 Análise de espraiamento do fluxo de detritos（HyperKANAKO） 1-37

1.7 Plano de posicionamento das instalações sabo 1-39
1.7.1 Topografia 1-39
1.7.2 Cálculo do volume de eficácia das instalações atuais 1-41
1.7.3 Seleção das soluções de engenharia no plano de instalações 1-41
1.7.4 Plano de posicionamento das instalações 1-41

1.8 Análise das instalações prioritárias 1-48
1.8.1 Seleção das instalações prioritárias 1-48
1.8.2 Análise do eixo da barreira 1-48
1.8.3 Elaboração das plantas básicas 1-52

Capítulo 2 PROJETO de Intervenções para retenção de fluxos de detritros 2-1

2.1 Visão geral do projeto de engenharia 2-1
2.1.1 Itens dimensionados 2-1
2.1.2 Etapas da elaboração do projeto de engenharia da barreira permeável 2-1
2.1.3 Localização do talvegue-alvo 2-2
2.2 Levantamento de campo para a elaboração do projeto 2-3
2.2.1 Medições topográficas 2-3
2.2.2 Levantamento geológico 2-4
2.2.3 Levantamento da granulometria do depósito 2-8
2.3 Solicitações de Projeto 2-9
2.3.1 Ações sobre a estrutura de aço 2-9
2.3.2 Cálculo da vazão de pico do fluxo de detritos 2-11
2.3.3 Cargas do fluxo de detritos 2-13
2.4 Projeto de engenharia da barreira permeável 2-15
2.4.1 Definição do espaçamento entre os tubos de aço 2-15
2.4.2 Definição da parte aberta 2-15
2.4.3 Altura da lâmina d'água transbordante para a vazão de pico do fluxo de detritos (Qsp) 2-19
2.4.4 Altura da lamina d'água de projeto 2-21
2.5 Cálculo estrutural 2-23
2.5.1 Projeto de engenharia dos tubos de aço reticulados 2-23
2.5.2 Combinações das ações 2-23
2.5.3 Método do cálculo estrutural 2-25
2.5.4 Aferição das juntas flangeadas 2-42
2.6 Cálculo de estabilidade 2-44
2.6.1 Formato do bloco de ancoragem de concreto 2-44
2.6.2 Condições de estabilidade 2-46
2.6.3 Arrancamento e compressão no concreto 2-53
2.6.4 Armadura de fretagem (precaução) 2-55
2.7 Dimensionamento da parte não transbordante (parte impermeável) 2-56
2.7.1 Combinação de cargas usadas no cálculo de estabilidade 2-56
2.7.2 Dimensionamento das asas 2-60
2.8 Desenhos do projeto 2-68
2.9 Recomendações para a implementação da solução 2-82
2.9.1 Plano de posicionamento das instalações 2-82
2.9.2 Levantamentos necessários para elaborar o projeto de engenharia detalhado 2-85
2.9.3 Projeto de engenharia da barreira sabo 2-86
2.9.4 Análise do plano de gestão e manutenção 2-86

Capítulo 3 Execução de estruturas para prevenção e retenção de fluxos de detritos 3-1
3.1 Etapas da execução da obra 3-1
3.2 Via de acesso à obra 3-1
3.2.1 Situação da obra 3-1
3.2.2 Problemas técnicos que surgiram durante a execução as obras e respectivas soluções 3-4
3.3 Ensecadeira 3-5
3.3.1 Vazão alvo 3-5
3.3.2 Posicionamento e tipos de soluções para o desvio do curso do rio 3-5
3.3.3 Dimensionamento do desvio do curso do rio 3-6

3.3.4 Problemas técnicos que surgiram durante a execução as obras e respectivas soluções 3-6
3.4 Escavação 3-7
3.4.1 Situação da escavação 3-7
3.4.2 Aspectos que receberam especial atenção durante a execução das obras 3-9
3.4.3 Problemas técnicos que surgiram durante a execução as obras e respectivas soluções 3-10
3.5 Obras em concreto 3-11
3.5.1 Traço do concreto, sua usinagem e transporte 3-11
3.5.2 Método de execução de cada etapa da concretagem 3-11
3.5.3 Ordem da concretagem 3-14
3.5.4 Cronograma de elevação das camadas 3-15
3.6 Montagem da Estrutura Reticulada em Aço da Barreira Sabo 3-16
3.6.1 Fabricação e transporte das peças metálicas 3-16
3.6.2 Método de montagem 3-16
3.6.3 Controle do formato pronto 3-20
3.7 Execução de obras especiais 3-21
3.7.1 Drenos intrabarreira 3-21
3.7.2 Obras de estabilização das encostas 3-21
3.8 Medidas de segurança durante a execução das obras 3-21

CAPÍTULO 1 PLANO DE INTERVENÇÕES PARA RETENÇÃO DE FLUXOS DE DETRITROS

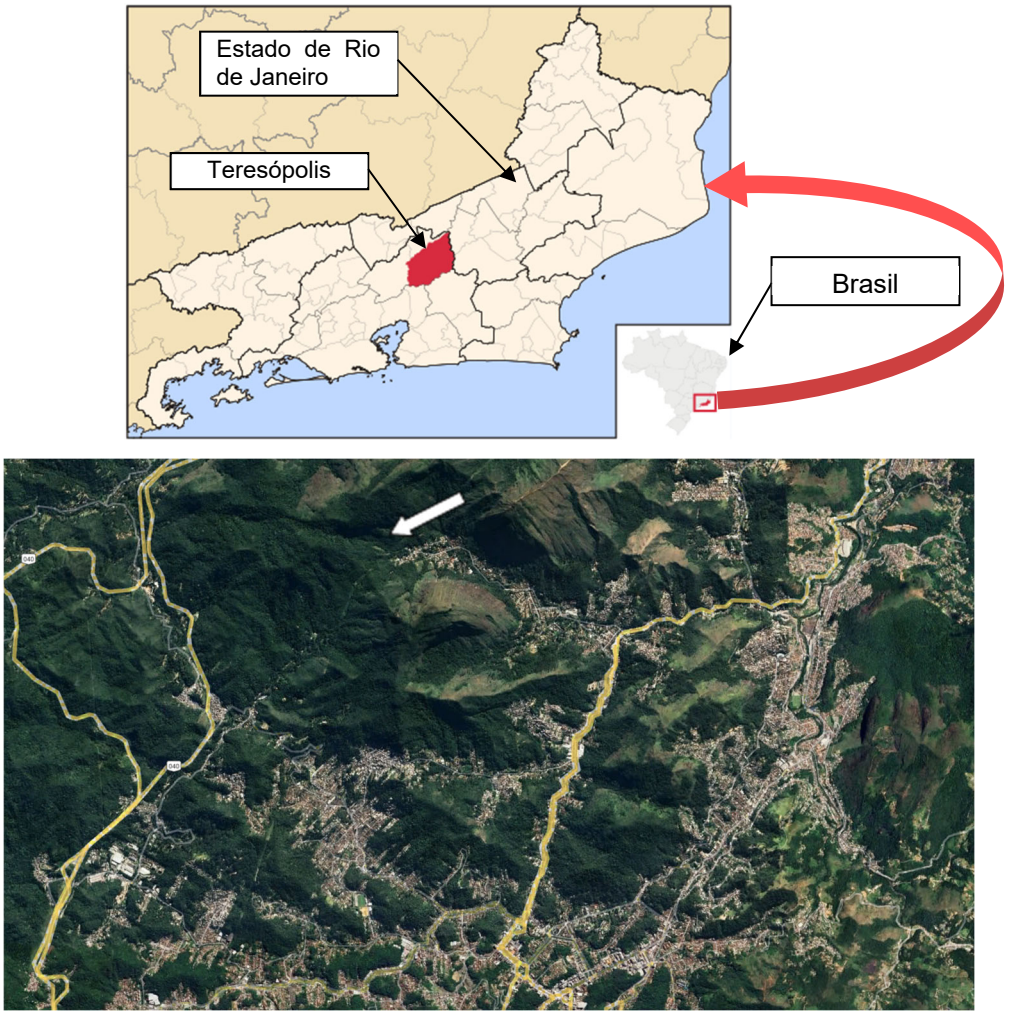
1.1 Localização e caracteríticas da área objeto do plano

1.1.1 Localização da área objeto do plano

Teresópolis é um município brasileiro situado no interior do estado do Rio de Janeiro, Região Sudeste do país. Localizado na Serra Fluminense, pertence à Região Geográfica Intermediária de Petrópolis, e está distante a cerca de 94,3 km a norte da capital do estado. Ocupa uma área de pouco mais de 770 km².

A área-objeto se localiza à 5,0 km do centro da cidade de Teresópolis e a bacia hidrográfica onde ocorre os fluxos de detritos pertence de o bairro de Campo Grande.

Figura 1.1.1 Área objeto do plano de intervenção



Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

1.1.2 Características da região de Teresópolis

A sua população, no dia 1 de agosto de 2010, de acordo com o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, era de 163.746 habitantes.

A precipitação média anual do período de 1991 a 2020, segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia, foi 1649,9 mm e o maior precipitação acumulada de 24 horas foi de 194 mm em 7 de abril de 2012.

A região Serrana do Rio de Janeiro, localizada na área da Serra dos Órgãos a noroeste do estado do Rio de Janeiro, foi severamente atingida por intensas chuvas no início do mês de janeiro de 2011, repercutindo na ocorrência de uma série de movimentos de massa que resultou em um dos desastres de maiores proporções na história do país.

