Brasil
Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional
Secretaria de Proteção e Defesa Civil

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
PROJETO DE APRIMORAMENTO DA CAPACIDADE TÉCNICA EM MEDIDAS ESTRUTURAIS CONTRA MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA COM FOCO NA CONSTRUÇÃO DE CIDADES RESILIENTES

APRESENTAÇÃO DE EXEMPLOS

Junho de 2026

Agência de Cooperação Internacional do Japão - JICA

Yachiyo Engineering Co., Ltd.
Centro de Tecnologia Sabo e Deslizamentos
CTI Engineering International Co., Ltd.

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
Sumário

Apresentação

Parte 1 – Seleção dos talvegues para os projetos-piloto

Capítulo 1 Mapeamento de perigo para identificar talvegues que precisam de estruturas de retenção de fluxo de detritos 1-1

1.1 Etapas de análise 1-1

1.2 Identificação de talvegues com probabilidade de ocorrência de fluxo de detritos 1-1

1.2.1 Elaboração do mapa topográfico 1-1

1.2.2 Identificar o veio dos canais e elaborar o mapa do sistema hídrico 1-3

1.2.3 Declividade dos vales de limites das bacias 1-3

1.3 Delimitar a abrangência da área dos danos decorrentes dos fluxos de detritos (área de perigo) 1-4

1.4 Elencar os talvegues com maior nível de prioridade para obras de retenção de fluxos de detritos com base na quantidade de alvos de interesse existentes dentro da área de perigo 1-5

1.5 Síntese das atividades 1-6

1.6 Testes e validação do mapeamento de perigo para identificar talvegues que precisam de estruturas de retenção de fluxo de detritos 1-6

Capítulo 2 Listar as localidades que precisam de obras para retenção de fluxos de detritos 2-1

2.1 Seleção dos talvegues com alto nível de prioridade para a implementação de obras para a retenção de fluxos de detritos 2-1

2.1.1 Cálculo dos ativos contidos na área de perigo 2-1

2.1.2 Identificar os talvegues com alto nível de prioridade utilizando o desvio padrão 2-1

2.1.3 Apoio à seleção de área-alvo para a implementação dos projetos-pilotos 2-2

Capítulo 3 Definição da área dos projetos-piloto 3-1

Parte 2 – Projeto-piloto no município de Nova Friburgo-RJ

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 Nova Friburgo 1-1

1.2 Antecedentes 1-2
1.2.1 Caracterização dos fluxos de detritos ocorridos na área em 2011 1-2
1.2.2 Fluxo de detritos do talvegue ao lado do Hospital São Lucas 1-5
1.2.3 Mapa de risco (perigo) 1-7

1.3 Características gerais da área de estudo 1-7
1.3.1 Localização 1-7
1.3.2 Características do talvegue 1-8
1.3.3 Geologia e solo 1-10
1.3.4 Vegetação 1-11
1.3.5 Uso do solo e instalações públicas 1-13

1.4 Referências básicas para o plano de obras 1-13
1.4.1 Área protegida 1-13
1.4.2 Ponto de referência do plano 1-14
1.4.3 Chuvas extremas 1-15
1.4.4 Porte do Projeto 1-19

1.5 Estimativa do volume total dos detritos do plano 1-20
1.5.1 Hierarquia de canais da bacia hidrográfica 1-20
1.5.2 Volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvegue (V_{dy1}) 1-21
1.5.3 Volume potencial de material transportável pela chuva dentro de um evento com determinado tempo de recorrência (V_{dy2}) 1-23
1.5.4 Volume de troncos carreados (V_w) 1-25
1.5.5 Volume total dos detritos do plano 1-26

1.6 Vazão-alvo do plano 1-26
1.6.1 Vazão que considera os sólidos carreados 1-26
1.6.2 Vazão de pico do fluxo de detritos 1-27
1.6.3 Análise de espraiamento do fluxo de detritos（HyperKANAKO） 1-28

1.7 Solução proposta para o caso estudado 1-30
1.7.1 Topografia 1-30
1.7.2 Avaliação da hipótese de não serem implantadas intervenções 1-31
1.7.3 Diretrizes adotadas na escolha das obras 1-33

1.8 Seleção das soluções de engenharia 1-34

1.8.1 Seleção do tipo de obra através do fluxograma 1-34
1.8.2 Comparação entre as obras de controle da ocorrência e de retenção 1-37
1.8.3 Comparação da barreira de retenção de fluxo de detritos 1-37
1.9 Decisão da posição 1-43
1.9.1 Escolha da melhor proposta 1-43
1.9.2 Análise do eixo da barreira 1-43
1.9.3 Elaborando o projeto básico 1-46
1.10 Recomendações para a implementação da solução 1-47
1.11 Referência bibliográfica 1-48

Capítulo 2 Projeto de engenharia das estruturas para prevenção e retenção de fluxos de detritos..... 2-1
2.1 Visão geral do projeto de engenharia 2-1
2.1.1 Tarefas executadas 2-1
2.1.2 Etapas do projeto de engenharia 2-1
2.1.3 Localização do talvegue 2-2
2.2 Levantamentos para a elaboração do projeto detalhado 2-3
2.2.1 Topografia 2-3
2.2.2 Levantamento geológico 2-5
2.2.3 Levantamento granulométrico 2-11
2.3 Condições do Projeto de Engenharia 2-13
2.3.1 Normas, publicações técnicas e unidades 2-13
2.3.2 Documentos de referência 2-13
2.3.3 Condições de projeto 2-13
2.3.4 Descrição da estrutura 2-15
2.3.5 Barreira principal 2-16
2.4 Projeto de engenharia detalhado da barreira sabo 2-17
2.4.1 Seção do vertedouro 2-17
2.4.2 Formato do corpo principal 2-23
2.4.3 Cálculo de estabilidade 2-25
2.4.4 Formato das asas 2-34
2.4.5 Calha de proteção de jusante 2-41
2.5 Projeto de engenharia da via de manutenção 2-47
2.5.1 Análise das rotas de acesso 2-47
2.5.2 Projeto de engenharia da via de manutenção 2-49
2.6 Desenhos do projeto 2-54

2.6.1 Barreira sabo 2-54
2.6.2 Via de manutenção 2-64
2.7 Aspectos que merecem especial atenção nos próximos projetos 2-79
2.7.1 Plano de posicionamento das instalações sabo 2-79
2.7.2 Levantamentos para a elaboração do projeto detalhado 2-81
2.7.3 Projeto de engenharia da barreira sabo 2-82
2.7.4 Projeto da via de manutenção 2-83

Capítulo 3 Execução das Obras de Barreira Sabo Impermeável e Estruturas Complementares .. 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 3-5
3.3 Ensecadeira 3-6
3.3.1 Vazão alvo 3-6
3.3.2 Posicionamento e tipos de soluções para o desvio do curso do rio 3-6
3.3.3 Dimensionamento do desvio do curso do rio 3-7
3.3.4 Problemas técnicos que surgiram durante a execução as obras e respectivas soluções 3-7
3.4 Escavação 3-8
3.4.1 Situação da escavação 3-8
3.4.2 Aspectos que receberam especial atenção durante a execução das obras 3-10
3.4.3 Problemas técnicos que surgiram durante a execução as obras e respectivas soluções 3-11
3.5 Obras em concreto 3-12
3.5.1 Traço do concreto, sua usinagem e transporte 3-12
3.5.2 Método de execução de cada etapa da concretagem 3-12
3.5.3 Ordem da concretagem 3-15
3.5.4 Cronograma de elevação das camadas 3-16
3.6 Execução de obras especiais 3-18
3.6.1 Drenos intrabarreira 3-18
3.6.2 Obras de estabilização das encostas 3-18
3.7 Medidas de segurança durante a execução das obras 3-19

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

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

ABREVIAÇÃO

Abreviação	Nome em Português (Nome em Inglês)
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
COPPE	Coordenação dos Programas de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DAP	Diâmetro médio à altura do peito
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre
GIDES	Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional da Gestão Integrada de Riscos em Desastres Naturais (Project for Strengthening National Strategy of Integrated Natural Disaster Risk Management)
GIS	Sistema de Informação Geográfica (Geographic Information System)
GPW	Referido como dados populacionais (Gridded Population of the World)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEA	Instituto Estadual do Ambiente do Estado de Rio de Janeiro
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
JAXA	Agência de Exploração Espacial do Japão (Japan Aerospace Exploration Agency)
JICA	(Japan International Cooperation Agency)
MIDR	Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional
NASA	Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço dos Estados Unidos (National Aeronautics and Space Administration)
NBR	Norma técnica brasileira
QGIS	Quantum GIS
SSPs	(Shared Socio-economic Pathways)
SUS	Sistema Único de Saúde
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UTM	Universal Transversa de Mercator

Apresentação

Esta apresentação de exemplos é um produto desenvolvido pelo Projeto de Aprimoramento da Capacidade Técnica em Medidas Estruturaia contra Movimentos Gravitacionais de Massa com Foco na Construção de Cidades Resilientes – Projeto Sabo, foi elaborada com o objetivo de servir como um recurso prático para referência dos executores das obras para prevenção e retenção de fluxos de detritos em áreas de alto risco de ocorrência de desastres deflagrados por esse fenômeno no Brasil.

No Projeto Sabo, foram executados projetos-piloto para a construção de duas barreiras sabo nos municípios de Nova Friburgo e Teresópolis, no estado do Rio de Janeiro, região atingida por fluxos de detritos devastadores, deflagrados pelas fortes chuvas de janeiro de 2011. Esta Apresentação de Exemplos compilou as etapas de planejamento, projeto de engenharia e execução das obras das barreiras sabo, organizando de forma detalhada a sequência das atividades de fato realizadas e seus respectivos resultados. Alem disso, sistematizou a itemização dos documentos elaborados, bem como a ordem dos procedimentos administrativos imprescindíveis para contruir as barreiras sabo. Espera-se que o uso desta Apresentação de Exemplos conduza à ampla difusão das estruturas para prevenção e retenção de fluxos de detritos nas áreas com alto risco de ocorrência desse tipo de destastre por todo o território brasileiro, culminando no aumento dos investimento em prevenção de desastres como destaca do Marco de Sendai.

Parte 1 Seleção dos talvegues para os projetos-piloto

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 1 Seleção dos talvegues para os projetos-piloto

Sumário

Parte 1 – Seleção dos talvegues para os projetos-piloto

Capítulo 1 Mapeamento de perigo para identificar talvegues que precisam de estruturas de retenção de fluxo de detritos 1-1

1.1 Etapas de análise 1-1

1.2 Identificação de talvegues com probabilidade de ocorrência de fluxo de detritos 1-1

1.2.1 Elaboração do mapa topográfico 1-1

1.2.2 Identificar o veio dos canais e elaborar o mapa do sistema hídrico 1-3

1.2.3 Declividade dos vales de limites das bacias 1-3

1.3 Delimitar a abrangência da área dos danos decorrentes dos fluxos de detritos (área de perigo) 1-4

1.4 Elencar os talvegues com maior nível de prioridade para obras de retenção de fluxos de detritos com base na quantidade de alvos de interesse existentes dentro da área de perigo 1-5

1.5 Síntese das atividades 1-6

1.6 Testes e validação do mapeamento de perigo para identificar talvegues que precisam de estruturas de retenção de fluxo de detritos 1-6

Capítulo 2 Listar as localidades que precisam de obras para retenção de fluxos de detritos 2-1

2.1 Seleção dos talvegues com alto nível de prioridade para a implementação de obras para a retenção de fluxos de detritos 2-1

2.1.1 Cálculo dos ativos contidos na área de perigo 2-1

2.1.2 Identificar os talvegues com alto nível de prioridade utilizando o desvio padrão. 2-1

2.1.3 Apoio à seleção de área-alvo para a implementação dos projetos-pilotos 2-2

Capítulo 3 Definição da área dos projetos-piloto 3-1

CAPÍTULO 1 MAPEAMENTO DE PERIGO PARA IDENTIFICAR TALVEGUES QUE PRECISAM DE ESTRUTURAS DE RETENÇÃO DE FLUXO DE DETRITOS

1.1 Etapas de análise

A referida metodologia de mapeamento de perigo para identificar talvegues que precisam de estruturas de retenção de fluxo de detritos tem como objetivos: identificar os talvegues que necessitam de obras para retenção de fluxos de detritos e elencá-los por nível de prioridade. A análise é feita seguindo as etapas descritas abaixo.

A) Identificação de talvegues com probabilidade de ocorrência de fluxo de detritos

B) Delimitar a abrangência da área dos danos (área de perigo) decorrentes dos fluxos de detritos

C) Elencar os talvegues com maior nível de prioridade para obras de retenção de fluxos de detritos com base na quantidade de alvos de interesse existentes dentro da área de perigo

1.2 Identificação de talvegues com probabilidade de ocorrência de fluxo de detritos

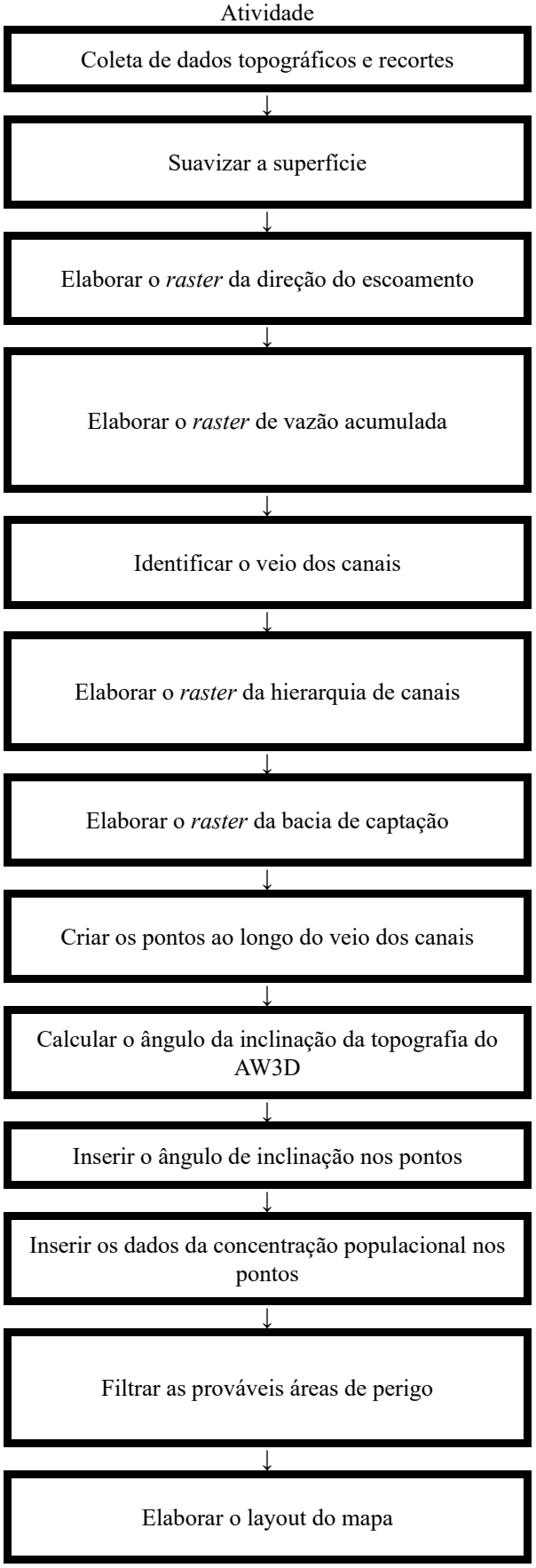
1.2.1 Elaboração do mapa topográfico

A fim de que o município possa realizar o mapeamento de perigo com baixo custo, adotou-se uma metodologia que utiliza o software QGIS, com Sistema de Informação Geográfica -SIG gratuito. Os especialistas desenvolveram a metodologia de mapeamento de perigo para identificar talvegues que precisam de estruturas de retenção de fluxo de detritos utilizando o ArcGIS e a contraparte transferiu-a para o QGIS e concluiu o método.

No GIS foram utilizados dados disponibilizados gratuitamente. Os dados topográficos utilizados foram os da Agência de Exploração Espacial do Japão - Jaxa, que disponibiliza dados de elevação digital de todo o globo terrestre com a resolução de 30m, por diante AW3D, com os quais foi elaborada base topográfica em escala de 1/25000 e curvas de nível com espaçamento de 5m, tendo como modelo regiões de Nova Friburgo e Teresópolis, ambas no Rio de Janeiro.