Os eventos extremos de chuva que deflagraram sucessivos movimentos de massa na região ocorreram entre os dias 11 e 12 de janeiro de 2011, afetando milhares de pessoas e ocasionando severos danos e prejuízos.

Segundo Pelizoni (2014), o evento teve sua origem no período chuvoso da região Sudeste, que provocou precipitações de oito a dez dias na serra do Estado do Rio de Janeiro e iniciou o processo de saturação do solo, que se combinou com chuvas pré-frontais, que caíram com forte intensidade durante 3 horas, entre os dias 10 e 12 de janeiro. Ainda conforme descreve Pelizoni (2014), somado a este evento, houve a formação de uma nuvem cúmulo nimbo, realimentada por umidade proveniente da Amazônia, que resultou em chuvas localizadas nas cabeceiras de vales, de elevadas intensidades e com duração de 4,5 horas na noite entre os dias 11 e 12 de janeiro.

Conforme Nunes (2013, apud Pelizoni, 2014) as regiões mais afetadas foram os municípios de Nova Friburgo, Petrópolis, Teresópolis, Bom Jardim, São José do Vale do Rio Preto e Sumidouro, com mais de 970 mortes oficiais e mais de 20.000 pessoas desabrigadas.

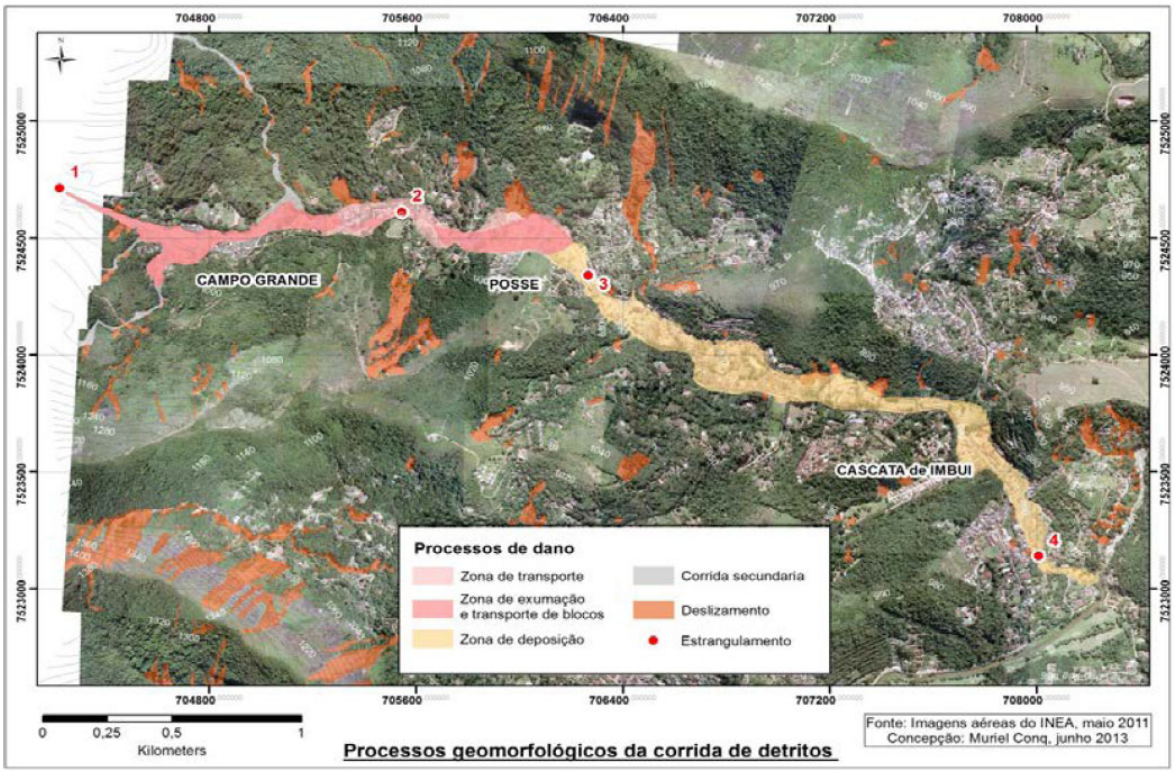
1.2 Antecedentes

1.2.1 Caracterização dos fluxos de detritos ocorridos na área em 2011

Conforme Nunes (2013, apud Pelizoni, 2014) as regiões mais afetadas foram os municípios de Nova Friburgo, Petrópolis, Teresópolis, Bom Jardim, São José do Vale do Rio Preto e Sumidouro, com mais de 970 mortes oficiais e mais de 20.000 pessoas desabrigadas.

O Córrego do Príncipe, situado no extremo oeste do Município de Teresópolis, estado do Rio de Janeiro, foi criticamente atingido por fluxos de detritos no dia 12 de janeiro de 2011. Tendo como base os levantamentos de campo e análises de imagens de satélite, Muriel Conq et al. (2015) relatam que, nos fluxos de detritos causados pelas chuvas intensas, houve carreamento e rolamento de blocos rochosos no perímetro de 2,8km a montante do córrego, provocando a deposição de material pelo perímetro total de 4,8km, contando com o trecho a jusante, causando severos danos (figura). Neste estudo, foram analisadas intervenções estruturais para reduzir os desastres decorrentes fluxos de detritos no talvegue, tendo como alvo a área a montante do ponto de referência, posicionada a montante da área afetada no desastre de janeiro de 2011. A inclinação do leito nas proximidades do ponto de referência é de 4,4 graus, que equivale ao perímetro de deposição do fluxo de detritos.

Figura 1.2.1 Mapa com a delimitação da extensão e zonas da corrida de detritos com os diferentes processos geomorfológicos



Fonte: 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 Situação da ocorrência de fluxos de detritos na bacia do Príncipe.

(1) Situação da geração de material sólido

Nesta foto, tirada em 19/01/2011, pode-se verificar que o material foi gerado perto dos limites da bacia, nos canais de ordem zero, escoando para jusante pela calha dos talvegues. Da mesma forma, há muitos pontos nos quais é possível observar a geração de materiral no meio da bacia.

Figura 1.2.2 Situação da geração de material no desastre de 2011 (19/01/2011)



Fonte: Fotografada pelo MIDR

(2) Situação da deposição dos fluxos de detritos ocorridos

Na parte inferior da bacia do córrego do Príncipe ocorreu o carreamento e a deposição de um fluxo de detritos de grande porte, que gerou enormes danos no bairro Campo Grande. O depóstio do fluxo de detritos tem início na saída do vale e se estende até a igreja, é possível verificar a deposição por um perímetro de aproximadamente 1,5 m. No material depositado há a presença de blocos gigantes, que permite supor que o fluxo de detritos transportou grande quantidade de blocos grandes.

Figura 1.2.3 Situação do escoamento e deposição de material no desastre de 2011 (19/01/2011)



Fonte: Fotografada pelo MIDR

Figura 1.2.4 Situação do depósito da fluxo de detritos



Fonte: Fotografada pelo MIDR

Segundo entrevistas realizadas com moradores após o desastre, no âmbito do Projeto Gides, os fluxos de detritos vinham simultaneamente de várias direções e o nível d'água chegou a altura de 5 m na saída do vale. Esse fenômeno destruiu casa e vias, deixou muitos mortos e desaparecidos. Um levantamento feito em 2016 identifica a formação de um depósito, do qual se estima que seja um patamar formado pela deposição do fluxo de detritos.

Figura 1.2.5 Situação do depósito do fluxo de detritos (próximo ao topo do leque aluvial)