A figura 1.2.1 apresenta o fluxograma das análises que compõem o mapeamento de perigo para identificar talvegues que precisam de estruturas de retenção de fluxo de detritos. Dentre as atividades do fluxograma, descrevem-se os pontos-chave abaixo:

Figura 1.2.1 Fluxograma das análises do mapeamento de perigo para identificar talvegues que precisam de estruturas de retenção de fluxo de detritos

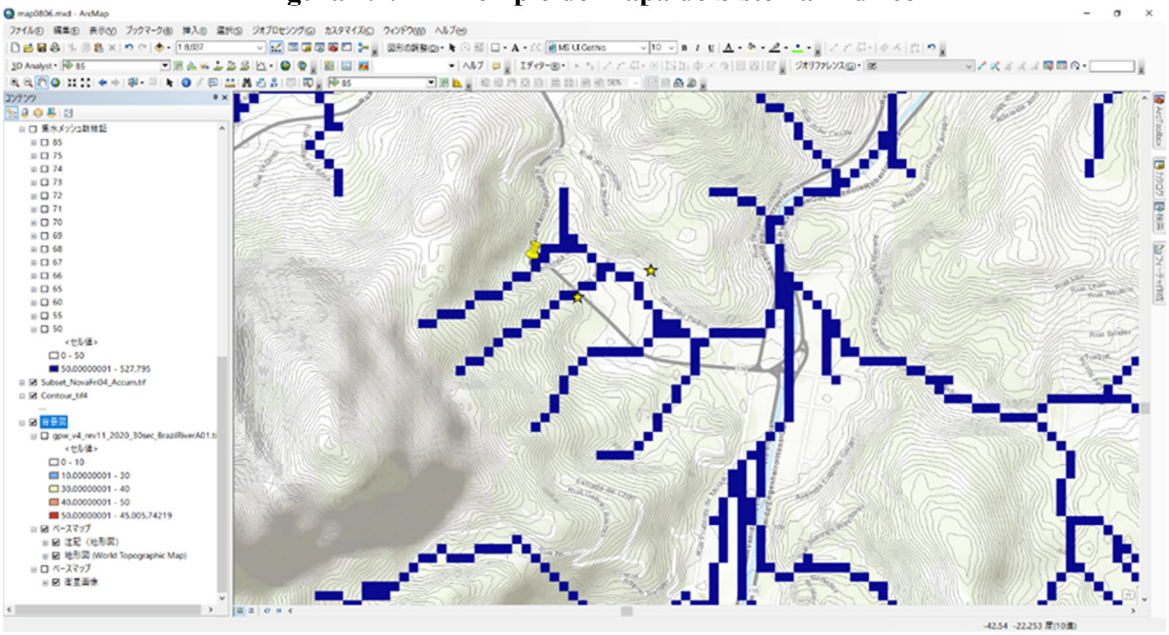


1.2.2 Identificar o veio dos canais e elaborar o mapa do sistema hídrico

Através da "Análise da rede fluvial e topografia de vale" do ArcGis, foram identificados os veios dos canais e confeccionou-se o mapa do sistema hídrico. A partir da malha de elevação do AW3D, analisou-se a direção do escoamento de cada pixel, calculou-se a vazão acumulada (quantidade de pixels) do influxo em cada pixel, considerando que aquele em que o limiar da vazão acumulada é excedido configura talvegue, linha de drenagem, criando assim o sistema hídrico. Em termos práticos, estabeleceu-se como ponto de início dos canais de 1a ordem, conforme a definição de Horton, utilizando o limiar de 72 pixels de contribuição.

A partir daí foi possível identificar os talvegues com área de bacia de contribuição maior que 0,06 km2, condição que se aplica à grande parte dos talvegues com probabilidade de ocorrência de fluxo de detritos. Vale destacar que quando o limiar da vazão acumulada diminui, mais vales podem ser identificados, mas os pontos de início e de confluência ficam imprecisos. Por outro lado, quando aumenta, surgem falhas na identificação de talvegues com probabilidade de ocorrência de fluxo de detritos. Considerando esses aspectos, definiu-se o limiar em 72 pixels.

Figura 1.2.2 Exemplo de Mapa do Sistema Hídrico



1.2.3 Declividade dos vales de limites das bacias

A dinâmica dos fluxos de detritos varia conforme a inclinação longitudinal dos vales, motivo pelo qual calcula-se a inclinação longitudinal do vale (α), os trechos são divididos nas 4 categorias, abaixo. Em seguida, configurou-se os limites da bacia tendo como base os pontos de confluência entre os talvegues.

A) $30° \leqq \alpha$: local da geração da ruptura de encosta que evolui para fluxo de detritus

B) $10° < \alpha \leqq 30°$: trecho de escoamento do fluxo de detritos

C) $2° < \alpha \leqq 10°$: trecho de deposição do fluxo de detritos

D) $\alpha < 2°$: trecho de arraste

Figura 1.2.3 Exemplo de declividade dos vales

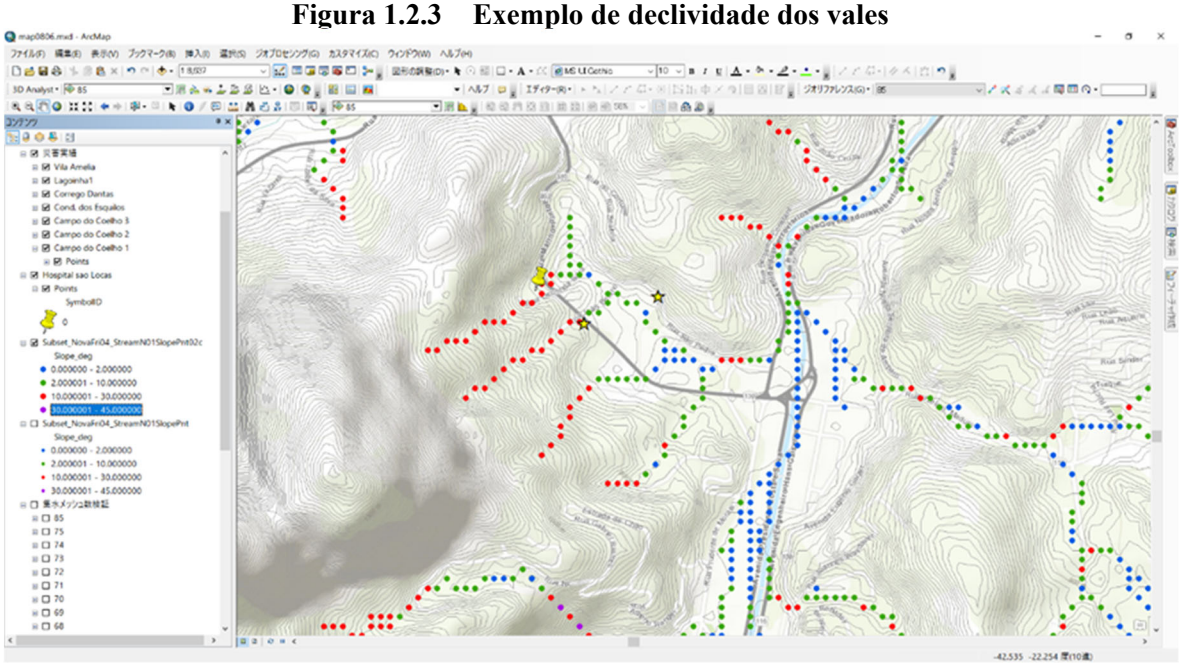
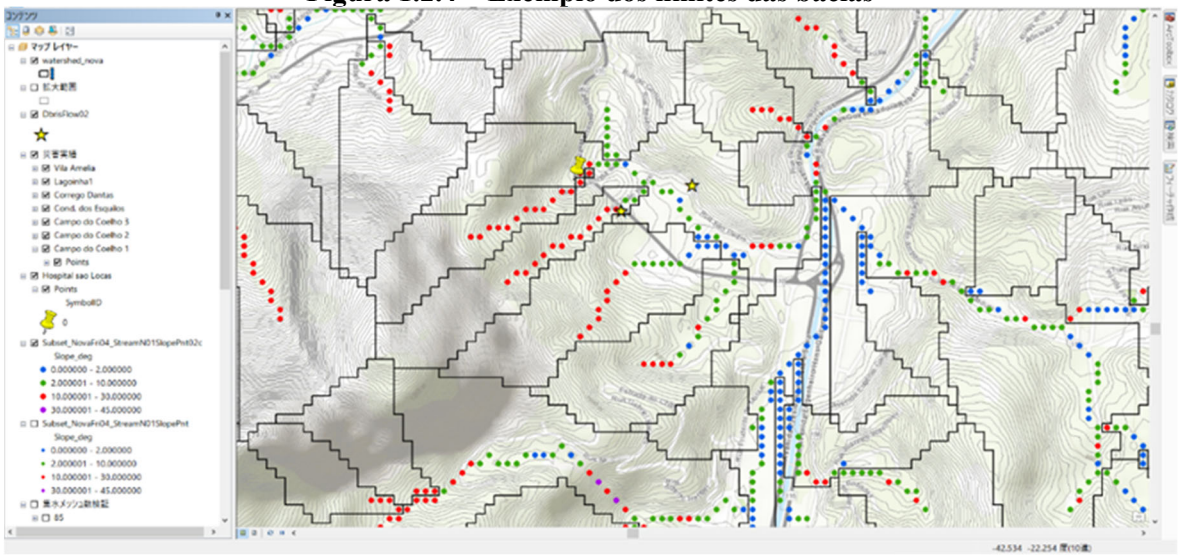


Figura 1.2.4 Exemplo dos limites das bacias



1.3 Delimitar a abrangência da área dos danos decorrentes dos fluxos de detritos (área de perigo)

O Manual de Planejamento de Intervenções para Fluxo de Detritos desenvolvido no Gides, por diante, Manual Gides, é embasado no mapeamento de risco que prevê que o técnico, de posse da topografia detalhada, faça vistorias de campo em cada talvegue, estude a topografia e a geologia, tanto do vale, como da bacia a jusante, definindo assim a área de risco, apresenta alta precisão, porém demanda muito tempo até a delimitação. No mapeamento de perigo para identificar talvegues que precisam de estruturas de retenção de fluxo de detritos desenvolvido neste projeto, conforme o Manual Gides, foram estabelecidos os seguintes critérios para o sentido longitudinal das áreas de risco.

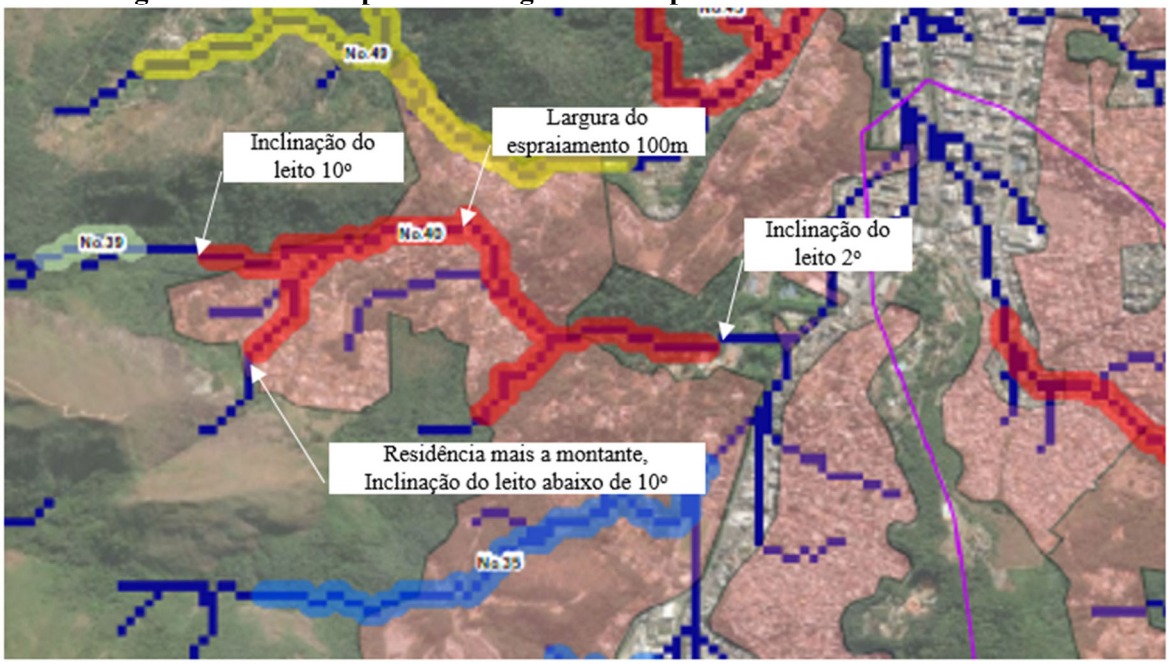
A) Existência de trecho de ocorrência de fluxo de detritos, ou seja, leito do canal com inclinação >10º, no interior dos limites da bacia hidrográfica;

B) Existência de trecho com inclinação de leito entre 10 e 2 graus, ou seja, a partir do início do espraiamento do fluxo de detritos até o final de sua deposição e ainda a existência de alvos de interesse, como residências e outros, nessas proximidades.

Por outro lado, a abrangência do espraiamento no sentido transversal da área de perigo, cuja topografia detalhada seria, originalmente, considerada e a delimitação realizada a cada talvegue, nesse mapeamento, que restringe seu foco apenas em identificar os talvegues que necessitam de obras para a retenção de fluxos de detritos, considerou-se as especificidades da topografia das planícies fluviais nas regiões montanhosas do Brasil para definir a largura do espraiamento do fluxo de detritos. Foi automatizada a configuração de uma largura única para o espraiamento ao longo do canal, sendo 50m para a direta e 50 m para a esquerda, contados a partir da linha central do curso d'água, totalizando 100 m.

Vale destacar que ao elaborar o planejamento de intervenções para fluxo de detritos nos talvegues identificados pelo mapeamento de perigo para identificar talvegues que precisam de estruturas de retenção de fluxo de detritos é necessário definir a área de espraiamento, através da simulação de espraiamento de fluxos de detritos, etapa realizada separadamente.

Figura 1.3.1 Exemplo de abrangência do espraiamento do fluxo de detritos



1.4 Elencar os talvegues com maior nível de prioridade para obras de retenção de fluxos de detritos com base na quantidade de alvos de interesse existentes dentro da área de perigo

Calculadas as quantidades de escolas, hospitais e moradias contidos na área de perigo de cada talvegue identificado por meio do passo 1.3, obtém-se cada um dos valores de desvio. Os talvegues que apresentaram valores totais particularmente maiores foram selecionados como talvegues de alta prioridade para obras preventivas.

Quando não houver dados da localização das moradias, utilizam-se os dados de concentração populacional próprios de cada prefeitura e, a partir da população contida no polígono de espraiamento, procede-se a estimativa do número de moradias (cálculo realizado considerando a média de 4,2 pessoas por habitação). Em substituição aos dados populacionais, para os casos em que a prefeitura não dispõe desses, obtém-se os dados estimativos da concentração populacional (Global 1-km Downscaled Population Base Year and Projection Grids Based on the SSPs, v1.01) divulgados

gratuitamente pela Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço dos Estados Unidos - Nasa, com resolução de malha de 1km. Pode-se elencar, conforme abaixo, os motivos de adotar edificações residenciais, hospitais e escolas como indicadores da avaliação do nível de prioridade.

A) Edificações: a estrutura para retenção de fluxos de detritos tem como objetivos proteger as vidas humanas que habitam as moradias, bem como o patrimônio ali existente.

B) Hospitais e escolas: são locais onde as pessoas se abrigam nos momentos de desastres; garantir a estrutura médico-hospitalar para o atendimento emergencial para os atingidos pelos desastres.

1.5 Síntese das atividades

No conjunto das atividades do trabalho do mapeamento de perigo para identificar talvegues que precisam de estruturas de retenção de fluxo de detritos, a mais demorada é a criação dos polígonos do espraiamento do fluxo de detritos que demanda a leitura da topografia. As áreas não habitadas ou com concentração populacional extremamente baixa não sofrerão danos decorrentes dos fluxos ou esses danos serão muito pequenos, consequentemente a necessidade de obras de prevenção de fluxos de detritos também será baixa.

Quando for preciso reduzir o tempo laboral dedicado ao mapeamento de perigo para identificar talvegues que precisam de estruturas de retenção de fluxo de detritos, pode-se considerar a exclusão do escopo do trabalho as áreas que estiverem fora do perímetro urbano. Neste projeto, as regiões montanhosas com poucos habitantes, zonas de pasto e áreas que abrigam poucos ativos foram consideradas como baixo nível de prioridade para projetos. Utilizando os dados estimativos da concentração populacional divulgados pela Nasa, ao excluir as áreas com população inferior a 50 pessoas/km2, foi possível reduzir o tempo de trabalho.