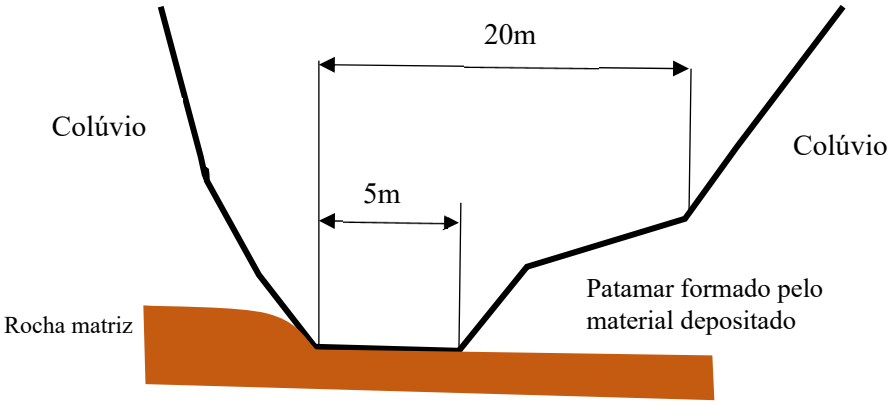


Figura 1.2.6 Levantamento dos vestígios dos fluxos de detritos

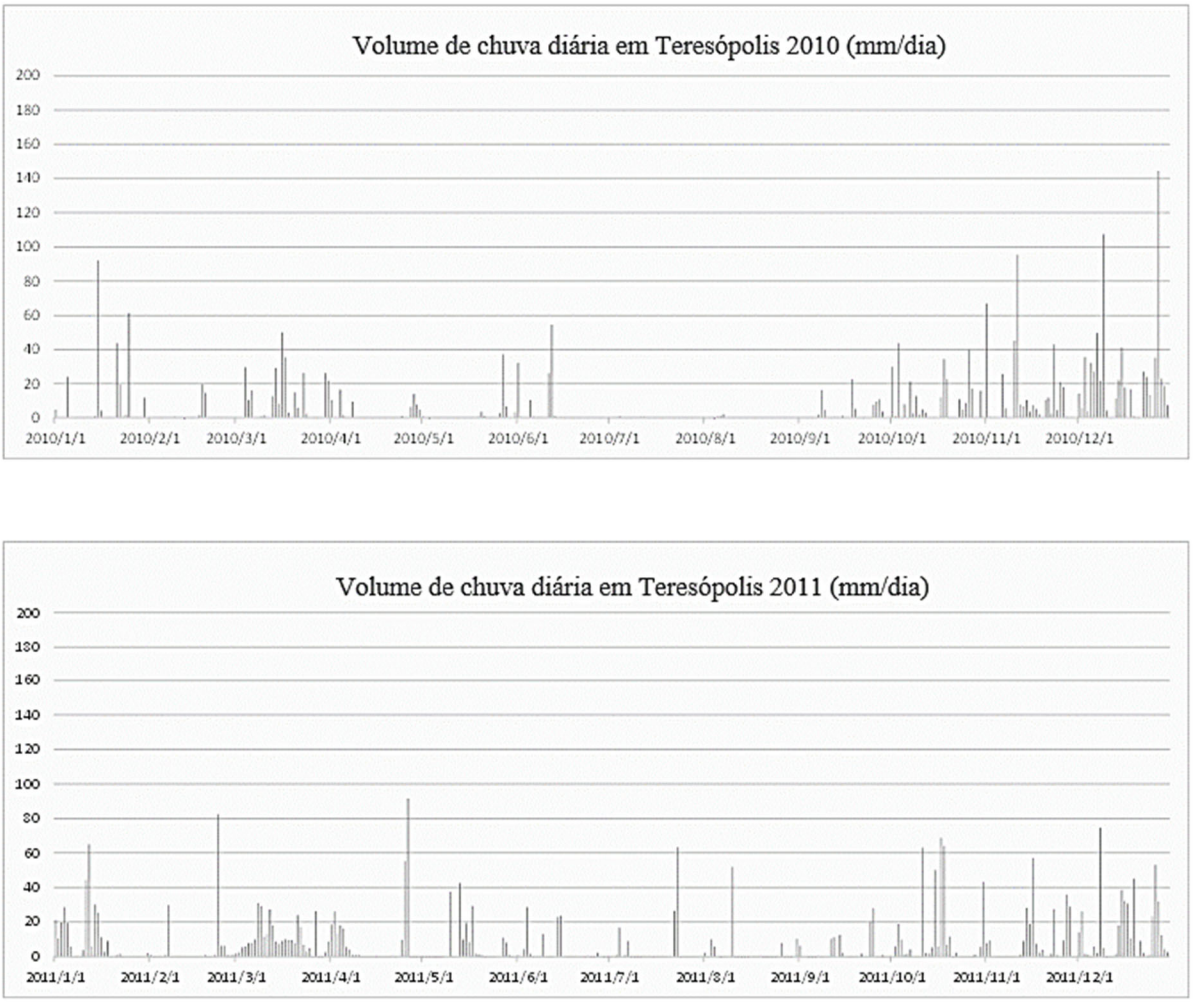


Fonte: Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil/Ministério da Integração Nacional (2018): Volume 4 - Manual Técnico para Intervenções Estruturais para Fluxo de Detritos , Projeto Gides

(3) Condições da precipitação

As informações sobre as condições das chuvas do Município de Teresópolis entre os anos 2010 e 2011 foram organizadas com base nos dados de observação de chuvas do Instituto Nacional de Meteorologia/INMET. A chuva máxima por hora foi 17,6mm/h durante os dias 11 e 12 de 2011 e a chuva máxima de 24 horas foi 90,8mm/24h, ambas menores que o volume de chuva do período de retorno em 100 anos de 199mm/dia. No entanto, o volume das chuvas nos dias 9 e 27 de dezembro ultrapassaram 100mm e o volume total de chuvas do referido mês foi 707mm, sendo esse um volume muito alto. Por essa razão, pode-se pensar que a causa da ocorrência do desastre foi a precipitação de chuvas intensas por um longo período.

Figura 1.2.7 Volume de chuva diária de Teresópolis de 2010 e 2011



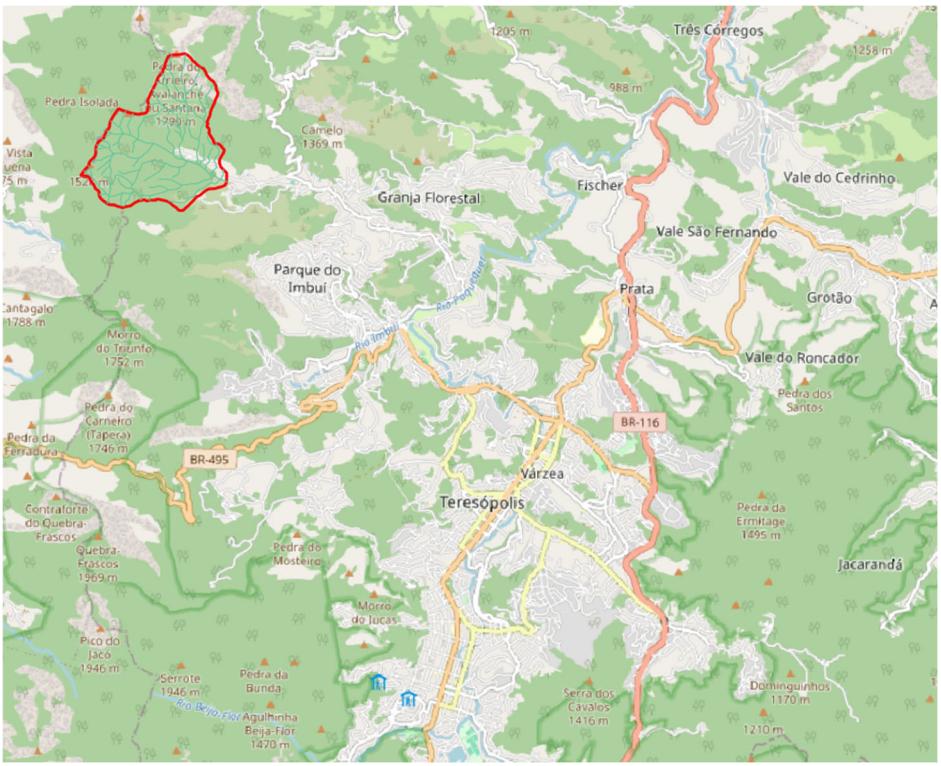
Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

1.3 Características gerais da área de estudo

1.3.1 Localização

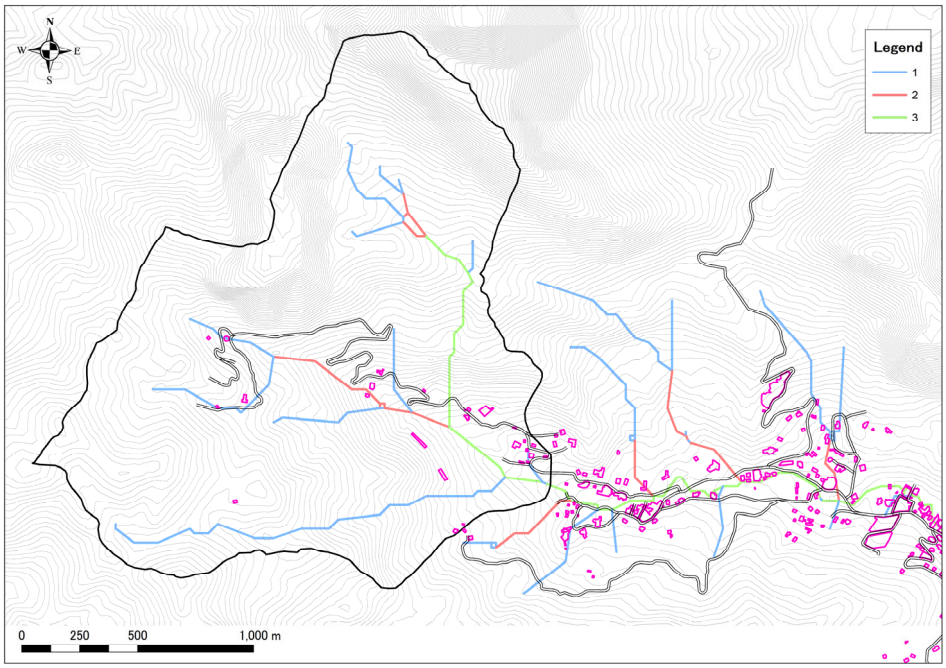
O levantamento foi realizado no rio Inconha, bacia do córrego do Principe, situada no extremo oeste do município de Teresópolis. A área da bacia é de 3,19 km2. Ao longo das ruas existentes na bacia, há muitas moradias. Antes do fluxo de detritos de 2011, existiam muitas casas às margens do córrego do Príncipe, a jusante da saída do vale, porém porém o fluxo provocou enorme destruição nessa área.

Figura 1.3.1 Posição da bacia-alvo



Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

Figura 1.3.2 Bacia-alvo (porção superior da bacia do córrego do Príncipe)



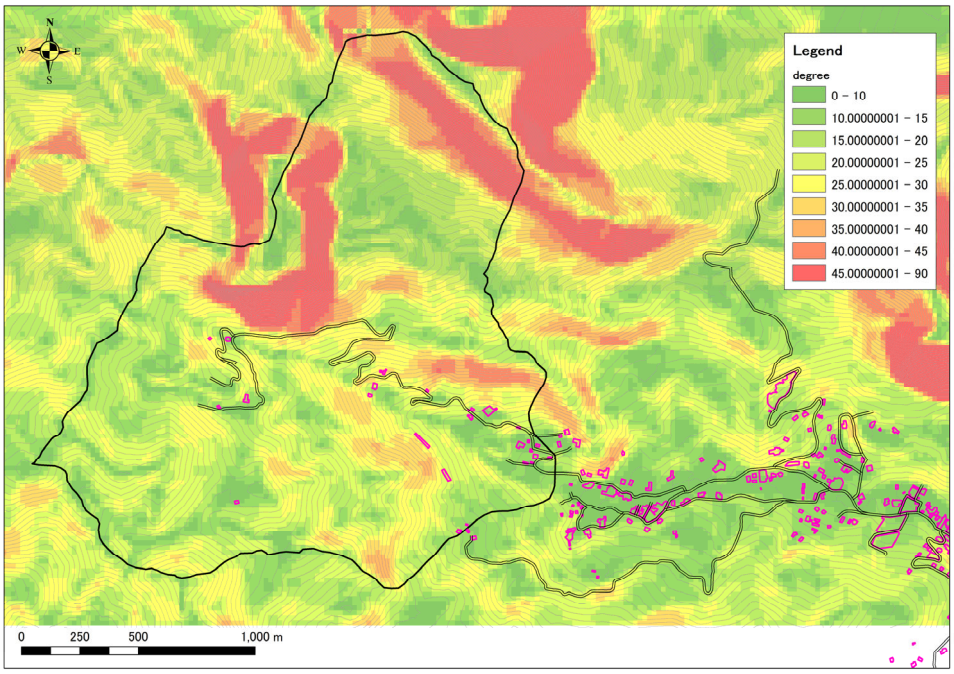
Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

1.3.2 Características do relevo

As encostas do lado norte da bacia são extremamente íngremes, atingindo mais de 40 graus de

declividade, no curso do rio há formação de cachoeiras. Já as encostas do lado sul apresentam inclinações que variam entre 10 e 25 graus, sendo relativamente mais suave que as do lado norte

Figura 1.3.3 Mapa de declividade (porção superior da bacia do córrego do Príncipe)



Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

1.3.3 Características geológicas

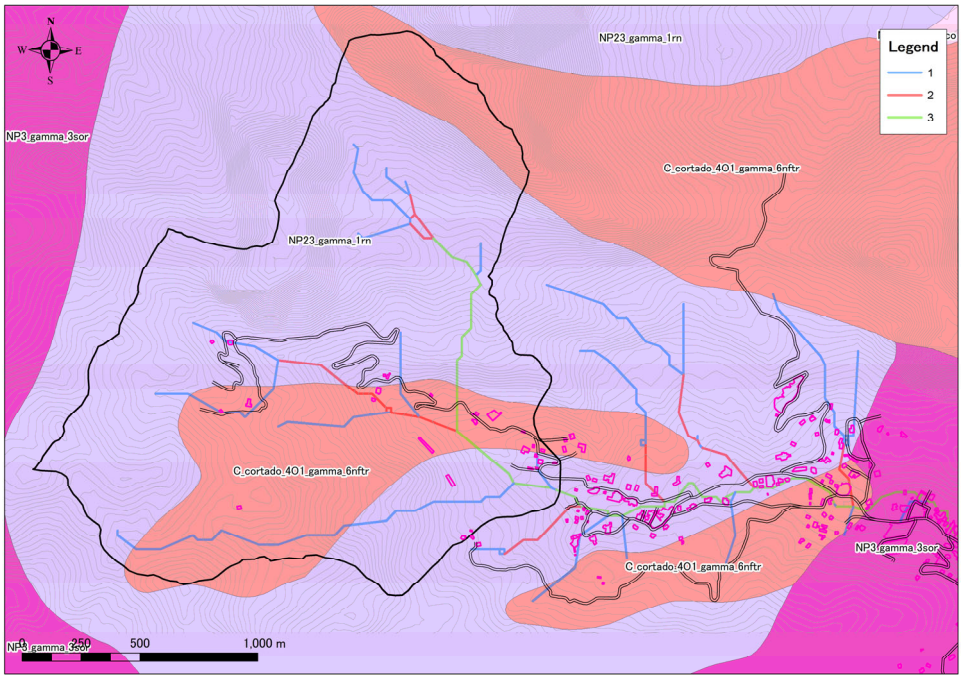
A geologia da bacia é formada por Complexo Rio Negro (NP23Y1rn) e Granito Teresópolis (ε4O1Y6nftr). Este granito aflora entre os municípios de Teresópolis e Nova Friburgo, cortando ortognaisses das suítes Serra dos Órgãos e Cordeiro, e do Complexo Rio Negro. É caracterizado pela presença de titanita e allanita como minerais acessórios. Ocorre em duas variedades, ambas porfiríticas: uma de grão médio e outra de grão fino, mais nova. A fácies fina apresenta evidências de fluidos hidrotermais de origem tardimagmática, com formação de carbonato, clorita e sericita.

Figura 1.3.4 Rochas exposta no leito do talvegue



Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

Figura 1.3.5 Mapa geológico da bacia (porção superior da bacia do córrego do Príncipe)

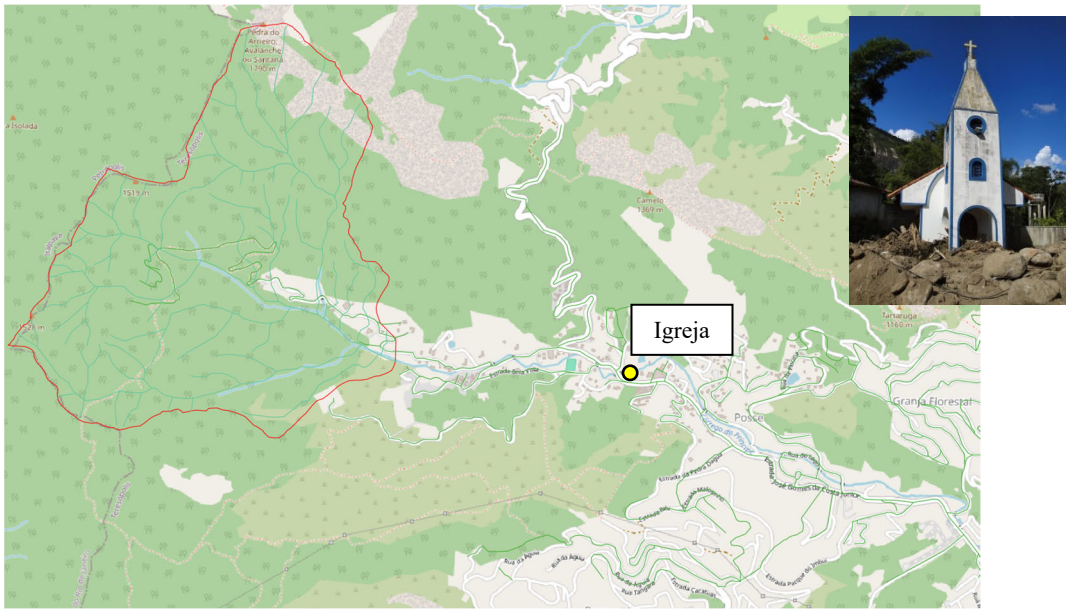


Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

1.3.4 Uso do solo

No interior da bacia, no sentido jusante, ao longo do córrego do Príncipe, há a presença de ocupação residencial. Há também uma igreja, categorizada como equipamento público. No desastre de 2011, o espraiamento do fluxo de detritos atingiu também a igreja, provocando danos.

Figura 1.3.6 Equipamento público nos arredores da bacia (porção superior da bacia do córrego do Príncipe