1.6 Testes e validação do mapeamento de perigo para identificar talvegues que precisam de estruturas de retenção de fluxo de detritos

O mapeamento de perigo para identificar talvegues que precisam de estruturas de retenção de fluxo de detritos, tal como orienta a metodologia acima, foi realizado em Nova Friburgo. A sua comparação com o histórico dos fluxos de detritos ocorridos no desastre de 01/2011, permitiu confirmar a validade do método do mapeamento.

Os dados referentes ao histórico das ocorrências de fluxo de detritos foram compostos pelas informações de 9 talvegues, cedidas pelo próprio município, tabela 1.6.1, e de outros 18 talvegues, cujos dados foram extraídos do banco de dados de desastres da CPRM, tabela 1.6.2.

Tabela 1.6.1 Talvegues onde ocorreram fluxos de detritos em Nova Friburgo (1)

Nome do talvegue	Latitude	Longitude	Área da bacia (km^2)
Campo do Coelho 1	22°13’ 35.76” S	42°38’ 43.84” W	0,179
Campo do Coelho 2	22°14’ 23.54” S	42°39’ 14.98” W	0,201
Campo do Coelho 3	22°17’ 22.90” S	42°42’ 02.68” W	0,843
Cond dos Esquilos	22°14’ 53.26” S	42°35’ 40.82” W	0,072
Lagoinha	22°16’ 46.58” S	42°32’ 57.12” W	0,31
Córrego D’Antas	22°15’ 25.45” S	42°33’ 38.21” W	1,45
Vila América	22°16’ 54.26” S	42°32’ 25.37” W	0,52
São Lucas	22°15’ 31.90” S	42°32’ 20.20” W	0,15
Duas Pedras	22°15’ 35.35” S	42°32’ 16.44” W	0,12

Fonte: Município de Nova Friburgo

Tabela 1.6.2 Talvegues onde ocorreram fluxos de detritos em Nova Friburgo (2)

No.	Latitude	Longitude	Município	Bairro	Mortos	Feridos	Fenômeno
SN-01	-22,2746389	-42,5301667	Nova Friburgo	Vilage	0	0	Fluxo de detritos
SN-02	-22,2747222	-42,5306944	Nova Friburgo	Vilage	1	0	Fluxo de detritos
SN-03	-22,2746111	-42,5325278	Nova Friburgo	Vilage	8	0	Fluxo de detritos
SN-04	-22,2789444	-42,5305833	Nova Friburgo	Vilage	35	0	Fluxo de detritos
SN-05	-22,2787222	-42,5318333	Nova Friburgo	Vilage	5	3	Fluxo de detritos
SN-06	-22,2593333	-42,5372222	Nova Friburgo	Duas Pedras	3	0	Fluxo de detritos
SN-07	-22,2585556	-42,5350556	Nova Friburgo	Duas Pedras	12	0	Fluxo de detritos
SN-08	-22,2524444	-42,5467222	Nova Friburgo	Campo do Coelho	7	0	Fluxo de detritos
SN-11	-22,2712222	-42,6001944	Nova Friburgo	Campo do Coelho	5	1	Fluxo de detritos
SN-12	-22,2721111	-42,6095	Nova Friburgo	Campo do Coelho	0	0	Fluxo de detritos
SN-13	-22,2338889	-42,6409722	Nova Friburgo	Condomínio do Lago	17	9	Fluxo de detritos
SN-14	-22,2357778	-42,64375	Nova Friburgo	Condomínio do Lago	9	10	Fluxo de detritos
SN-15	-22,2392222	-42,5385833	Nova Friburgo	Santa Bernardete	3	2	Fluxo de detritos
SN-17	-22,2234722	-42,5541667	Nova Friburgo	Santa Bernardete	0	0	Fluxo de detritos
SN-18	-22,23925	-42,5369167	Nova Friburgo	Jardim Califórnia	18	0	Fluxo de detritos
SN-20	-22,2287222	-42,529	Nova Friburgo	Rosa Branca	0	0	Fluxo de detritos
SN-21	-22,2220556	-42,5252778	Nova Friburgo	Floresta	42	0	Fluxo de detritos

Fonte: CPRM: Sistema de Cadastro de Deslizamentos e Inundações

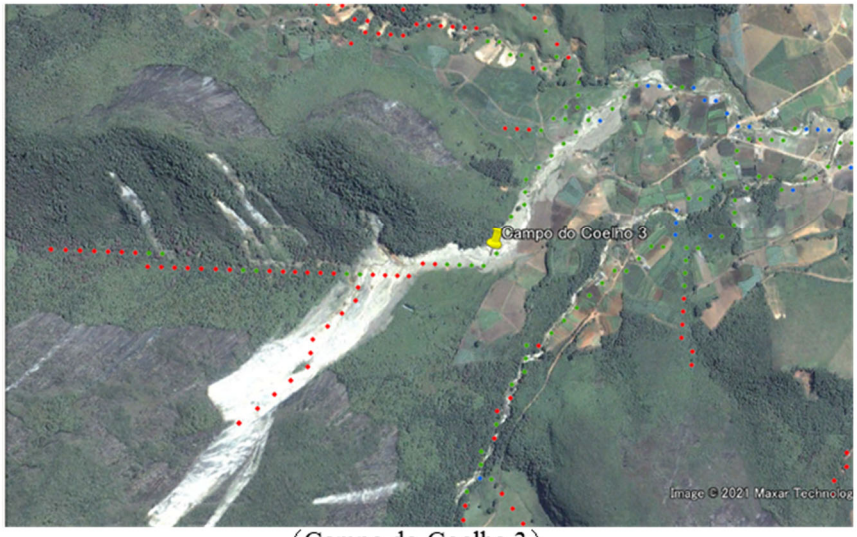
Os resultados do mapeamento de perigo para identificar talvegues que precisam de estruturas de retenção de fluxo de detritos elaborado em Nova Friburgo confirmaram que foi possível identificar os talvegues listados na tabela 1.6.1. Por outro lado, dentre os talvegues relacionados na tabela 1.6.2, apenas foram identificados o SN-06, SN-11 e SN-17. Ao verificar as imagens de satélite, todos os talvegues não identificados no mapeamento de perigo para identificar talvegues que precisam de estruturas de retenção de fluxo de detritos não apresentam topografia de vale, ficando claro que rupturas de encosta foram cadastradas no banco de dados como fluxos de detritos.

A partir dessas validações, a metodologia de mapeamento de perigo para identificar talvegues que precisam de estruturas de retenção de fluxo de detritos, desenvolvida neste projeto, além de barata e simples, pôde-se confirmar que também é eficaz na identificação de talvegues que requerem a implantação de estruturas para retenção de fluxos de detritos.

Figura 1.6.1 Exemplo de sobreposição do resultado do mapeamento de perigo para identificar talvegues que precisam de estruturas de retenção de fluxo de detritos com as ocorrências de fluxos de detritos



（Campo do Coelho 1）



（Campo do Coelho 3）

CAPÍTULO 2 LISTAR AS LOCALIDADES QUE PRECISAM DE OBRAS PARA RETENÇÃO DE FLUXOS DE DETRITOS

2.1 Seleção dos talvegues com alto nível de prioridade para a implementação de obras para a retenção de fluxos de detritos

Utilizando a metodologia de mapeamento de perigo para identificar talvegues que precisam de estruturas de retenção de fluxo de detritos descrita no capítulo 1, foram identificados os talvegues que requerem obras de prevenção de fluxos de detritos nos municípios de Nova Friburgo e Teresópolis, ambas no estado do Rio de Janeiro, nos quais foi definida também a abrangência (área de perigo) dos danos decorrentes desse fenômeno. Em seguida, utilizando os dados estatísticos da população, fornecidos pelo lado brasileiro e os dados da localização dos alvos de interesse (hospitais, escolas etc.), calculou-se a quantidade de ativos existentes dentro da área de perigo, ou seja, quantidade de casas, hospitais e escolas. Dessa forma, foram selecionados cerca de 10 talvegues com prioridade mais alta. Este item descreve o método de seleção dos talvegues com alto nível de prioridade para a implementação de obras para a retenção de fluxos de detritos.

2.1.1 Cálculo dos ativos contidos na área de perigo

Inicialmente, calcula-se a quantidade alvos de interesse contidos na área de perigo, focando em escolas, hospitais e moradias, que compõem os indicadores de avaliação do nível de prioridade.

2.1.2 Identificar os talvegues com alto nível de prioridade utilizando o desvio padrão.

Inicialmente, sobrepõem-se as residências, hospitais e escolas nas áreas de perigo delimitadas pelo mapeamento de perigo para identificar talvegues que precisam de estruturas de retenção de fluxo de detritos, utilizando o GIS. Em seguida, é feita a contagem dessas edificações. Usando o desvio padrão obtido por meio da fórmula abaixo para cada tipo de alvo de interesse, escolas, hospitais e residências contidos na área de perigo, calculou-se o valor total.

$$T_i = \frac{10(x_i - \mu_x)}{\sigma_x} + 50$$

$$\mu_x = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \mu_x)^2} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} {x_i}^2 - {\mu_x}^2}$$

N: tamanho do dado
Xi:ᵢ: valor de cada dado
μ_x : média
σ_x : desvio padrão

Ao elencar por ordem de grandeza os valores totais do desvio padrão calculados a cada talvegue, o desvio padrão foi especialmente grande até o 8o talvegue de Nova Friburgo e até o 7o de Teresópolis, vide figuras 2.1.1 e 2.1.2 respectivamente, nos quais existem muitas edificações residenciais, hospitais e escolas nas áreas de perigo, logo entende-se que o nível de prioridade para implementação de obras para retenção de fluxos de detritos é alto.

Figura 2.1.1 Ordenamento e valor total do desvio padrão por tipo de ativo - Nova Friburgo

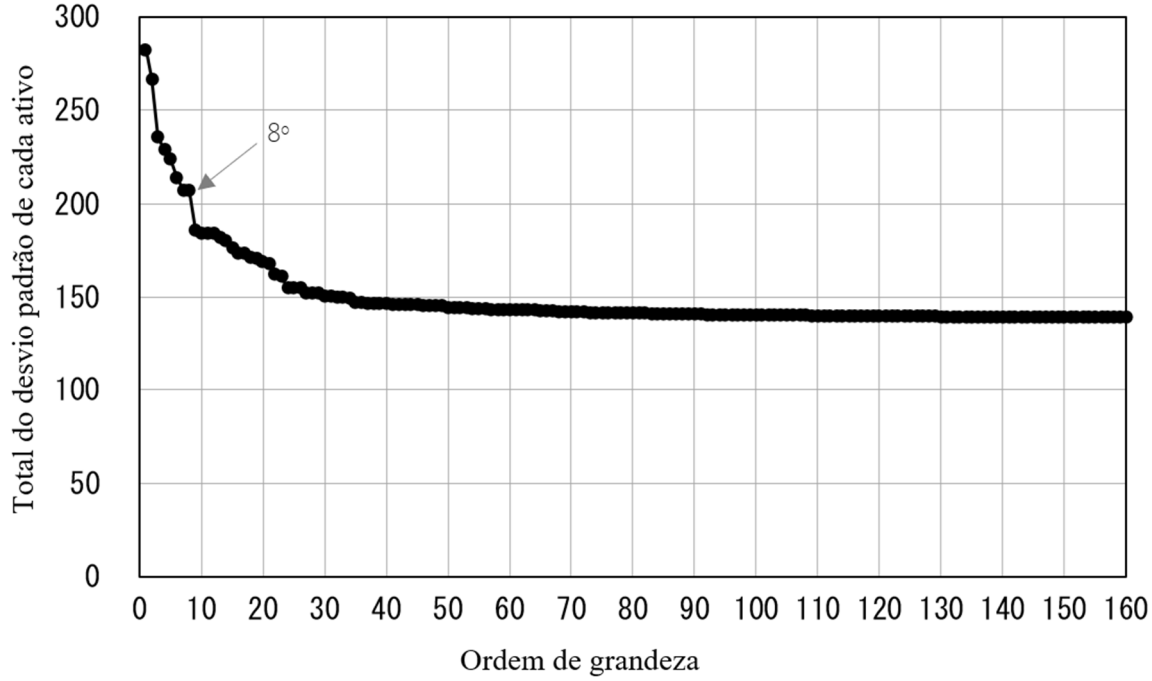
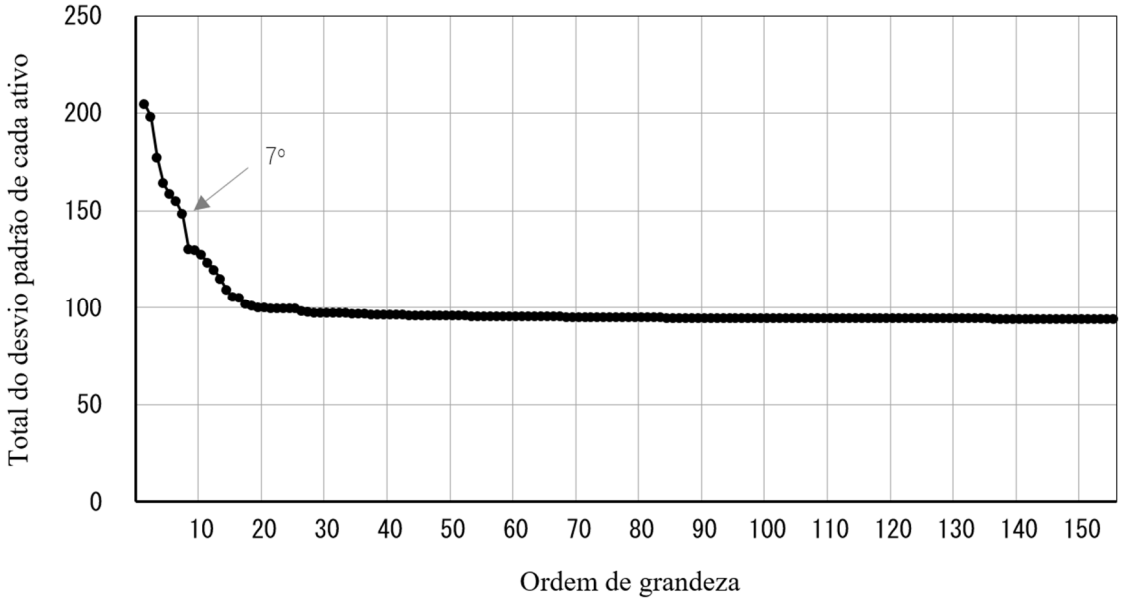


Figura 2.1.2 Ordenamento e valor total do desvio padrão por tipo de ativo – Teresópolis



2.1.3 Apoio à seleção de área-alvo para a implementação dos projetos-pilotos

A partir de levantamentos sobre os desastres decorrentes de movimentos de massa (histórico de desastres), da precipitação no momento da ocorrência do desastre, situação dos danos, existência ou não de obra de prevenção de desastres, existência ou não de mapa de risco ou plano de intervenções para fluxos de detritos, os especialistas auxiliaram na elaboração da lista reduzida de talvegues prioritários, acima mencionada, apoiando a seleção das áreas-alvo dos projetos-piloto. Os resultados

dos levantamentos realizados em Nova Friburgo e Teresópolis estão reunidos nas tabelas 2.1.1 e 2.1.2, respectivamente. Nos talvegues em que não há histórico de ocorrência de desastre de fluxo de detritos, pode-se entender também que a frequência de ocorrências no futuro seja relativamente baixa. Por outro lado, em talvegues nos quais já tenha ocorrido desastre decorrente de fluxos de detritos, há a possibilidade de ocorrer novamente a mesma chuva deflagradora, sendo que esse volume de chuva pode desencadear novamente o processo, há uma forte demanda social para evitar que os desastres voltem a acontecer.

No talvegue do Hospital São Lucas em Nova Friburgo, No.104, ocorreram dois desastres por fluxos de detritos no período de 8 anos. Conforme os dados observados no Posto Cascatinha do Cônego, a chuva deflagradora do desastre de janeiro de 2011 foi de 109 mm em 24 h. Inspeções de campo confirmaram que ainda há de depósito de material no leito a montante, oriundo de ruptura nas margens do talvegue, do qual pode-se compreender que a possibilidade de o fluxo de detritos se repetir é alta. Caso uma obra preventiva eficaz já tivesse sido implementada, o risco de fluxos de detritos diminuiria, mas foi instalado um muro de contenção nos arredores do Hospital São Lucas, localizado próximo da saída do vale do referido talvegue, como objetivo de evitar que a lama adentre o hospital, como ocorreu em 2011. A estrutura, tanto pelo aspecto da funcionalidade, como pelo aspecto da resistência, não pode ser considerada uma estrutura para retenção de fluxos de detritos. Em adição a esses fatores, para essa localidade já havia sido elaborado o plano de estruturas para retenção de fluxos de detritos durante o Projeto Gides, antecessor a este, há orçamento garantido para executar as obras, o Hospital se manifestou claramente para a prefeitura que disponibilizará gratuitamente o terreno para a execução das obras. Ao ponderar amplamente todos esses fatores, confirmados também pelo governo federal, em Nova Friburgo, o No.104, talvegue São Lucas foi proposto como candidato número 1 para receber o projeto-piloto.

No talvegue do Córrego do Príncipe, em Teresópolis, o desastre de 01/2011 vitimou mais de 100 pessoas, configurando a maior catástrofe por fluxos de detritos ocorrida no município. A chuva deflagradora do desastre foi de 264 mm em 24 h, volume que é relativamente grande. Inspeções de campo confirmaram que ainda há de depósito de blocos carreados no desastre de 01/2011 no leito a montante, a área da bacia é relativamente grande, com 3,19 km2, motivo pelo qual pode-se compreender que é alta a possibilidade de o fluxo de detritos se repetir. Após o evento de 2011, o Instituto Estadual do Ambiente do Estado de Rio de Janeiro - INEA instalou 2 barreiras dinâmicas nas proximidades da saída do vale do referido talvegue. Pode-se esperar que as barreiras dinâmicas retenham emergencialmente parte do fluxo de detritos, porém são estruturas frágeis, que retêm pouco volume, sendo necessário aumentar o nível de segurança para fluxos de detritos com a implementação de estrutura permanente. Por esses aspectos, em Teresópolis, o talvegue No.6, Córrego do Príncipe, foi proposto como candidato número 1 para receber o projeto-piloto.

Tabela 2.1.1 Histórico dos desastres nos talvegues com alto nível de prioridade - Nova Friburgo

	Nº	Nome do talvegue	a)-2 Alto risco de fluxo de detritos				a)-1 Danos socioeconômicos				b) Mapa de Risco	c) plano de intervenções	d) orçamento para obra
			Ano do desastre	Chuva deflagradora	Mortos	Obras de prevenção	Moradias	Hospitais	Escolas	Desvio padrão total			
1	73	Anchieta	2011	109mm/d	Não	Não	31	3	2	282,15	feito	Não	garantido
2	40		-	-	-	Não	255	0	4	266,68	feito	Não	garantido
3	55	América	2011	109mm/d	Não	Não	129	1	2	235,34	feito	Não	garantido
4	68		2011	109mm/d	Não	Não	29	2	1	229,17	feito	Não	garantido
5	52		-	-	-	Não	246	0	2	223,89	feito	Não	garantido
6	2		-	-	-	Não	308	0	1	214,19	feito	Não	garantido
7	104	São Lucas	2002 2011	122mm/d 109mm/d	20 Sem info	Contenção *1	88	1	1	207,52	feito	feito	garantido
8	108		-	-	-	Não	87	1	1	207,35	feito	Não	garantido

*1 Não havia obra na ocasião do desastre de 01/2011

Tabela 2.1.2 Histórico dos desastres nos talvegues com alto nível de prioridade - Teresópolis

	Nº	Nome do talvegue	a)-2 Alto risco de fluxo de detritos				a)-1 Danos socioeconômicos				b) Mapa de Risco	c) plano de intervenções	d) orçamento para obra
			Ano do desastre	Chuva deflagradora	Mortos	Obras de prevenção	População *1	Hospitais	Escolas	Desvio padrão total			
1	1		-	-	-	Não	970	0	2	204,62	feito	Não	garantido
2	2		-	-	-	Não	1597	0	1	198,02	feito	Não	garantido
3	3		-	-	-	Não	1119	0	1	177,08	feito	Não	garantido
4	4		-	-	-	Não	42	0	2	163,97	feito	Não	garantido
5	5		-	-	-	Não	694	0	1	158,47	feito	Não	garantido
6	6	Príncipe	2011	264mm/d	>100	Barreira dinâmica *3	605	0	1	154,57	feito	Não*2	garantido
7	7		-	-	-		1237	0	0	148,18	feito	Não	garantido

*1 Estimado a partir dos dados populacionais da Nasa, pois não foi possível obter informações das moradias
*2 Elaborado pelo projeto
*3 Não havia obra na ocasião do desastre de 01/2011

CAPÍTULO 3 DEFINIÇÃO DA ÁREA DOS PROJETOS-PILOTO

Ambos os talvegues apresentados em primeiro lugar como elegíveis foram selecionados pelos municípios após deliberação da administração pública local. A decisão do poder público local levou em cinsideração os fatores abaixo listados.

[Município de Nova Friburgo]

- **Evitar a recorrência de desastres**: trata-se de área atingida pelo desastre de 2011.
- **A importância do Hospital São Lucas**: trata-se de um hospital de referência para o municipio, tendo alta relevância no que se refere à prevenção de desastres.
- **Facilidade de garantir o terreno para as intervenções**: toda a área elegível para a construção da barreira sabo e parte da área provável para a via de acesso são de propriedade do próprio Hospital São Lucas, portanto não há grandes preocupações sobre a disponibilidade de uso do terreno.
- **Acessibilidade ao local elegível para a construção da barreira sabo**: há diversas rotas de acesso possíveis.

[Município de Teresópolis]

- **Evitar a recorrência de desastres**: trata-se de área atingida pelo desastre de 2011, na qual os danos humanos e materiais foram os maiores de todo o município.

Ressalta-se que a parte de oito meses após a definição do talvegue, em setembro de 2022, o proprietário do terreno solicitou que o local da barreira fosse transferido para jusante. Em função disso, as indefinições relacionadas à posição da barreira perduraram até dezembro de 2024. Fica o aprendizado de que ao realizar a análise do nível de prioridade dos talvegues que receberão obras de prevenção e retenção de fluxos de detritos, deve-se dedicar especial atenção sobre a facilidade degarantir o terreno para as intervenções.

Parte 2 Projeto-piloto no município de Nova Friburgo-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 2 Projeto-piloto no município de Nova Friburgo-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 Nova Friburgo 1-1

1.2 Antecedentes 1-2
1.2.1 Caracterização dos fluxos de detritos ocorridos na área em 2011 1-2
1.2.2 Fluxo de detritos do talvegue ao lado do Hospital São Lucas 1-5
1.2.3 Mapa de risco (perigo) 1-7

1.3 Características gerais da área de estudo 1-7
1.3.1 Localização 1-7
1.3.2 Características do talvegue 1-8
1.3.3 Geologia e solo 1-10
1.3.4 Vegetação 1-11
1.3.5 Uso do solo e instalações públicas 1-13

1.4 Referências básicas para o plano de obras 1-13
1.4.1 Área protegida 1-13
1.4.2 Ponto de referência do plano 1-14
1.4.3 Chuvas extremas 1-15
1.4.4 Porte do Projeto 1-19

1.5 Estimativa do volume total dos detritos do plano 1-20
1.5.1 Hierarquia de canais da bacia hidrográfica 1-20
1.5.2 Volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvegue (V_{dy1}) 1-21
1.5.3 Volume potencial de material transportável pela chuva dentro de um evento com determinado tempo de recorrência (V_{dy2}) 1-23
1.5.4 Volume de troncos carreados (V_w) 1-25
1.5.5 Volume total dos detritos do plano 1-26

1.6 Vazão-alvo do plano 1-26
1.6.1 Vazão que considera os sólidos carreados 1-26
1.6.2 Vazão de pico do fluxo de detritos 1-27
1.6.3 Análise de espraiamento do fluxo de detritos（HyperKANAKO） 1-28

1.7 Solução proposta para o caso estudado 1-30
1.7.1 Topografia 1-30
1.7.2 Avaliação da hipótese de não serem implantadas intervenções 1-31
1.7.3 Diretrizes adotadas na escolha das obras 1-33

1.8 Seleção das soluções de engenharia 1-34
1.8.1 Seleção do tipo de obra através do fluxograma 1-34
1.8.2 Comparação entre as obras de controle da ocorrência e de retenção 1-37
1.8.3 Comparação da barreira de retenção de fluxo de detritos 1-37

1.9 Decisão da posição 1-43

1.9.1 Escolha da melhor proposta 1-43
1.9.2 Análise do eixo da barreira 1-43
1.9.3 Elaborando o projeto básico 1-46
1.10 Recomendações para a implementação da solução 1-47
1.11 Referência bibliográfica 1-48

Capítulo 2 Projeto de engenharia das estruturas para prevenção e retenção de fluxos de detritos 2-1
2.1 Visão geral do projeto de engenharia 2-1
2.1.1 Tarefas executadas 2-1
2.1.2 Etapas do projeto de engenharia 2-1
2.1.3 Localização do talvegue 2-2
2.2 Levantamentos para a elaboração do projeto detalhado 2-3
2.2.1 Topografia 2-3
2.2.2 Levantamento geológico 2-5
2.2.3 Levantamento granulométrico 2-11
2.3 Condições do Projeto de Engenharia 2-13
2.3.1 Normas, publicações técnicas e unidades 2-13
2.3.2 Documentos de referência 2-13
2.3.3 Condições de projeto 2-13
2.3.4 Descrição da estrutura 2-15
2.3.5 Barreira principal 2-16
2.4 Projeto de engenharia detalhado da barreira sabo 2-17
2.4.1 Seção do vertedouro 2-17
2.4.2 Formato do corpo principal 2-23
2.4.3 Cálculo de estabilidade 2-25
2.4.4 Formato das asas 2-34
2.4.5 Calha de proteção de jusante 2-41
2.5 Projeto de engenharia da via de manutenção 2-47
2.5.1 Análise das rotas de acesso 2-47
2.5.2 Projeto de engenharia da via de manutenção 2-49
2.6 Desenhos do projeto 2-54
2.6.1 Barreira sabo 2-54
2.6.2 Via de manutenção 2-64
2.7 Aspectos que merecem especial atenção nos próximos projetos 2-79
2.7.1 Plano de posicionamento das instalações sabo 2-79
2.7.2 Levantamentos para a elaboração do projeto detalhado 2-81
2.7.3 Projeto de engenharia da barreira sabo 2-82
2.7.4 Projeto da via de manutenção 2-83

Capítulo 3 Execução das Obras de Barreira Sabo Impermeável e Estruturas Complementares 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 3-5
3.3 Ensecadeira 3-6

3.3.1 Vazão alvo 3-6
3.3.2 Posicionamento e tipos de soluções para o desvio do curso do rio 3-6
3.3.3 Dimensionamento do desvio do curso do rio 3-7
3.3.4 Problemas técnicos que surgiram durante a execução as obras e respectivas soluções 3-7
3.4 Escavação 3-8
3.4.1 Situação da escavação 3-8
3.4.2 Aspectos que receberam especial atenção durante a execução das obras 3-10
3.4.3 Problemas técnicos que surgiram durante a execução as obras e respectivas soluções 3-11
3.5 Obras em concreto 3-12
3.5.1 Traço do concreto, sua usinagem e transporte 3-12
3.5.2 Método de execução de cada etapa da concretagem 3-12
3.5.3 Ordem da concretagem 3-15
3.5.4 Cronograma de elevação das camadas 3-16
3.6 Execução de obras especiais 3-18
3.6.1 Drenos intrabarreira 3-18
3.6.2 Obras de estabilização das encostas 3-18
3.7 Medidas de segurança durante a execução das obras 3-19

CAPÍTULO 1 PLANO DE INTERVENÇÕES PARA RETENÇÃO DE FLUXOS DE DETRITROS

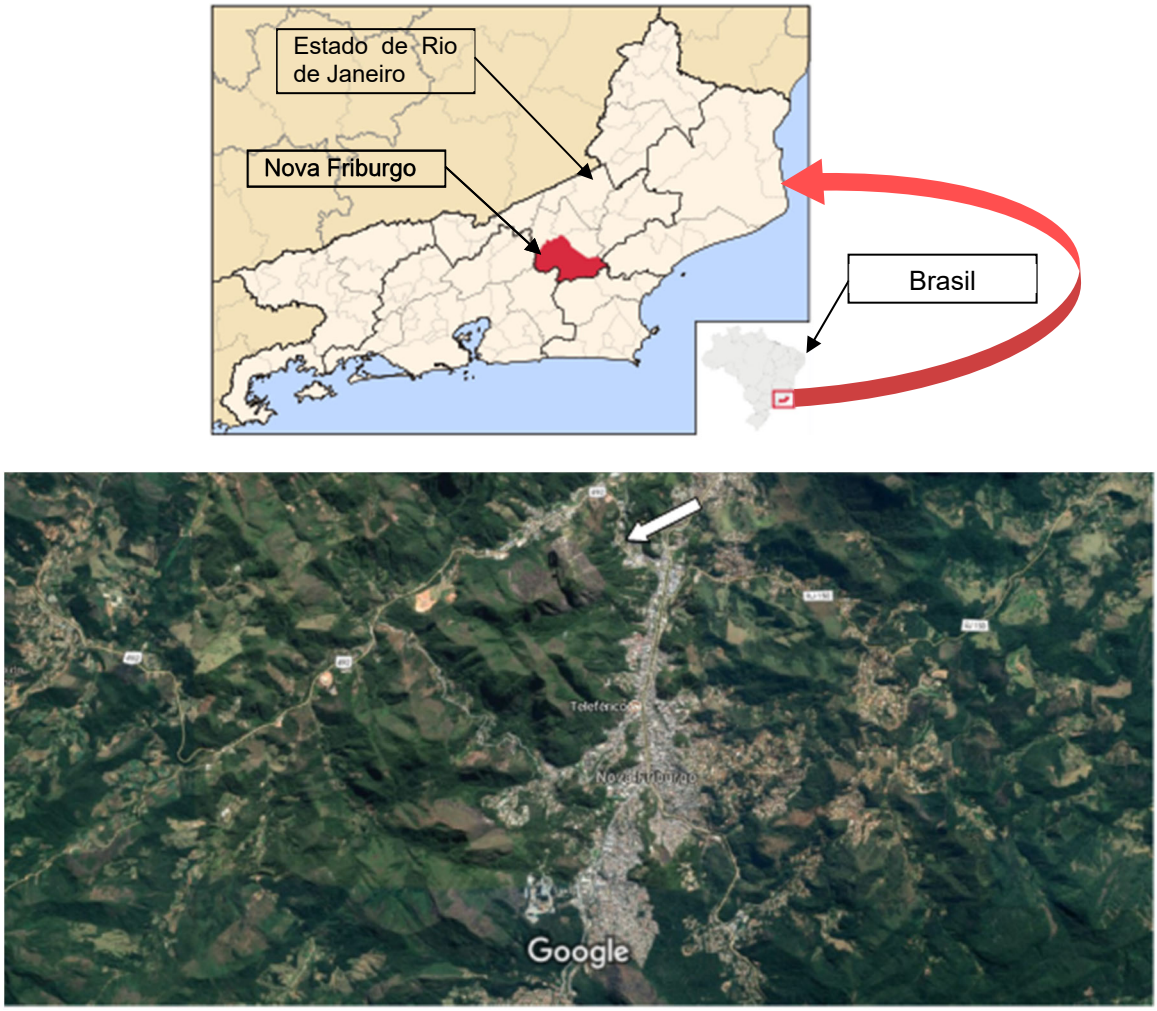
1.1 Localização e caracteríticas da área objeto do plano

1.1.1 Localização da área objeto do plano

Nova Friburgo é uma cidade brasileira do estado do Rio de Janeiro. Localiza-se no centro-norte do estado, na Mesorregião do Centro Fluminense, a 22º16'55" de latitude sul e 42º31'52" de longitude oeste, a uma altitude média de 985 metros, distando 136 km da capital fluminense. Ocupa uma área de 933.414 km².

A área-objeto se localiza à 4,5 km do centro da cidade de Nova Friburgo e a bacia hidrográfica onde ocorre os fluxos de detritos pertence ao Morro de Pedra Branca.

Figura 1.1.1 Área objeto do plano de intervenção, local onde se situa Hospital São Lucas.