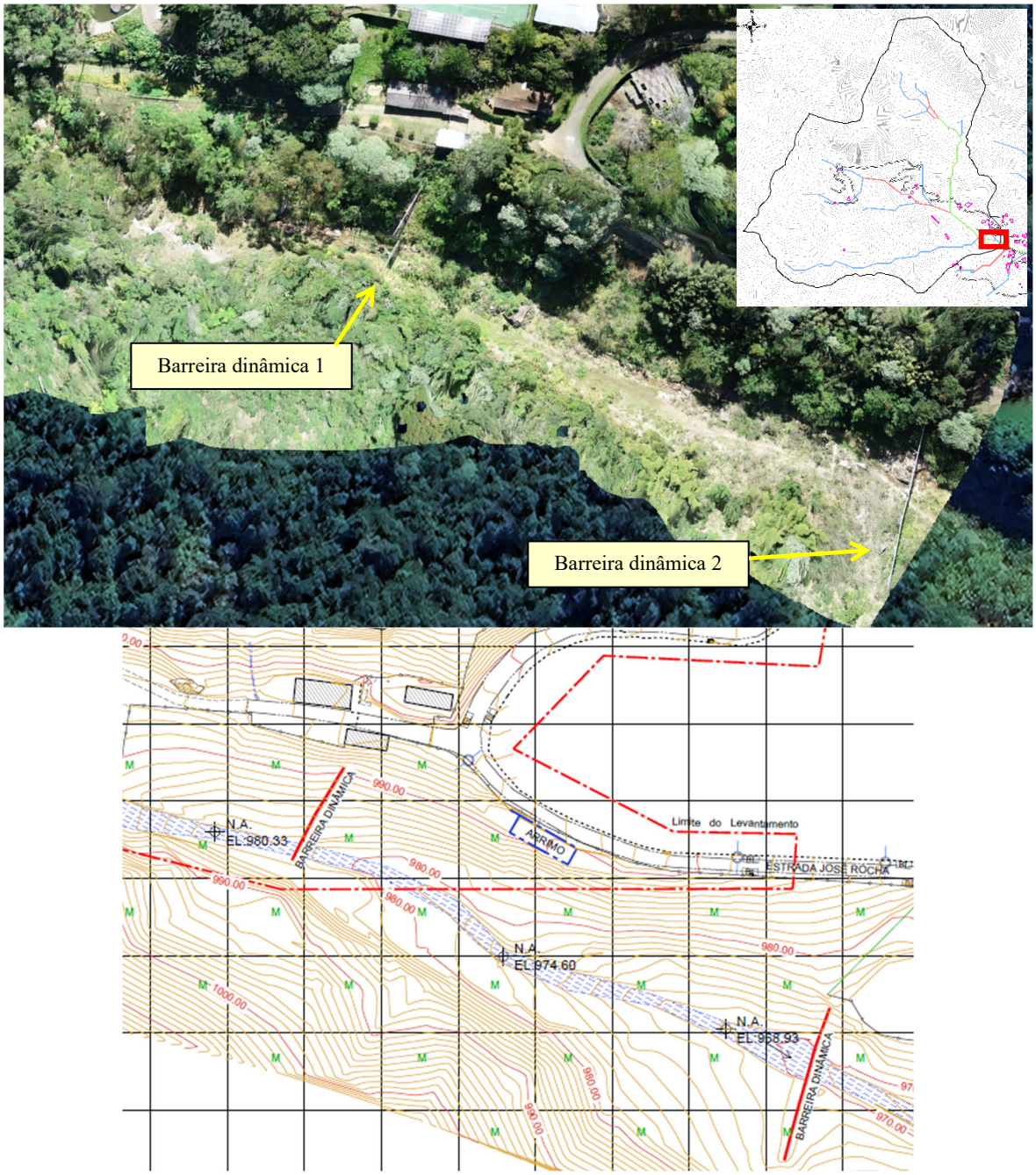
Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

1.4 Referências básicas para o plano de obras

1.4.1 Estruturas existentes

O córrego a montante do ponto de referência é chamado de Rio Iconha. O vale que fica na bacia possui formato de leque, cuja parte mais ampla está direcionada para montante. Por esse motivo, sabe-se que é necessário executar obras para a retenção de fluxos de detritos no curso do rio o mais a jusante possível, a fim de reter o movimento de forma eficiente. Vale destacar que o Instituto Estadual do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro - INEA instalou duas barreiras dinâmicas após o desastre de 2011, no curso do canal equivalente a 3ª ordem, próximo à extremidade a jusante da bacia.

Figura 1.4.1 Barreiras dinâmicas instaladas



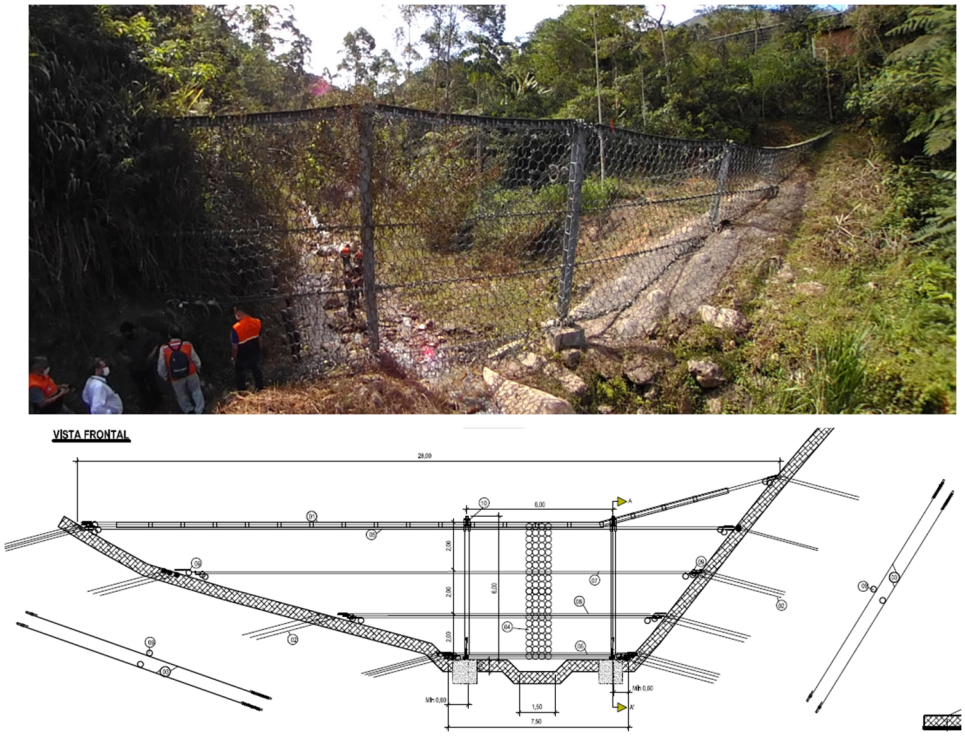
Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

Figura 1.4.2 Barreira dinâmica 2



Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

Figura 1.4.3 Barreira dinâmica 1

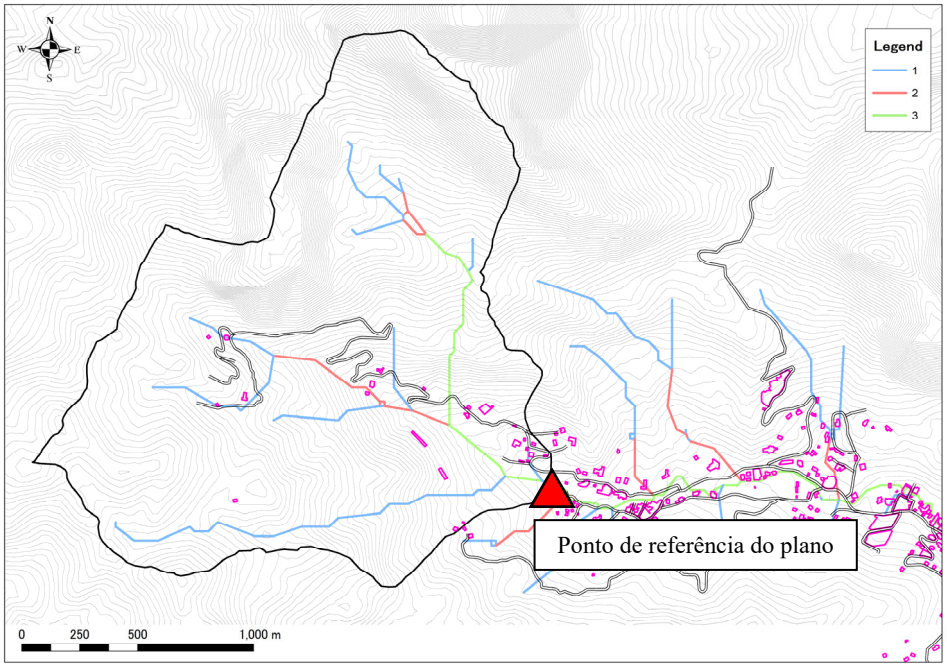


Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

1.4.2 Ponto de referência do plano

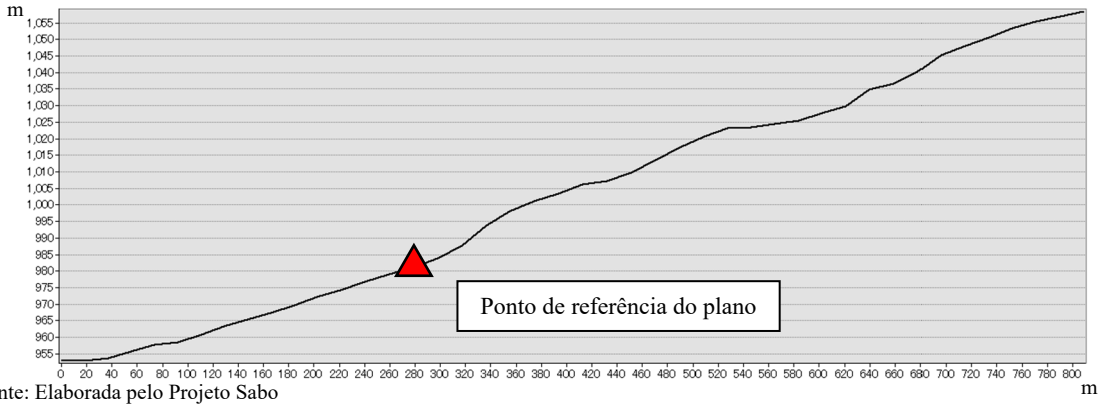
O ponto de referência do plano foi posicionado na saída do vale – ponto no qual teve início o espraiamento do fluxo de detritos de 2011 – alocado a jusante da barreira dinâmica 2, que já havia sido instalada. A inclinação do leito do talvegue é de cerca de 1:10, sendo esse o trecho de deposição de fluxo de detritos.