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

1.1.2 Características da região de Nova Friburgo

A sua população, no dia 1 de agosto de 2010, de acordo com o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, era de 182.082 habitantes. As principais atividades econômicas são baseadas em: indústria metalúrgica, moda íntima, olericultura, caprinocultura e indústria (têxteis, vestuário e

turismo).

A precipitação média anual do período de 1961 a 1990, segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia, foi 1279,8 mm e o maior precipitação acumulada de 24 horas foi de 165,4 mm em 16 de dezembro de 1966.

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

A Figura 1.2.1 apresenta a encosta do Morro Duas Pedras, no mês de outubro de 2010, antes do evento das fortes chuvas dos dias 10 e 11 de janeiro de 2011. As intensas precipitações ocorridas deflagraram diversos fluxos que gerou severos danos destruindo moradias e instalações industriais. Apresenta-se na Figura 1.2.2 a encosta da ocorrência do evento de chuva citado. Observam-se cicatrizes deixadas na encosta com coloração esbranquiçada, tornando visível a trajetória de vários fluxos de detritos na área (cujos pontos de partida estão marcados com setas vermelhas). As setas em azul indicam a trajetória dos fluxos que seguiram em direção ao hospital São Lucas e a vertente que seguiu no sentido do bairro Córrego D'Antas.

Figura 1.2.1 Vista superior do Morro duas Pedras em 12/10/2010 – antes do evento



Fonte: Google Earth

Figura 1.2.2 Vista superior do Morro duas Pedras em 19/01/2011 – após o evento



Fonte: Google Earth

Portella et al. (2013) caracterizaram a formação do morro Duas Pedras por rochas graníticas do Proterozóico, pertencentes a suíte Serra dos Órgãos. Os autores indicaram que a face norte da escarpa rochosa possui cerca de 45º de inclinação, com cota máxima atingindo 1.360 m de altitude e cerca de 480 m de altura, sendo evidenciadas 2 famílias de fraturas perpendiculares entre si, com direção de 59° e 148º e mergulho subvertical, que interceptam juntas de alívio, formando blocos e lascas.

Pelizoni e Nunes (2015) descreveram que o movimento de massa se iniciou como uma ruptura planar no topo da encosta, em uma zona de fratura de alívio. As autoras explicam que a zona de iniciação do movimento se localizou entre as cotas 1.300 m e 1.278 m, com declividade média de

45º. Imediatamente abaixo desta zona, aflora a escarpa rochosa com declividade de 40 a 60° e com talvegue formado por 2 famílias de fraturas subverticias com mergulho para sudoeste, no qual o fluxo se deslocou, configurando a Zona de Transporte e Erosão. Neste ponto, parte da massa mobilizada se dirigiu no sentido da localidade de Córrego D'Antas e parte se deslocou no sentido do hospital São Lucas na vertente oposta do Morro Duas Pedras, configurando em cada uma das vertentes zonas de transporte/erosão e zonas de deposição. A Figura apresenta uma marcação da trajetória do fenômeno descrito indicando com a linha vermelha o trecho em comum de iniciação do fluxo e com as linhas amarelas e azul as vertentes deflagradas após o ponto de separação do fluxo inicialmente mobilizado.

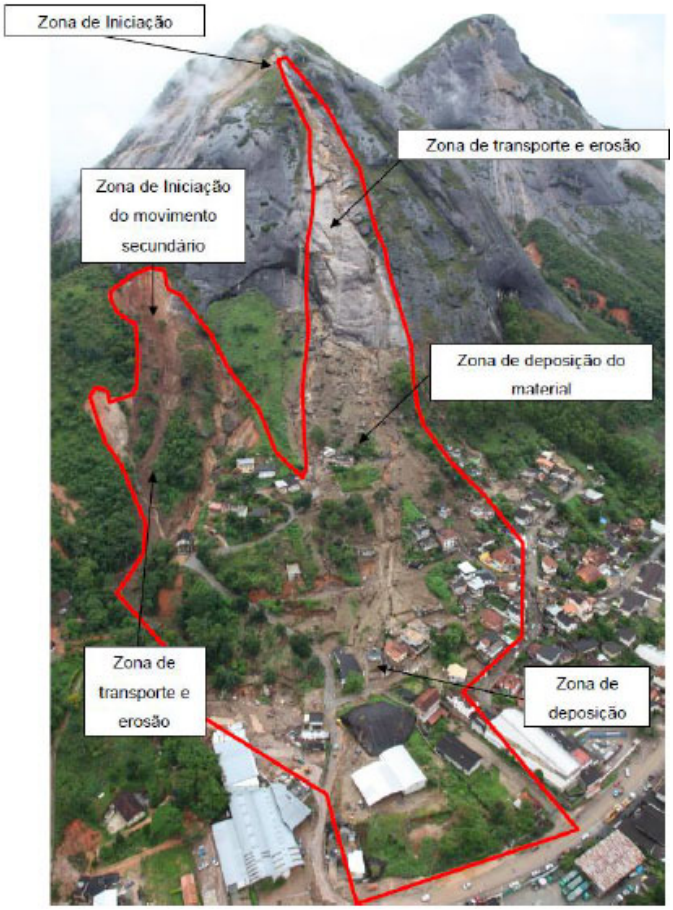
Figura 1.2.3 Caracterização do fluxo de detritos ocorrido na área



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

Tratando-se da vertente que se direcionou para o bairro Córrego D'Antas, Pelizoni e Nunes (2016) citam que a área estimada para a zona de deposição é cerca de 35.600 m², o qual teve um volume inicial de material colapsado de aproximadamente 500 m³. A Figura apresenta o local do evento com as identificações das zonas notáveis da trajetória do fluxo de detritos.

Figura 1.2.4 Zonas de iniciação, transporte e deposição do fluxo de detritos

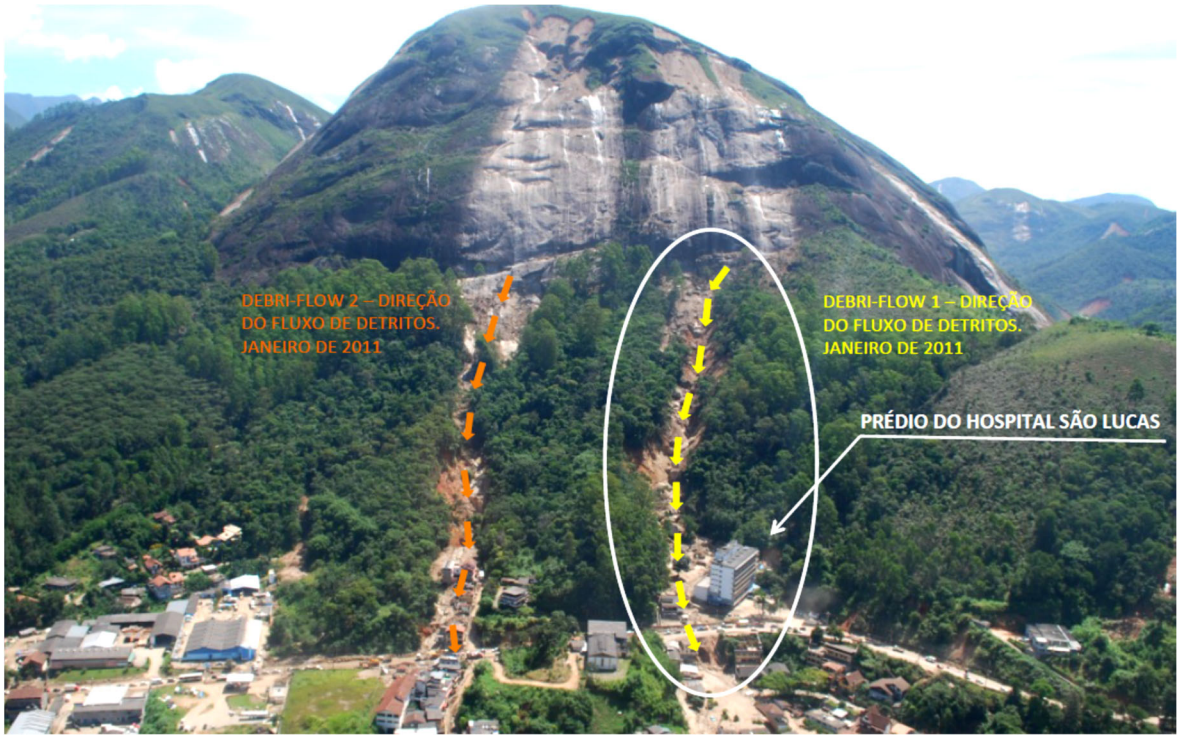


Fonte: Pelizoni e Nunes, 2016

1.2.2 Fluxo de detritos do talvegue ao lado do Hospital São Lucas

O fenômeno de fluxo de detritos ocorrido em janeiro de 2011, no talvegue ao lado do Hospital São Lucas, foi um grande desastre, causando mortes de mais de 20 pessoas. Na época, ainda não havia sido executada a obra para prevenção de fluxo de detritos.

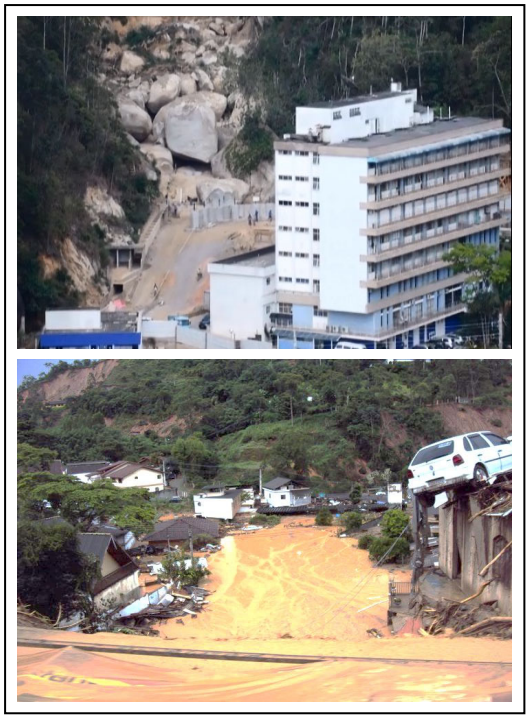
Figura 1.2.5 Vista aérea com a indicação de diversas cicatrizes referentes à fluxos de detritos ocorridos em Nova Frigurgo/RJ



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

Figura 1.2.6 Vista aérea de fluxos ocorridos em Nova Friburgo



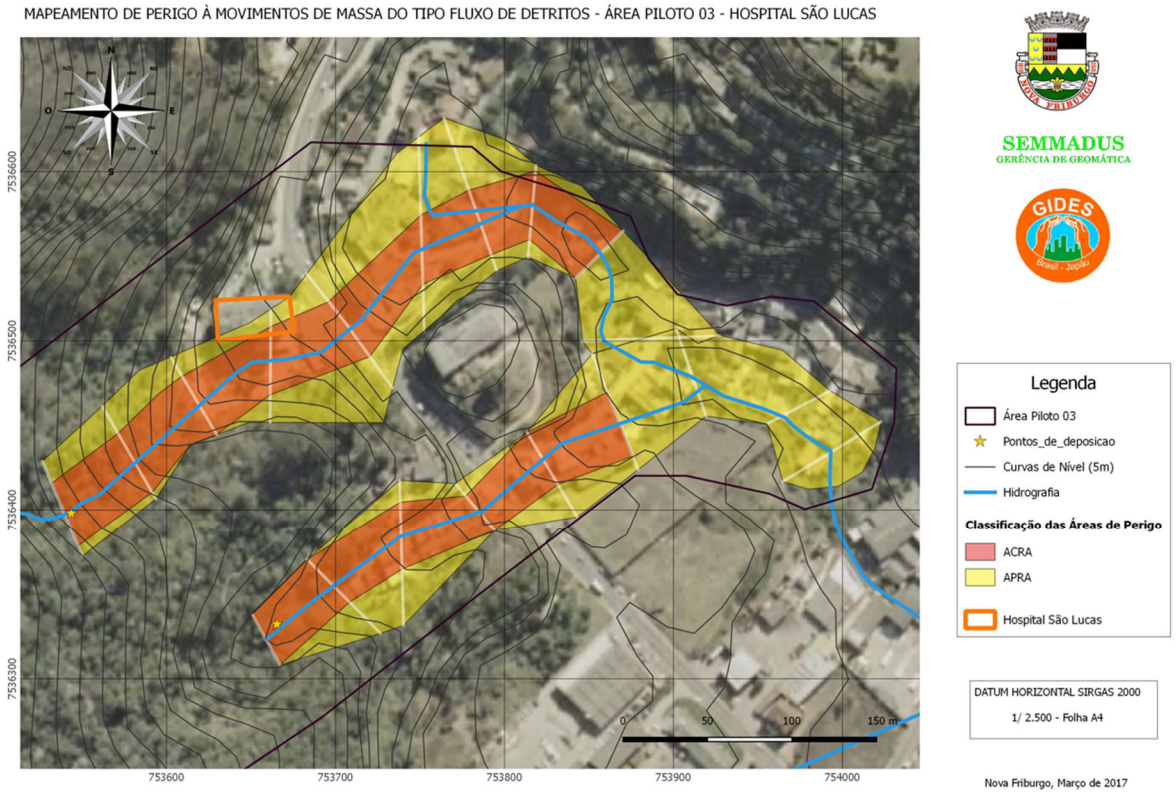


Fonte: Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil/Ministério da Integração Nacional (2018): Volume 4 - Manual Técnico para Intervenções Estruturais para Fluxo de Detritos , Projeto Gides

1.2.3 Mapa de risco (perigo)

O mapa de perigo para fluxo de detritos do talvegue ao lado do Hospital São Lucas foi elaborado com base no "Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa", conforme demonstra a figura 1.2.7. O ponto de início do espraiamento foi definido no começo da deposição do fluxo ocorrido em 2011; a extremidade jusante do movimento ficou no ponto em que a inclinação do leito chega a 2º. No referido mapa, o perímetro hachurado em amarelo representa altitude relativa de 5m em relação ao ponto mais profundo do leito, demonstrando assim a área em que existe a possibilidade de espraiamento do fluxo de detritos. Já o perímetro em vermelho, cuja medida se dá a partir do meio do leito do talvegue, até a distância de 25m para cada margem, totalizando 50m, representa no mapa a área em que há grande possibilidade de ocorrerem danos especialmente severos.

Figura 1.2.7 Mapeamento de perigo a movimento de massa do tipo fluxo de detritos - São Lucas



Fonte: Semmadus. Gerência de Geomática, Município de Nova Friburgo-RJ (2017)

1.3 Características gerais da área de estudo

1.3.1 Localização

A área de estudo foca a vertente do fluxo que seguiu rumo ao Hospital São Lucas na direção do bairro Duas Pedras. A bacia estudada possui área de drenagem da ordem de 0,12 km² e é apresentada na Figura 1.3.1, hachurada em verde translúcido. O talvegue principal da bacia delineada foi marcado por linha contínua na cor vermelha. Imediatamente a jusante da bacia delimitada encontra-se o Hospital São Lucas, seguido da rodovia RJ-130 e das edificações que compõem o bairro Duas Pedras no trecho mais a jusante da bacia.