Figura 1.4.4 Ponto de referência do plano (porção montante da bacia do córrego do Príncipe)



Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

Figura 1.4.5 Ponto de referência do plano (porção montante da bacia do córrego do Príncipe)



Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

1.4.3 Chuvas extremas

A avaliação das chuvas extremas consistiu na caracterização do regime de chuvas extremas máximas diárias com a apresentação dos valores de máximos diários associados aos respectivos tempos de recorrência. Tal informação é base para o cálculo do volume material potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvegue.

(1) Seleção do posto pluviométrico de referência e dados considerados

Dados da Agência Nacional de Águas (ANA), no sistema Hidroweb, acessível a partir do sítio

eletrônico da agência, no campo referente aos Sistema Nacional de Informações Hidrológicas (http://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa). Os dados foram coletados no mês de dezembro de 2021.

O Córrego do Príncipe tem uma estação fluviométrica denominada POSSE, código 58414800, operada sob a responsabilidade do INEA – RJ, com dados da vazão do córrego desde 31/10/2011, ou seja, pouco mais de 10 anos de dados. Para futura atualização do estudo, em etapas posteriores de projeto, sugere-se verificar junto ao INEA a disponibilização dos referidos dados e calibrar o modelo de conversão de chuva em vazão.

Para a seleção dos pluviômetros a serem considerados, foi adotado o critério de quantidade mínima de dados históricos de 30 anos. Dos pluviômetros com dados disponíveis no município, dois atenderam a premissa:

- Posto Pluviométrico TERESÓPOLIS (PARQUE NACIONAL),(Cód. 2242071), operado pelo INMET, mais de 100 anos desde o início da operação, inclui períodos de falha de observação. O pluviômetro está localizado a cerca de 7 km da barreira dinâmica instalada no córrego do Príncipe, disponibiliza dados de 1913 a 2012.
- Posto Pluviométrico BOM SUCESSO (Cód. 2242026), operado pela CPRM, com cerca de 55 anos de dados, incluindo períodos de falha de observação. O pluviômetro está localizado a cerca de 25 km da barreira dinâmica instalada no córrego do Príncipe.

Complementarmente, foi identificado um posto a pouco mais de 2km próximo à localidade da barreira dinâmica instalada: TERESÓPOLIS_Parque do Imbui (Cód.. 2242423). A estação pluviométrica é operada pelo CEMADEM, contudo seus dados não estavam disponíveis no banco de dados Hidroweb quando da realização do estudo nem no início da operação da estação, ocorrido aparentemente em 31/12/2013.

Dessa forma, dois postos pluviométricos foram considerados no estudo, TERESÓPOLIS (PARQUE NACIONAL) (Cód.. 2242071) e BOM SUCESSO (Cód.. 2242026). A seguir, imagem com a localização geral das estações.

Figura 1.4.6 Localização dos pluviômetros avaliados no estudo



Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

A Tabela apresenta o histórico de chuvas máximas diárias considerando cada ano do período de registros, no total de 100 anos de dados considerados. Os valores foram ordenados do maior para o menor. As falhas dos dados foram preenchidas com base nos dados da estação Paquequer (Cód. 2242026), uma vez que as estações estão próximas ao ponto de se considerar que apresentam o mesmo regime pluviométrico.

Tabela 1.4.1 Histórico de dados considerados para as chuvas máximas diárias (TERESÓPOLIS (PARQUE NACIONAL) - Cód. 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

Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

(2) Metodologia

O estudo se baseou nas frequências dos eventos máximos anuais de chuvas diárias registrados no pluviômetro de referência.

Inicialmente, foi definida a série de chuva com base nos valores de chuvas máximas diárias anuais. Ressalta-se que foram considerados valores de máximos anuais de anos incompletos somente nos casos em que as falhas ocorreram no período de estiagem.

A análise de frequência das chuvas tem como objetivo estabelecer a relação entre os valores de chuvas máximas diárias e os tempos de retorno ou de recorrência a eles associados. Esta análise se baseia no exame probabilístico dos máximos registros pluviométricos anuais para as chuvas diárias registradas no pluviômetro. Desta forma, a cada ano está associado um máximo anual, resultando num conjunto { y1, y2, ..., yn }, que pode ser interpretado como sendo uma amostra de variável aleatória Y, máxima chuva diária anual.

Assim, o problema é o de determinar o valor de xT tal que P[Y > xT] =T, onde xT é a chuva correspondente a um período de retorno em anos (T). Para tanto, é necessário ajustar uma distribuição de probabilidades à amostra {y1, y2,..., yn}, o que permite a definição de xT, para qualquer T.

Foram consideradas duas distribuições: exponencial de dois parâmetros (estimada pelo método dos momentos) e Gumbel (extremos do tipo I). Para seleção da distribuição a ser adotada foi considerada recomendação do Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas 2007, que sugere adotar a distribuição exponencial sempre que a assimetria da amostra for superior a 1,5, e a distribuição Gumbel, para assimetrias amostrais inferiores a 1,5.

Como estimadores da média ($\bar{x}$), desvio-padrão (s) e assimetria (g) utilizaram-se as seguintes equações:

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

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

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

O quantil x_T, para as duas distribuições, associado ao período de retorno T e, portanto, com a probabilidade (p) de não ser excedido de $P(Y \le x_T) = 1 - P(Y > x_T) = 1 - \frac{1}{T}$ é calculado através das seguintes equações:

Exponencial de dois parâmetros:

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

Em que:

$x_o = \bar{x} - s$

$\beta = s$

x_o e β são os parâmetros da distribuição.

Gumbel:

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

Em que:

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

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

Em que α e β são os parâmetros da distribuição.

(3) Resultados obtidos para as chuvas extremas

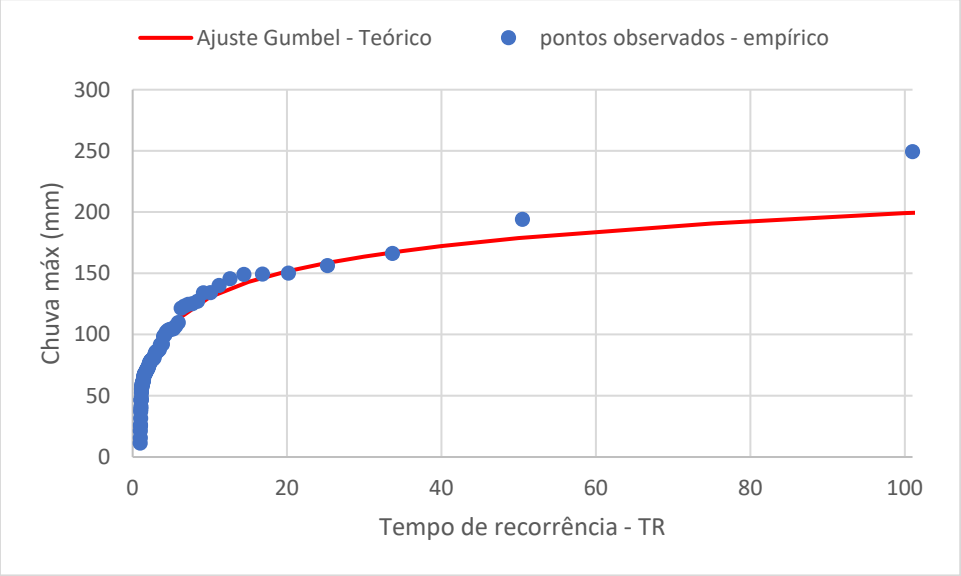
Com base na metodologia descrita, adotou-se a distribuição de Gumbel para o ajuste, uma vez que o valor da assimetria ficou abaixo de 1,5, tendo sido obtidos os parâmetros indicados na Tabela.

O volume de chuva do período de retorno em 100 anos é 199mm/dia .

Tabela 1.4.2 Parâmetros de referência para distribuição Gumbel

número de dados da amostra (n)	100
média ($\bar{x}$)	81,69
variância (s^2)	1.403,53
desvio padrão (s)	37,46
assimetria (g)	1,43
α	29,18
β	64,85

Figura 1.4.7 Ajuste estatístico à distribuição Gumbel



Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

Tabela 1.4.3 Tempos de retorno e Chuvas Máximas Diárias, com a indicação do tempo de retorno considerado no plano

TR (anos)	chuva (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

Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

1.4.4 Porte do plano

O volume de chuva de 24 horas registrado durante a tragédia de 2011 e a precipitação máxima histórica de 24 horas no município de Teresópolis tem valores muito próximos ao tempo de

recorrência de 100 anos, portanto, seguindo o Manual Sabo, para o tempo de recorrência de 100 anos foi adotado o valor de 199 mm como escala de projeto do referido talvegue.

1.5 Estimativa do volume total dos detritos do plano

O volume total dos detritos do plano é estimado para o ponto de referência definido previamente. O volume total dos detritos do plano será composto pelo volume de material carreado do plano somado ao volume de troncos carreados do plano.

O volume total dos detritos do plano é definido comparando-se dois volumes: o volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvegue (Vdy1) e o volume potencial de material transportável pela chuva dentro de um evento com determinado tempo de recorrência (Vdy2). O menor desses dois volumes será o adotado.