Figura 1.3.1 Área de estudo



Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

1.3.2 Características do talvegue

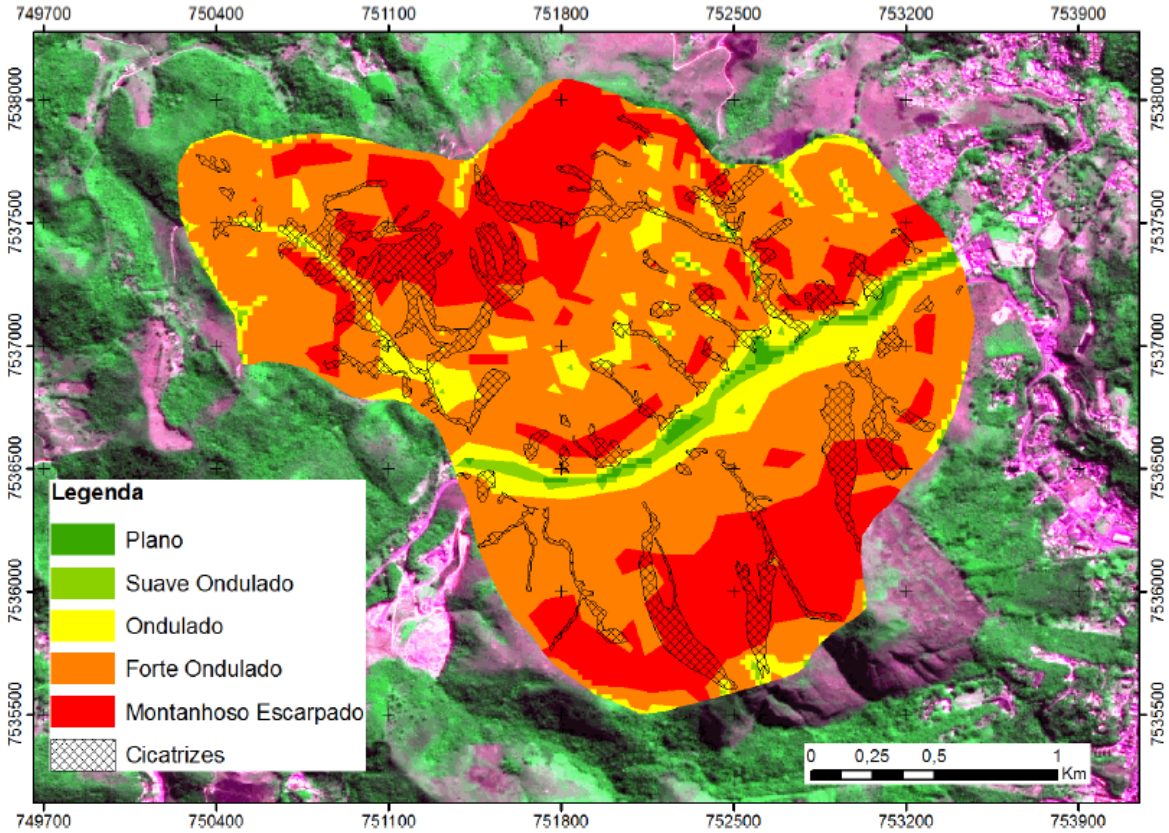
O talvegue principal da área em estudo possui cerca de 800 metros de extensão, com declividade predominante acima de 30 %. As classes de declividade no bairro do Córrego D'Antas estão apresentadas na Figura 1.3.2 e a Tabela 1.3.1 representa essas declividades em mapa.

Tabela 1.3.1 Área ocupada pelas cicatrizes nas classes de declividade (Pinho *et al.*, 2013)

Classes de declividade	% Área de estudo[1]	% Cicatrizes[2]	Densidade de cicatrizes
Declividade 0 a 3% (relevo plano)	0,91	0,16	0,03
Declividade 3 a 8% (relevo suave ondulado)	2,19	0,65	0,04
Declividade 8 a 20% (relevo ondulado)	10,60	8,64	0,12
Declividade 20 a 30% (relevo forte ondulado)	17,60	16,22	0,13
Declividade 30 a 45% (relevo forte ondulado)	37,62	30,28	0,12
Declividade 45 a 100% (relevo montanhoso escarpado)	30,93	43,61	0,21
Declividade 100 a 120% (relevo montanhoso escarpado	0,16	0,44	0,40

[1] % de ocorrência na área de estudo – bairro do Córrego D'Antas
[2] % de ocorrência de cicatrizes de movimento de massa
[3] % hectares de cicatrizes por 1 hectare de classe

Figura 1.3.2 Classes de declividade no bairro do Córrego D'Antas e cicatrizes dos movimentos de massa



Fonte: Pinho *et al.*, 2013

As seções transversais do talvegue possuem formas esculpidas pela erosão pluvial, o qual apresenta, em alguns trechos, matacões de origem residual, expostos devido à erosão, e matacões rolados devido a eventos anteriores de fluxo de detritos. Seu formato proporciona rupturas locais do talude em sua margem, o qual eleva o potencial de danos causados pelo fluxo de detritos. O talvegue alvo deste estudo apresenta relevo característico do Córrego D'Antas, tendo na sua parte mais a montante um relevo montanhoso escarpado, formado pelo Morro Duas Pedras. Podem ser observados vales profundos, formados pela erosão pluvial, na parte central e jusante da bacia.

1.3.3 Geologia e solo

No município de Nova Friburgo, encontram-se as unidades litológicas da Formação Granito Nova Friburgo, Granito São José do Ribeirão, Granito São Pedro, Desengano, Rio Negro, Paraíba do Sul, Santo Aleixo/Suíte Serra dos Órgãos, Serra dos Órgãos/ Suíte Serra dos Órgãos e Leucogranito Gnaisse Serra do Paquequer (Rodrigues, 2013).

A geologia é um fator condicionante dos movimentos de massa. O tipo da rocha presente na encosta dá uma estimativa de parâmetros geomecânicos e define as premissas para uma adequada investigação geológica- geotécnica. Os gnaisses e granitos, localizados na encosta em estudo, pertencem ao terreno Oriental da Faixa Ribeira.

Observa-se na encosta as características fisiográficas presentes na região serrana fluminense: litologias com fraturas, depósitos de tálus, vale estreito, matacões ao longo da encosta, entre outros (Figuras 1.3.3 e 1.3.4).

A encosta apresenta, em geral, cobertura de solos coluviais com presença de muita matéria orgânica devido à vegetação local. Tem-se também a ocorrência de solo residual intemperizado, distribuído em camada espessa (Figura 1.3.5). Os talvegues dos vales apresentam coberturas de solos aluvionares e coluviais devido ao fluxo de água no período chuvoso e a declividade da encosta.

Figura 1.3.3 Matacões com potencial de rolamento



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

Figura 1.3.4 Depósito de tálus



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

Figura 1.3.5 Solo residual intemperizado exposto na encosta e blocos depositados no leito do talvegue



Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

1.3.4 Vegetação

A vegetação predominante nas encostas e topos de morro pertencem a classe da vegetação arbórea, que são remanescentes florestais de matas secundárias e reflorestamento, representando 50,5 % do total da área do bairro Córrego D'Antas (Pinho et al., 2013).

Nos planos de fraturas, observa-se a presença de solo residual e de vegetação que favorecem o processo de intemperismo da rocha. A Tabela 1.3.2 apresenta uma vista geral da encosta e da vegetação arbórea predominante. Apresentam-se na Tabela 1.3.2 as classes de uso e cobertura da terra.

Tabela 1.3.2 Área ocupada pelas cicatrizes nas classes de uso e cobertura da terra (Pinho *et al.*, 2013)

Classes de uso e cobertura da terra	% Área de estudo[1]	% Cicatrizes[2]	Densidade de cicatrizes
Afloramento Rochoso	11,34	15,80	0,20
Vegetação Arbórea	50,50	58,00	0,17
Vegetação Arbustiva	1,30	1,00	0,11
Vegetação Herbácea	15,60	7,70	0,07
Vegetação de Gramíneas	15,23	13,20	0,13
Urbano e solo impermeabilizado	6,03	4,30	0,11

[1] Percentual de ocorrência na área de estudo – bairro do Córrego D'Antas
[2] Percentual de ocorrência de cicatrizes de movimento de massa
[3] Percentual hectares de cicatrizes por 1 hectare de classe

A vegetação presente na encosta a montante do Hospital São Lucas é composta por remanescentes de vegetação nativa da Mata Atlântica. Segundo a classificação fitogeográfica do IBGE, em Nova Friburgo-RJ, a formação dominante é a Floresta Ombrófila Densa Montana (VELOSO et. al., 1991).

A Floresta Densa Montana reveste as serras entre 500 e 1500m de altitude. Localiza-se sobre característica de paisagem formada principalmente de morros mamelonares, de contorno hemisférico, que constituem o acidentado Planalto das Serras do Mar e da Mantiqueira. (AB' SABER;1973).

Também se pode verificar através de imagens de satélite do local, pequenos talhões de floresta plantada do gênero Eucalyptus spp., o que evidencia certa antropização da área.

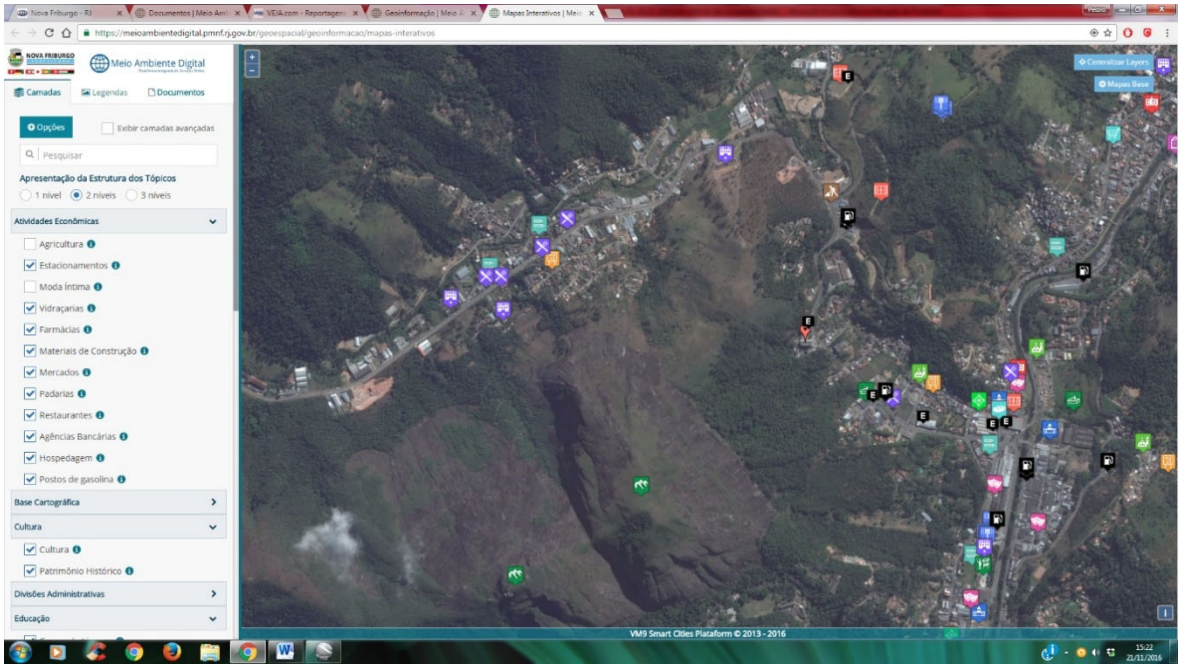
Figura 1.3.6 Vista geral da encosta e vegetação predominante



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

1.3.5 Uso do solo e instalações públicas

Figura 1.3.7 Imagem de satélite dos equipamentos urbanos e públicos no entorno da área de interesse



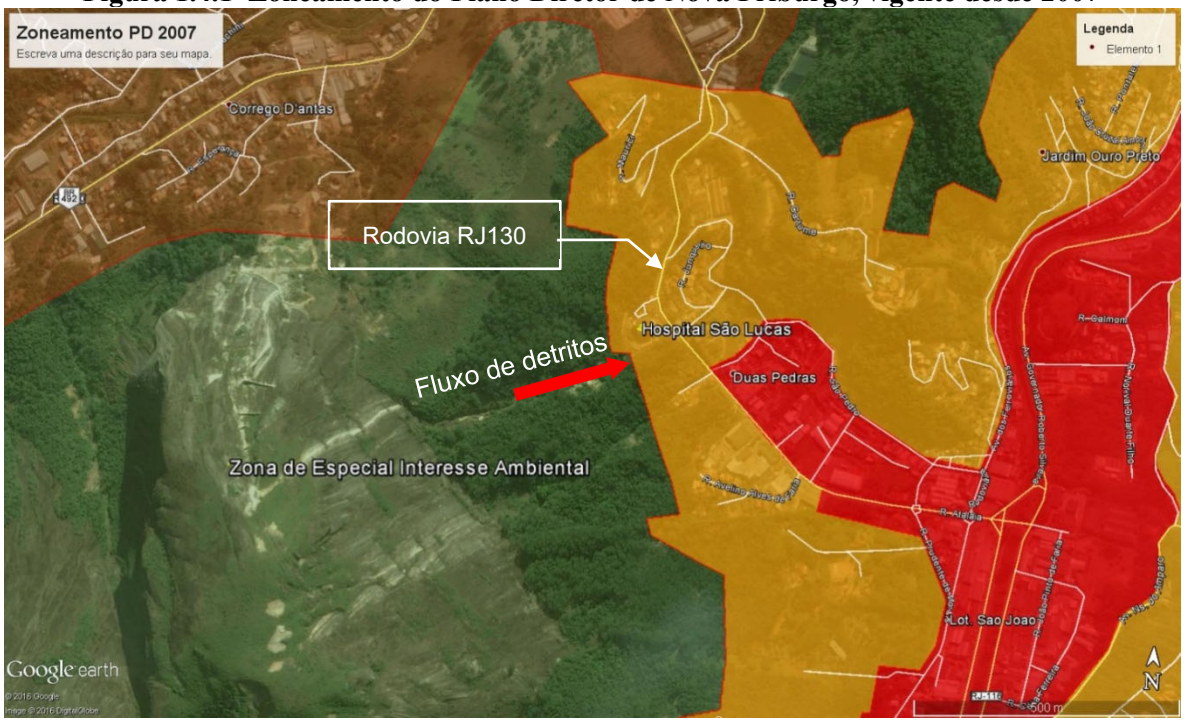
Fonte: meioambientedigital.pmnf.rj.gov.br/, 21/11/16

1.4 Referências básicas para o plano de obras

1.4.1 Área protegida

O alvo da proteção destas obras compreende um conjunto de edificações, rodovia, ruas e um riacho. No sentido de montante para jusante, o primeiro alvo a ser protegido é o Hospital São Lucas, importante unidade privada de saúde, conveniada ao SUS e referência regional no tratamento de doenças do coração. O próximo alvo é a rodovia estadual RJ 130, principal via ligação entre o município de Nova Friburgo e o município de Teresópolis. Esta rodovia faz a integração da zona rural do município com a zona urbana de Nova Friburgo. A RJ 130, além de ser a principal via de escoamento da maior produção de hortaliças do Estado do Rio de Janeiro, é uma rodovia estratégica para o turismo da região serrana fluminense. O terceiro alvo da proteção é formado pelo conjunto de 16 edificações residenciais e duas ruas públicas do tradicional bairro de Duas Pedras, que está localizado em uma cota inferior à rodovia RJ 130. Por último, não menos importante, o riacho de Duas Pedras, calha natural de drenagem e afluente do Rio Bengalas, principal rio que corta Nova Friburgo.

Figura 1.4.1 Zoneamento do Plano Diretor de Nova Friburgo, vigente desde 2007

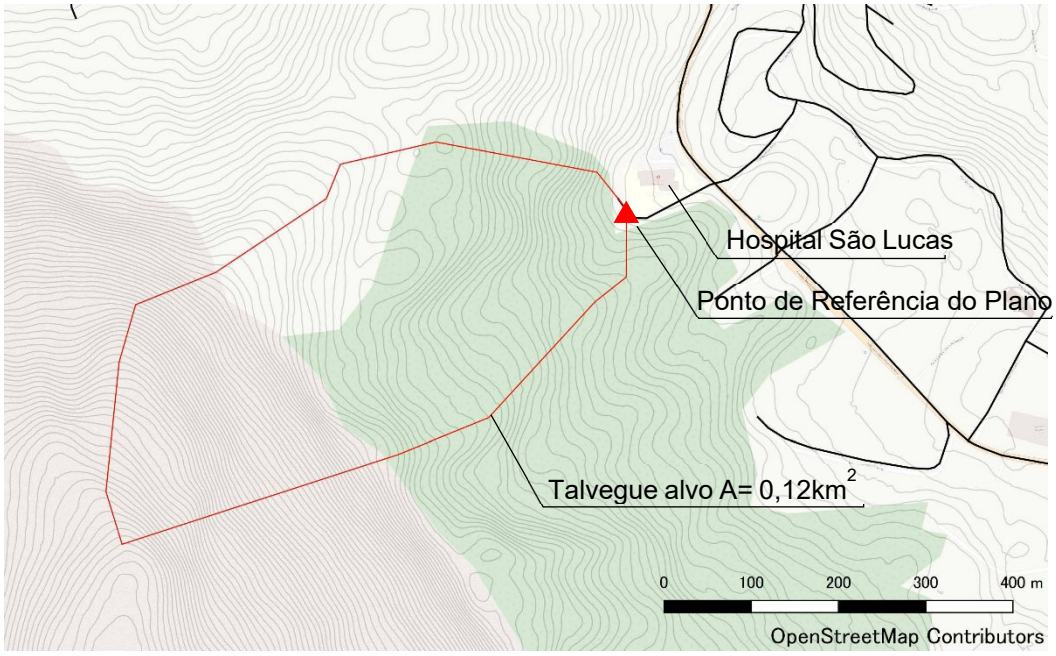


Fonte: Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil/Ministério da Integração Nacional (2018): Volume 4 - Manual Técnico para Intervenções Estruturais para Fluxo de Detritos, Projeto Gides

1.4.2 Ponto de referência do plano

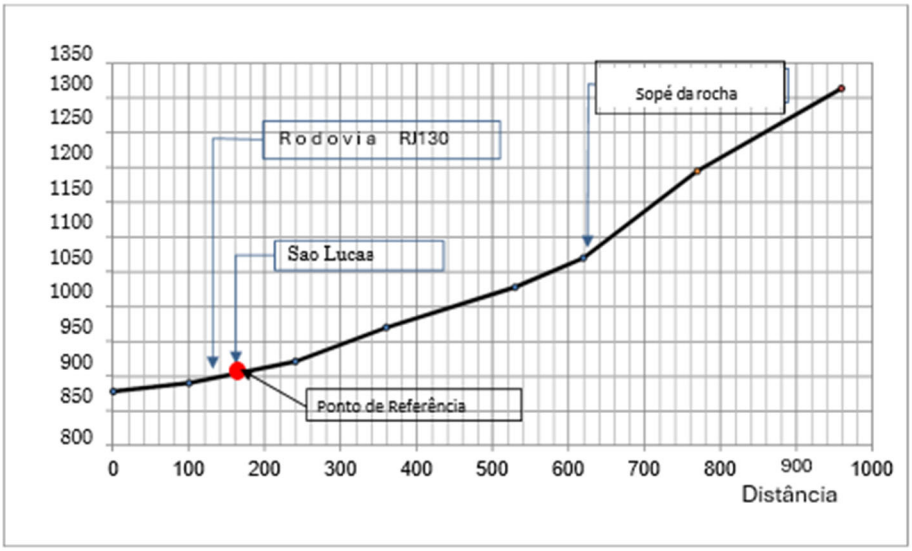
O ponto de referência do plano foi estabelecido a montante do alvo de proteção, na saída do vale, com altitude 910 m, no local do início de transbordamento. Este local é um ponto onde a gradiente muda para abaixo de 10º e começa a deposição do fluxo de detritos, no fenômeno de 2011, os matacões contidos no fluxo de detritos estacionaram nesse local.

Figura 1.4.2 Ponto de referência do plano



Fonte: Elaborado pelo Projeto Sabo

Figura 1.4.3 Ponto de referência do plano



Fonte: Elaborado 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 potencial de material transportável pela chuva.

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

Foi realizada uma avaliação dos postos pluviométricos da região, utilizando os dados disponibilizados no banco de dados da Agência Nacional de Águas - ANA, no sistema Hidroweb, acessível a partir do sítio eletrônico da agência, no campo referente ao Sistema Nacional de Informações Hidrológicas (http://www.snirh.gov.br/). Os dados foram coletados no mês de abril de 2016.

Para a seleção dos postos a serem considerados, foi adotado como critério uma quantidade mínima de histórico de dados de 30 anos. Dos postos com dados disponíveis na região do município, o único que atendeu essa premissa foi o Posto Pluviométrico Cascatinha do Cônego (Cód. 02242025), com cerca de 48 anos de dados, incluindo períodos de falha na observação.

Complementarmente, foram identificados dois postos próximos da localidade do Hospital São Lucas: Posto Vale dos Pinheiros (Cód. 02242371) e Vila Nova (Cód. 0224375). Estes postos são operados pelo CEMADEN, contudo, seus dados não estavam disponíveis no banco de dados Hidroweb quando da realização do estudo.

Dessa forma, o único posto considerado para o estudo foi o posto Cascatinha do Cônego (Cód. 02242025).

Figura 1.4.4 Localização dos postos pluviométricos avaliados no estudo



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

O posto Cascatinha do Cônego (Cód.02242025) foi o posto de referência adotado para o estudo. A Tabela 1.4.1 apresenta o histórico de chuvas máximas diárias, considerando cada ano do período de registros, num total de 46 anos de dados. Os valores foram ordenados do maior valor para o menor.

Tabela 1.4.1 Histórico de dados considerados para as chuvas máximas diárias (Posto Cascatinha do Cônego - 02242025)

ANO	CHUVA (mm)	ANO	CHUVA (mm)	ANO	CHUVA (mm)
2013	160.3	1996	90.8	1985	67.2
1992	141.8	1981	90.2	1987	65.5
1998	134.0	1995	85.8	1967	64.0
2000	131.5	2009	84.1	1977	62.8
2002	122.9	1983	83.0	2008	61.1
1986	121.5	1989	82.6	1975	60.2
1982	112.8	2014	82.5	2006	59.1
1978	112.2	2001	81.5	2003	53.3
2011	109.3	1997	80.4	2015	52.9
1968	102.0	1969	78.0	1972	44.6
1991	100.8	1990	78.0	1973	35.4
1999	100.8	1988	77.4	1976	34.2
1980	99.6	1970	75.0	1974	32.2
2007	99.6	1979	70.2	1971	32.0
2012	96.1	2010	67.8		
2004	96.0	1984	67.2		

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

(2) Metodologia

O estudo baseou-se nas frequências dos eventos máximos anuais de chuvas diárias registrados no posto 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 seco.

A análise de frequência de chuvas tem como objetivo estabelecer a relação entre os valores de chuvas máximas diárias e os tempos de recorrência a eles associados. Esta análise baseia-se 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 tempo de recorrência 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.

Para calcular a média (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 xT, para as duas distribuições, associado ao período de retorno T e, portanto, com 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:

$\alpha = 0{,}779 s$

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

Em que α e β são os parâmetros da distribuição.

(3) Resultados obtidos para as chuvas extremas

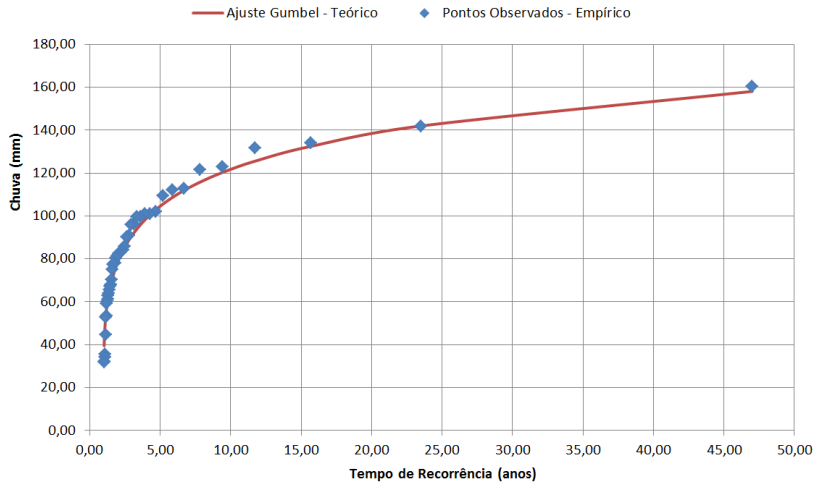
Com base na metodologia descrita, adotou-se a distribuição de Gumbel para o ajuste, uma vez que o valor da assimetria ficou abaixo de 1,5, tendo sido obtido os parâmetros indicados nas Tabelas 1.4.2 e 1.4.3.

Tabela 1.4.2 Parâmetros de referência para distribuição Gumbel

Número de dados da Amostra=	46
$\bar{x}$	83,5
s	29,32
s^2	859,48
g=	0,378
α =	22,85
β =	70,29

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

Figura 1.4.5 Ajuste estatístico à distribuição Gumbel



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

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	79
3	91
4	99
5	105
10	122
15	131
20	138
25	143
30	148
35	151
40	154
50	159
100	175
200	191
500	212
1000	228

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

1.4.4 Porte do Projeto

Considerando a precipitação que deflagrou o desastre de 2011 equivalente a uma chuva de 500 anos; e que no item 2.3 do Manual consta: "recomenda-se o tempo de recorrência de 100 anos", foi adotado o tempo recorrência de 200 anos, 191mm.

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.

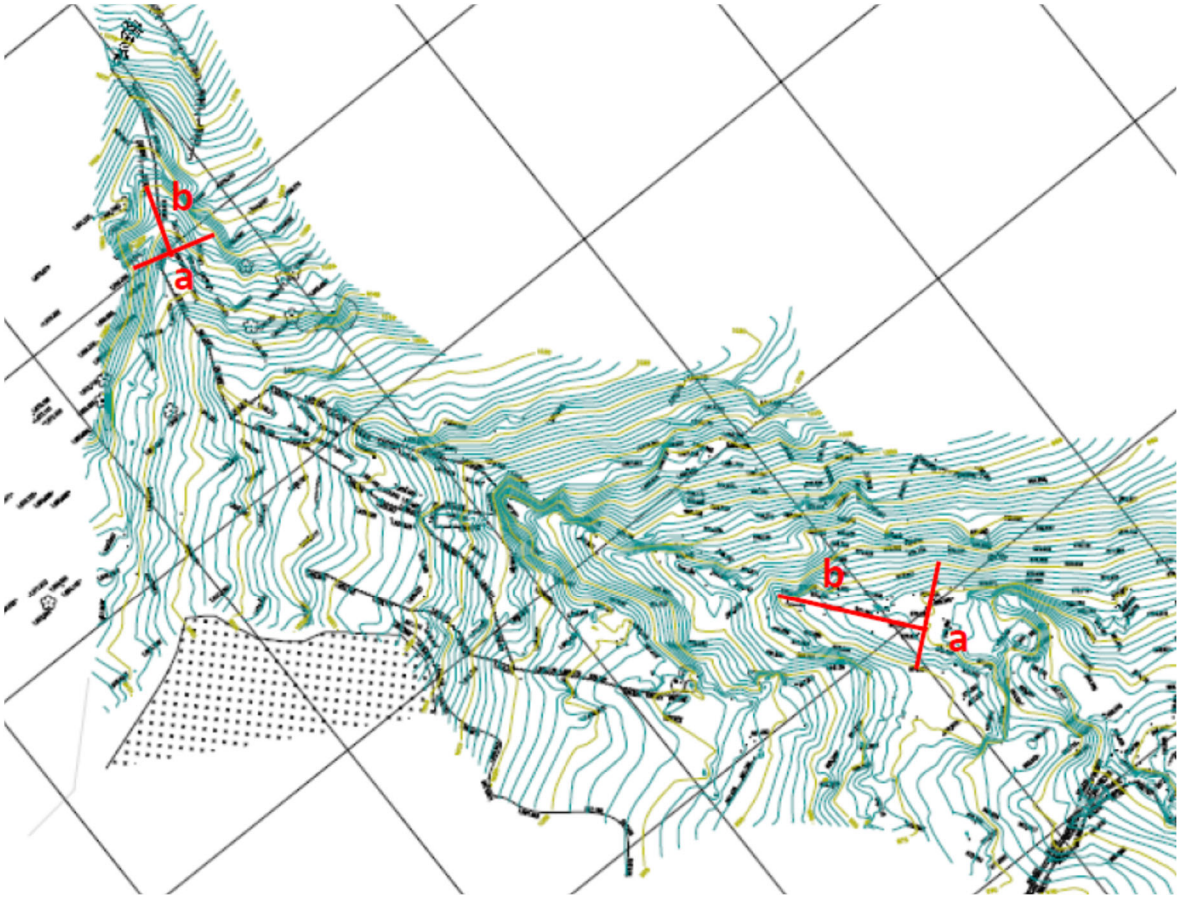
O volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvegue representa a maior produção de material possível na região de estudo, tendo em vista as características topográficas e geológicas da região.

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

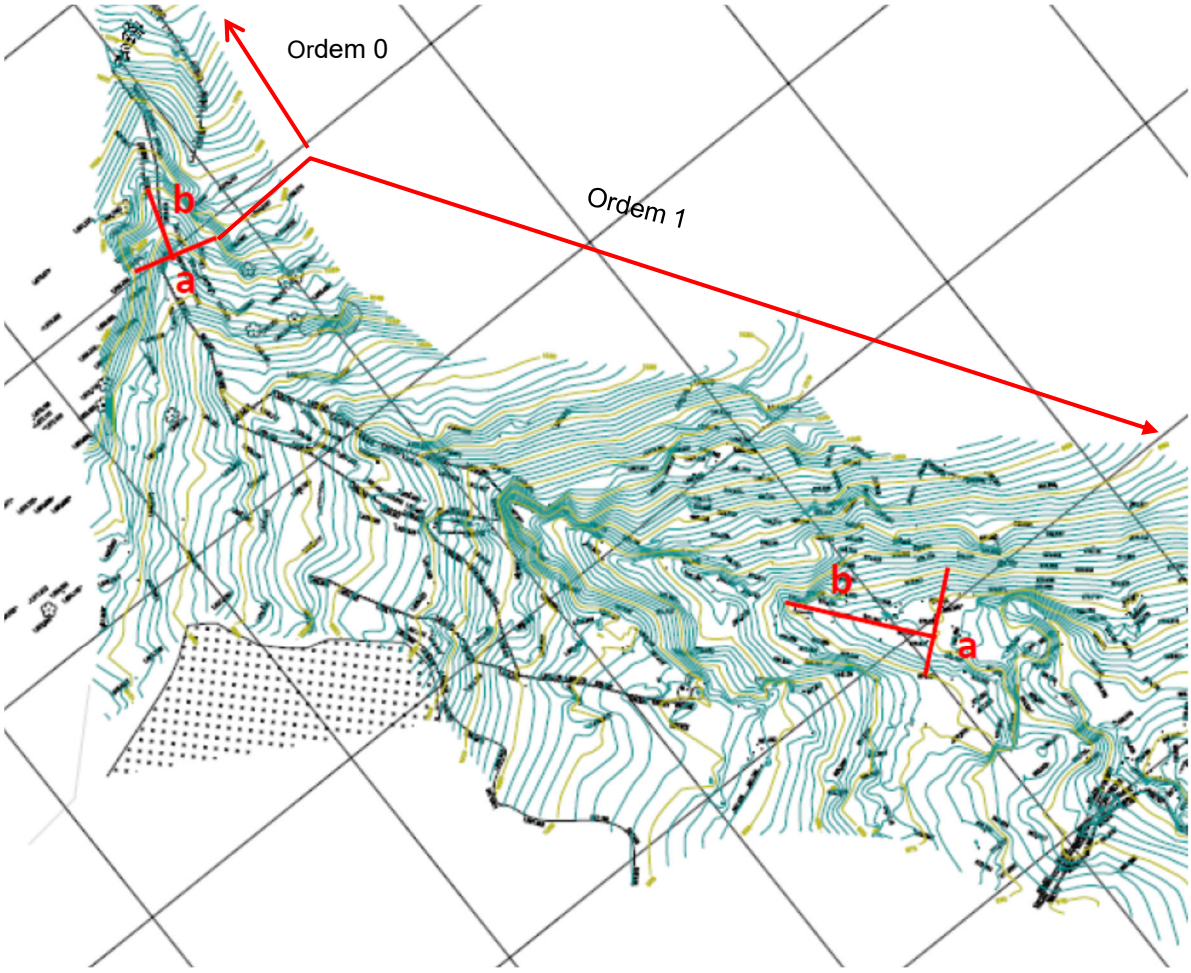
Com base nas análises do levantamento topográfico e inspeções in loco, identificou-se que a bacia alvo é formada por um canal de ordem zero e um de primeira ordem.