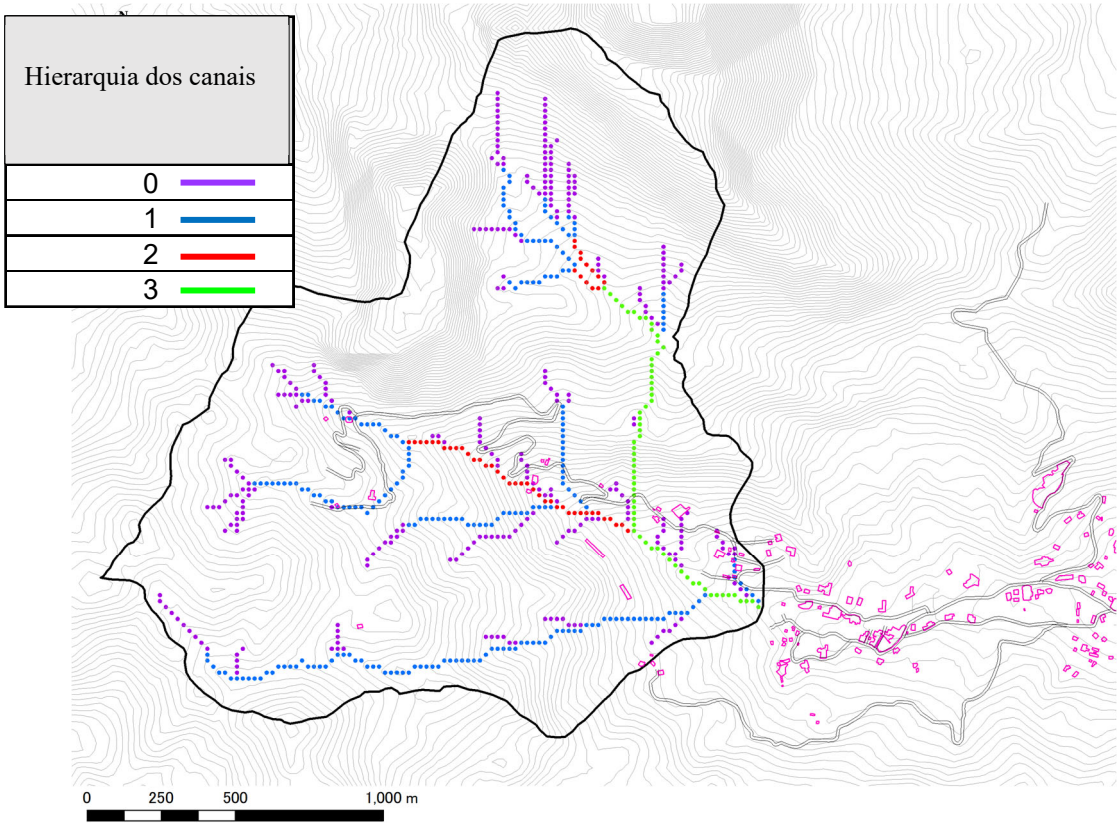
O volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvegue representa a maior produção de material possível na região de estudo, tendo em vista as características topográficas e geológicas da região.

O volume potencial de material transportável pela chuva representa o volume máximo de material que pode ser carreado dentro de um volume de chuva diária considerado para o tempo de recorrência adotado no plano.

1.5.1 Hierarquia de canais da bacia hidrográfica

Com base no "Manual de mapeamento simplificado para identificação preliminar e priorização de talvegues susceptíveis à ocorrência de fluxos de detritos, visando a implantação de Barreiras Sabo" foi realizada a hierarquia da rede fluvial.

Figura 1.5.1 Mapa de hierarquia de rede fluvial



Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

1.5.2 Volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvegue (V_{dy1})

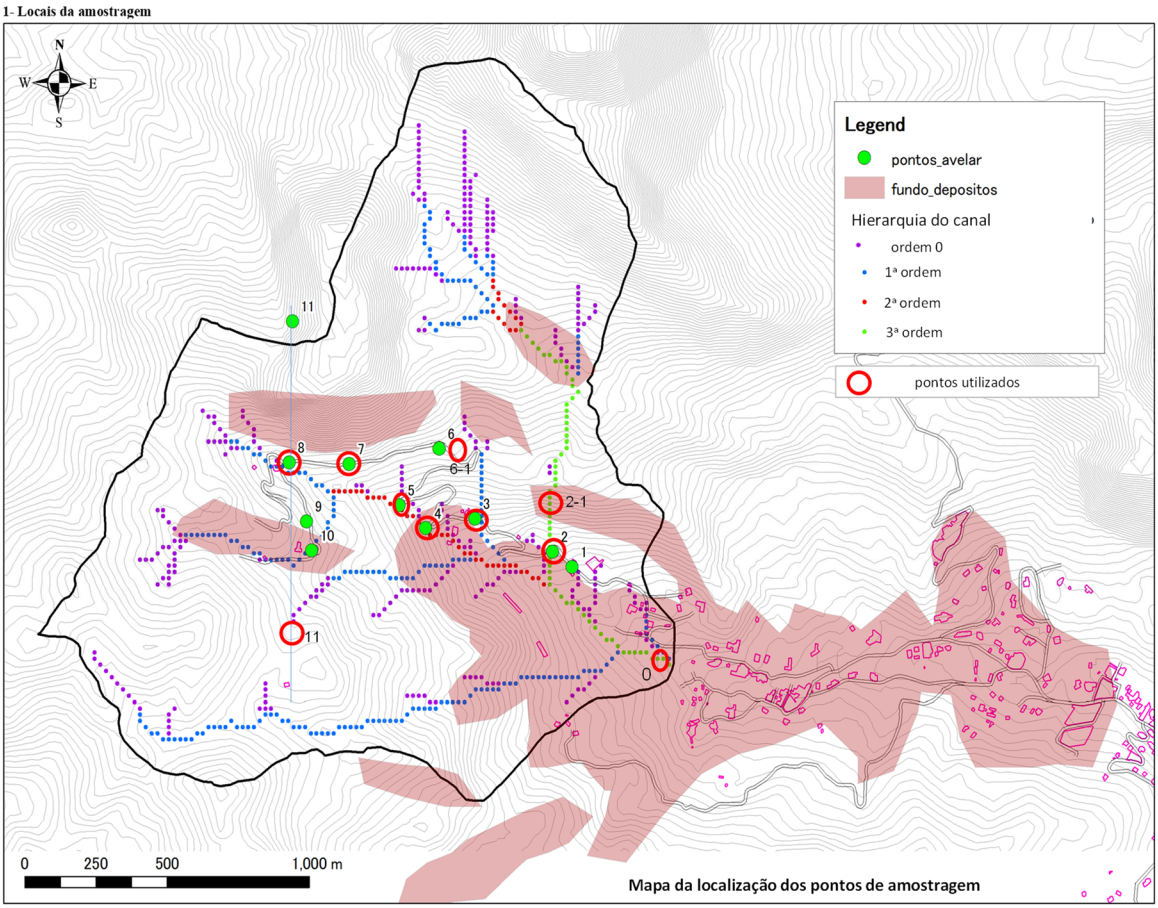
O valor do volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvegue de 140.112 m3, 141.000m3 arredondando para cima, foi obtido após multiplicar o comprimento total do vale pela largura e profundidade erodíveis, em a cada ordem de canal, avaliadas no levantamento de campo.

Tabela 1.5.1 Volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvegue

Hierarquia dos canais	Comprimento (m)	Área da seção do talvegue onde se avalia que haverá erosão (m^2)	Volume potencial de material que pode ser gerado na bacia hidrográfica (m^3)
0	5820	6,33	36860
1	4.20	9,00	42480
2	1020	18,35	18717
3	1300	32,35	42055
Total			140112

Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

Figura 1.5.2 Mapa de posicionamento dos locais nos quais foram realizados os levantamentos das seções



Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

Tabela 1.5.2 Tabela do levantamento das seções

2- Área de erosão de cada ponto

No.	ordem 0			1ª ordem			2ª ordem			3ª ordem			
	B_d (m)	D_e (m)	A_{dyl} (m^2)	B_d (m)	D_e (m)	A_{dyl} (m^2)	B_d (m)	D_e (m)	A_{dyl} (m^2)	B_d (m)	D_e (m)	A_{dyl} (m^2)	
0										26	1,333 *	34,7	
2										10	3	30	
2-1										0	0	0	Não avaliou.
3				4	2	8							
4							8	3,333 *	26,7				
5							6	1,667 *	10				
6-1	6	1	6										
7	16	0,5	8										
8				6	1,667 *	10							
11	10	0,5	5										
Média	10,67	0,67	6,33	5,00	1,83	9,00	7,00	2,50	18,35	18,00	2,17	32,35	

Nota:
B_d: Largura da erosão no momento da ocorrência do fluxo de detritos (m)
D_e: Profundidade da erosão dos depósitos no momento da ocorrência do fluxo de detritos (m)
A_{dyl}: Área da seção do volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvegue (m^2)
* : Locais onde considerou-se que formato da seção erodível pode ser obtido por parábola, multiplicando a profundidade máxima da erosão por 2/3.

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		

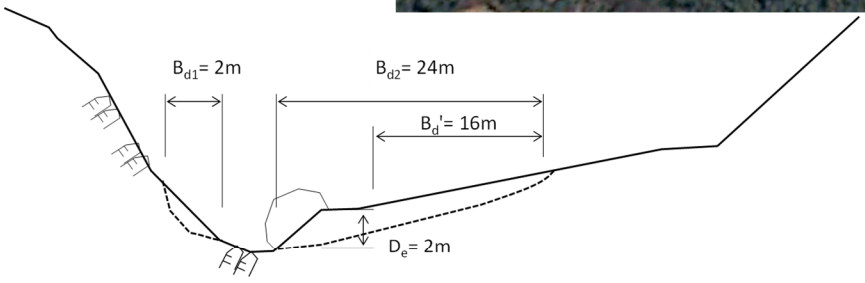
Fotos



Desenho preliminar

No desastre de 2011, a largura do fluxo de detritos foi de 30m, no local existe uma parte com rocha exposta, 4m, deduziu-se 4m da largura do fluxo de detritos para definir a largura da erosão (B_d)
Com base nas condições de rochas expostas no leito, a profundidade máxima da erosão foi definida em 2m. O formato da seção erodível foi obtido por parábola, multiplicando a erosão máxima de 2m por 2/3 para obter a profundidade média de erosão (D_e).