Figura 1.5.1 Fundamentação da hierarquia dos canais



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

Figura 1.5.2 Hierarquização dos canais da bacia hidrográfica

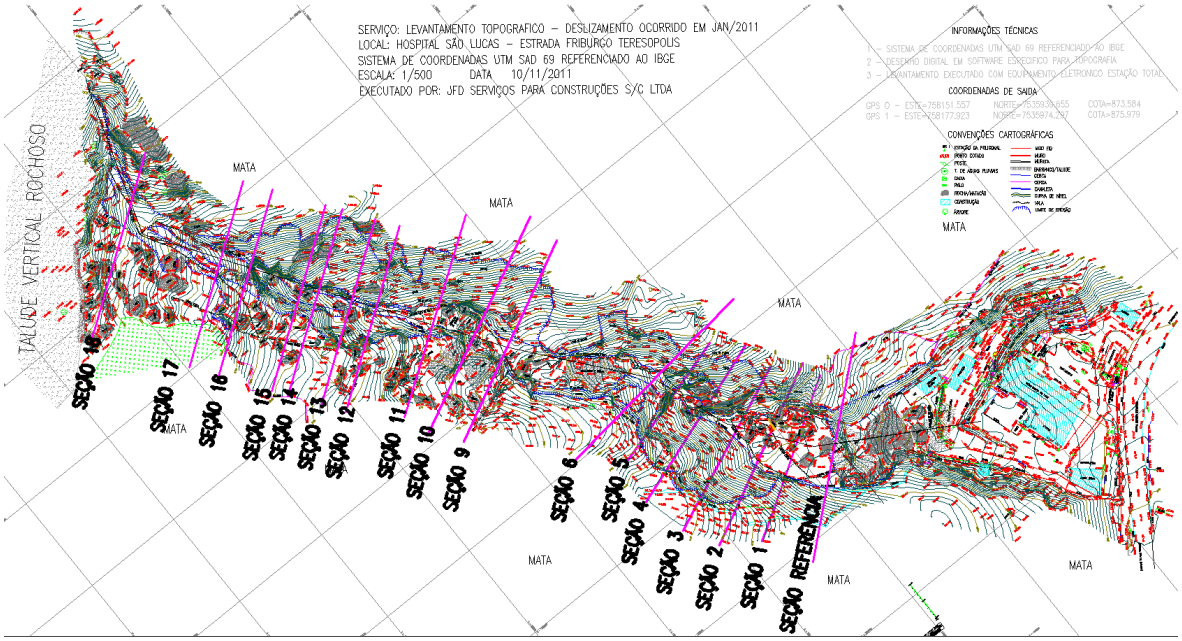


Fonte: Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil/Ministério da Integração Nacional (2018): Volume 4 - Manual Técnico para Intervenções Estruturais para Fluxo de Detritos, Projeto Gides

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

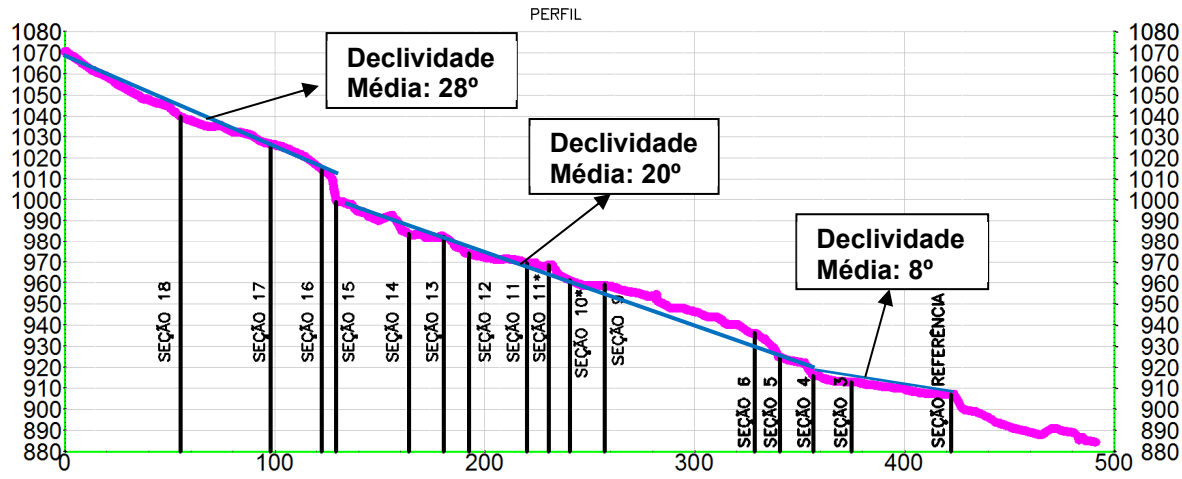
O volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvegue foi definido com base em inspeção in loco e topografia da área estudada. Foram definidas seções transversais de interesse ao longo do talvegue e, a partir de modelo digital do terreno gerado com base nas curvas de nível do levantamento topográfico, foram geradas essas seções transversais. A Figura 1.5.3 apresenta o posicionamento das seções consideradas em planta na topografia disponível para área de estudo; a Figura 1.5.4 apresenta o posicionamento das seções no perfil do talvegue gerado com base no modelo digital do terreno. Para ambas as figuras a seção de referência é onde se localiza o ponto de referência para o qual o cálculo do volume de detritos será realizado.

Figura 1.5.3 Indicação das seções consideradas para cálculo do volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvegue



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

Figura 1.5.4 Perfil do talvegue avaliado com a indicação das seções consideradas



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

Para cada uma das seções geradas, com base nas constatações da inspeção de campo, foi definida a profundidade máxima erodível. O volume erodível foi computado a partir do volume de prismas aproximados aos volumes erodíveis entre as seções. O volume de solo erodível compreendido entre as seções 6 e 7 foi desconsiderado tendo em vista o afloramento de topo rochoso observado neste trecho. Entre a seção 3 e o ponto de referência também foi desconsiderado o volume erodível devido à baixa declividade do trecho e a propensão à deposição do fluxo nesta área. O volume de solo presente no topo da rocha na cabeceira da bacia também foi desprezado, tendo em vista à baixa

probabilidade de todo o volume ser mobilizado em um único evento. A tabela 1.5.1 apresenta os resultados do cálculo dos volumes erodíveis entre as seções consideradas e o total obtido para o volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvegue (Vdy1). A fundamentação do cálculo está no final do texto.

Tabela 1.5.1 Cálculo do volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvegue (resumo)

Seções	Volume (m^3)
3-4	4.108
4-5	576
5-6	798
10-11*	308
11*-11	815
11-12	657
12-13	80
13-14	109
15-16	175
16-17	1.780
17-18	1.467
TOTAL (V_{dy1})	**10.873**

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

1.5.3 Volume potencial de material transportável pela chuva dentro de um evento com determinado tempo de recorrência (V_{dy2})

Considerando a precipitação que deflagrou o desastre de 2011 equivalente a uma chuva de 500 anos; e que no item 2.3 do Manual consta: "recomenda-se o tempo de recorrência de 100 anos", foi adotado o tempo recorrência de 200 anos, 191mm, para calcular volume potencial de material transportável pela chuva utilizou-se a equação 5-1.

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

Em que:

V_{dy2} : Volume de material transportável pela chuva (m^3)

P_p : Precipitação máxima diária para o tempo de recorrência (mm)

A : Área da bacia hidrográfica (km^2)

K_v : Porosidade (na ausência de melhores estimativas adota-se 0,4)

K_{f2} : Taxa de correção do escoamento em relação à área da bacia hidrográfica. Limite máximo 0,5 e mínimo 0,1.

C_d : Densidade do fluxo de detritos durante seu escoamento.

A densidade do fluxo de detritos durante o escoamento foi obtida pela Equação 5-2.

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

Sendo:

σ : Densidade do material de maior granulometria (2,6 x10^3 kg/m^3);

ρ : Densidade da água (1,2 x 10^3 kg/m^3);

ϕ : Ângulo de atrito interno do material (graus) (material depositado no fundo do talvegue). Varia de 30° a 40° , adotando-se usualmente 35° ;

θ : Inclinação média do leito do talvegue, referente à distância de 200 m a montante, medida a partir do ponto de referência do plano (graus).

As tabelas 1.5.2 e 1.5.3 resumem os parâmetros adotados para as equações supracitadas. O volume de sedimentos passível de ser transportado (Vdy2), com base nos parâmetros citados foi de 22.422 m³.

Tabela 1.5.2 Parâmetros adotados para Equação 5-1

P_P (mm/dia)	191
A (km²)	0,12
C_d	0,54
K_v	0,4
K_{f2} (valor calculado)	0,477
K_{f2} (valor adotado)	0,5

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

Tabela 1.5.3 Parâmetros adotados para Equação 5-2

σ (kgf/m²)	2600
ρ (kgf/m³)	1200
φ (°)	35
θ (°)	20
C_*	0,6
C_d (valor calculado)	0,666
C_d (valor adotado)	0,54

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

1.5.4 Volume de troncos carreados (V_w)

O volume de troncos carreados Vw é obtido pela multiplicação do volume de troncos gerados Vwy pela taxa de escoamento dos troncos Kw.

O volume de troncos gerados Vwy foi calculado com base nas equações 5-3 e 5-4.

$$V_{wy} = \frac{Bd \times L_{dy13}}{100} \times \sum V_{wy2} \qquad \text{Equação 5-3}$$

$$V_{wy2} = \frac{\pi \times (DAP)^2}{4} H_w \times K_d \qquad \text{Equação 5-4}$$

Em que:

V_{wy} : Volume de troncos gerados (m³)

B_d : Largura média da seção do talvegue onde se avalia que haverá erosão (m)

L_{dy13} : Distância total do trecho em estudo, medida do ponto onde se calcula o volume de troncos gerados até o limite da bacia (m)

V_{wy2} : Volume de cada espécie existente na área (m³)

H_w : Altura média da árvore (m)

DAP : Diâmetro médio à altura do peito (m)

ΣV_{wy2} : Soma do volume da madeira dos troncos na área de amostragem (m³/100 m²)

K_d : Fator do diâmetro à altura do peito (DAP) (Fator de Forma).

Os valores de Hw, altura média da árvore, DAP, diâmetro médio à altura do peito, e a quantidade de indivíduos por 100 m2 foram definidos com base nos resultados do levantamento de campo de uma área de 10 m x 10 m (100 m2), que apresenta vegetação similar ao perímetro onde se avalia que haverá erosão por fluxo de detritos. Já a largura média da seção do talvegue onde se estima que haverá erosão, Bd, e o comprimento do trecho no qual se estima que os troncos serão gerados, Ldy13, tiveram como base os valores do comprimento do trecho e largura do leito, avaliados com potencial de erosão, ambos utilizados no cálculo do volume de material potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvegue.

Foram adotados os valores indicados na tabela 1.5.4 para calcular o volume de troncos gerados V_{wy}, conforme as equações supracitadas, o total obtido foi de 55 m³.

Tabela 1.5.4 Parâmetros adotados para as equações 5-3 e 5-4

nº troncos/100 m²	8
DAP (m)	0,25
K_d	0,6
H_w(m)	6
B_d (m)	10
L_{dy13} (m)	390
ΣV_{wy2} (m³/100m²)	0,18

Fonte: Elaborado pelo Projeto Sabo

Entende-se que 90% do volume de troncos gerados, Vwy, que totalizou 55 m3, chegue até o ponto de referência, portanto, multiplicou-se Vwy pelo fator de escoamento dos troncos, Kw=0,9, obtendo-se o valor do volume de troncos carreados do plano Vw de 49,5 m3, adotando o valor arredondado de 50 m3.

1.5.5 Volume total dos detritos do plano

Comparando-se o volume potencial de material transportável pela chuva Vdy2 de 22.422 m3 e o volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvegue Vdy1 de 10.873 m3, adotou-se o Vdy1 como volume de material carreado do plano, por ser o que apresentou o menor valor.

Ao volume de material carreado do plano foi somado o volume de troncos carreados do plano, obtendo-se o total de 10.923 m³, obtendo-se assim o volume total de detritos do plano, alvo da obra de retenção de fluxos de detritos. A Tabela 1.5.5 demonstra o resultado dos cálculos efetuados.

Tabela 1.5.5 Síntese do volume total de detritos do plano

Volume de material carreado do plano	10.873m^3
Volume de troncos carreados no plano	50 m^3
Volume total de detritos do plano	**10.923** m^3

Fonte: Elaborado pelo Projeto Sabo

1.6 Vazão-alvo do plano

1.6.1 Vazão que considera os sólidos carreados

A vazão que considera sólidos carreados é calculada a partir da vazão-alvo da água pura, obtida pela precipitação estimada para o porte do plano. Para calcular a vazão-alvo da água pura utiliza-se a fórmula racional, já para o tempo de concentração, a fórmula Corps Engineer. A intensidade média da chuva durante o tempo de concentração foi calculada a partir das curvas IDF do município de Nova Friburgo. A vazão que considera os sólidos carreados é definida multiplicando a vazão de água pura por 1,5, ficando em Q=9,3m3/s.

Tabela 1.6.1 Tabela de especificações

Área da bacia hidrográfica	0,12	km^2
Coeficiente do escoamento	0,85	
Comprimento do canal de escoamento	0,75	km
Inclinação média	0,60	m/m
Porte do projeto	200	anos

Aplicou-se de valor médio para regiões montanhosas como coeficiente de escoamento

$$Q = 1{,}5 \cdot Q_P$$ 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

Onde,

Q : Vazão que considera os sólidos carreados (m^3/s)

Q_P : Vazão-alvo da água pura (m^3/s)

C : Coeficiente de escoamento

I : Intensidade média da chuva dentro do tempo de concentração (mm/h)

A : Área da bacia (km^2)

T_C : Tempo de concentração (h)

L : Comprimento do canal (m)

S : Inclinação média do leito (m/m)

T_R : Tempo de recorrência (Probabilidade de excedência em anos)

a,b,c,d : Coeficiente de cada área

t : Tempo de duração da chuva (= tempo de concentração T_C)

1.6.2 Vazão de pico do fluxo de detritos

A vazão de pico do fluxo de detritos é calculada a partir da fórmula de correlação entre o volume total do fluxo de detritos e a vazão de pico do fluxo de detritos, desenvolvida a partir dos resultados dos levantamentos de eventos ocorridos no passado. Aqui, volume total do fluxo de detritos é o obtido pela soma dos sólidos e da água contidos em um evento de fluxo de detritos, utilizando a sua concentração no referido cálculo. De acordo com a fórmula abaixo, a vazão de pico do fluxo de detritos ficou em 24,3 m3/s.

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

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

Onde,

Q_{SP} : Vazão de pico do fluxo de detritos (m^3/s)

ΣV : Volume total em um evento de fluxo de detritos (m^3)

C_d : Concentração do fluxo de detritos (0.54, conforme a Tabela 1.5.3)

C_* : Concentração de sólidos do material potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvegue, fundo de vale e encostas adjacentes (aprox. 0,6), consistindo no

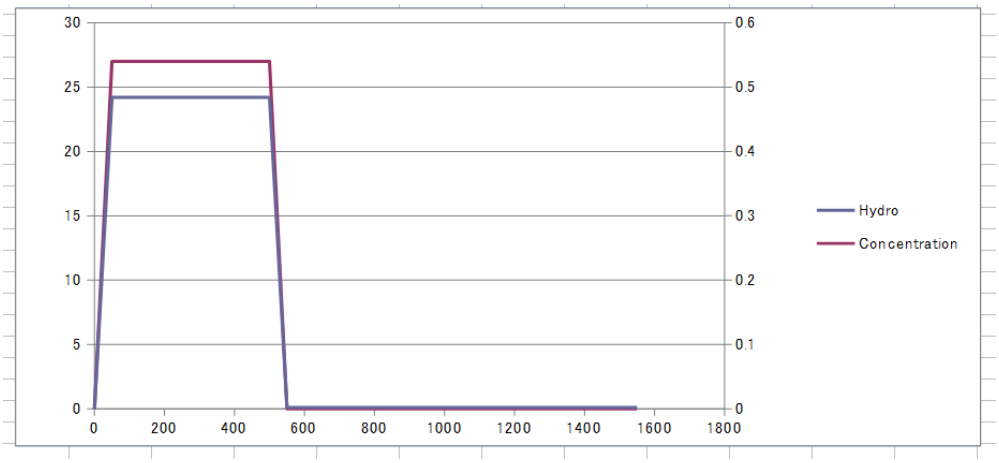
volume de partículas sólidas dividido pelo volume total do material, ou seja, 1-n, sendo n a porosidade deste material.

V_{dqp} : Volume de sólidos depositado no fundo do vale e existente nas encostas adjacentes estimado para escoar em um evento de fluxo de detritos. (Considerando que há apenas uma rota de escoamento para fluxo de detritos no talvegue em questão, entende-se que o volume de material carreado do plano equivale ao volume carreado em um evento, portanto definiu-se V_{dqp} = 10,873 m^3, arredondado para cima, adotando-se 10.900 m^3.)

1.6.3 Análise de espraiamento do fluxo de detritos（HyperKANAKO）

A análise de espraiamento do fluxo é feita a partir da análise bidimensional, que utiliza o formato da onda do fluxo de detritos, realizando os cálculos das alterações sofridas pelo leito em decorrência do escoamento do fluxo, verificando a dimensão do atingimento do espraiamento do fluxo de detritos. Vale observar que a análise bidimensional de espraiamento do fluxo de detritos utilizou o HyperKANAKO. Neste estudo, o formato da onda do fluxo de detritos foi estabelecido a partir do volume total e da vazão de pico do fluxo de detritos.