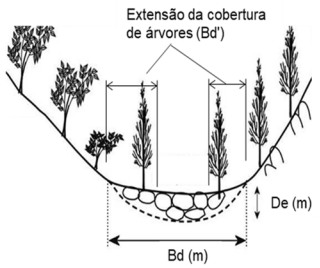
Hierarquia do canal : 3

Área da seção do volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvgue (A_{dyl})

$A_{dyl} = B_d \times D_e \times 2/3$ = 26,0 (m) x 2,0 (m) x 2/3 = 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 ☑



Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

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

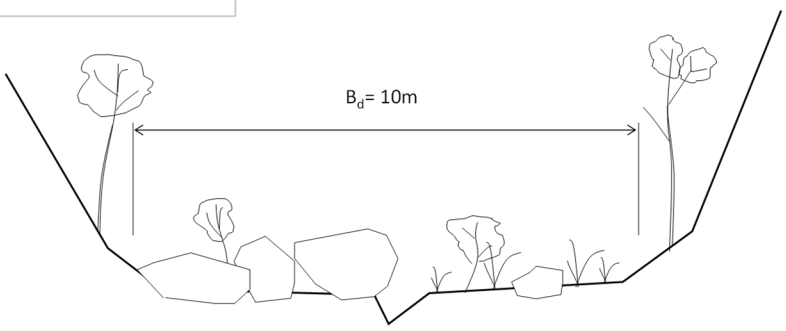
Número do ponto do levantamento:	2	Data da realização:	26 janeiro, 2022
Pesquisador/fotógrafo:	Masaharu MIZOGUCHI		

Fotos



Desenho preliminar

A largura da erosão (B_d), foi definida com base no depósito do fluxo de detritos ocorrido no desastre de 2011, conforme a largura da deposição de 10m.
Foi considerado que a profundidade da erosão (D_e) é equivalente ao diâmetro do bloco que estão espalhados ao longo do leito do talvegue, cuja média é de 3m.



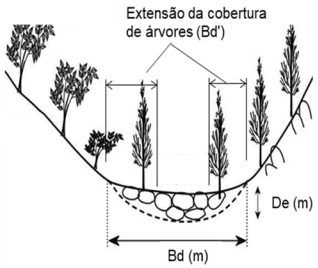
Hierarquia do canal : 3

Área da seção do volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvegue (A_{dyl})

$A_{dyl} = B_d \times D_e =$ 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 ☐

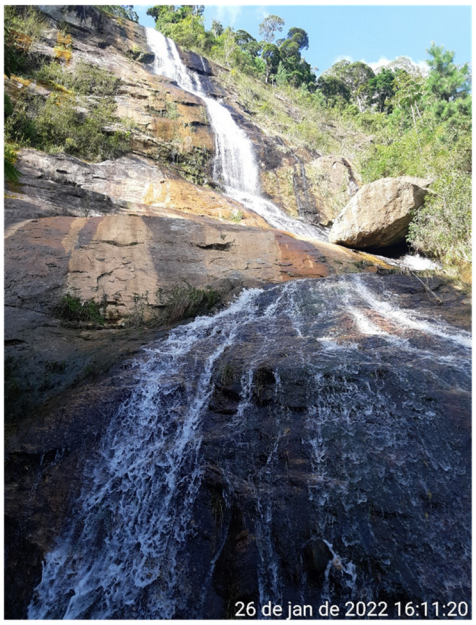


Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

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

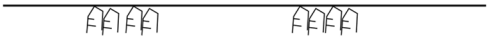
Número do ponto do levantamento:	2-1	Data da realização:	26 janeiro, 2022
Pesquisador/fotógrafo:	Masaharu MIZOGUCHI		

Fotos



Desenho preliminar

A superfície da cachoeira é de rocha aparente, não há a presença de material potencialmente instável, por essa razão a largura (B_d) e a profundidade (D_e) da erosão foram consideradas como zero.



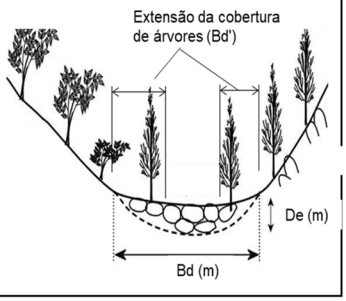
Hierarquia do canal : 3

Área da seção do volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvegue (A_{dyl})

$A_{dyl} = B_d \times D_e =$ 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 ☐



Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

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

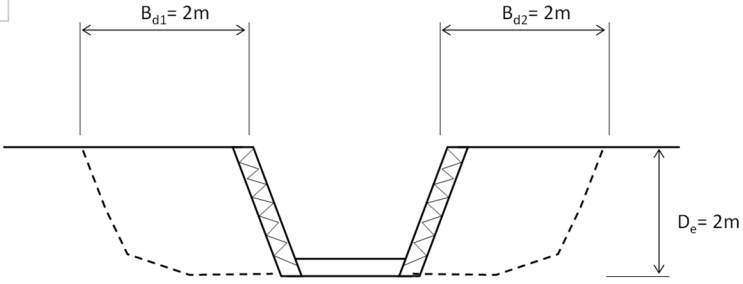
Número do ponto do levantamento:	3	Data da realização:	19 julho, 2023
Pesquisador/fotógrafo:	Masaharu MIZOGUCHI		

Fotos



Desenho preliminar

Estimou-se um fenômeno no qual o fluxo de detritos que transbordou provocou a erosão da parte posterior (costas) das margens. A largura da erosão (B_d) foi definida considerando a largura do fundo do vale a montante, avaliando que a erosão atinja o piso da obra de canalização existente.



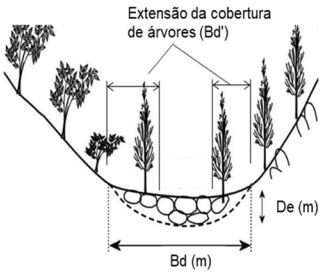
Hierarquia do canal : 1

Área da seção do volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvegue (A_{dyl})

$A_{dyl} = B_d \times D_e$ = 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 ☐

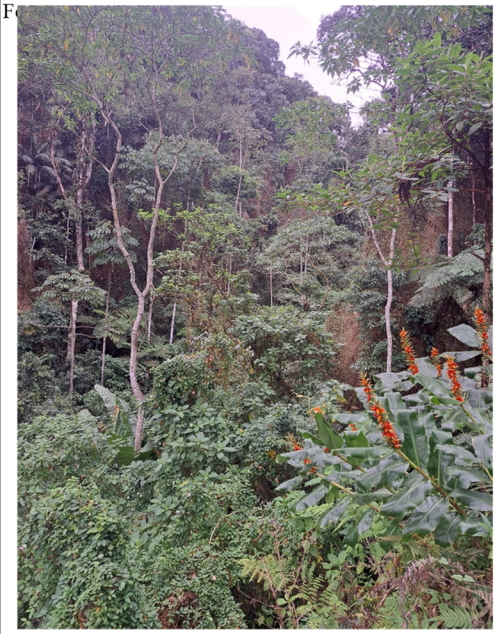


Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

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

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

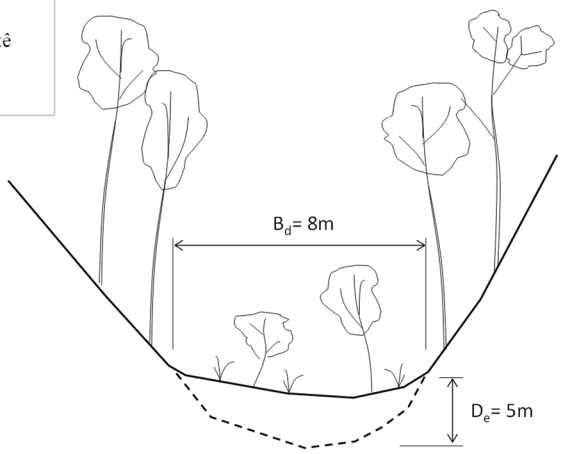
F





Desenho preliminar

A largura da erosão (B_d), foi definida em 8m com base na largura da erosão do fluxo de detritos ocorrido no desastre de 2011.
O formato da seção erodível foi obtido por parábola; conforme as orientações do Comitê Técnico, a profundidade da erosão (D_e) foi definida multiplicando 5,0m por 2/3.



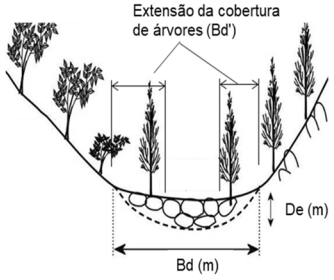
Hierarquia do canal : 2

Área da seção do volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvegue (A_{dyl})

$A_{dyl} = B_d \times D_e \times 2/3 =$ 8,0 (m) x 5,0 (m) x 2/3 = 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 ☐



Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo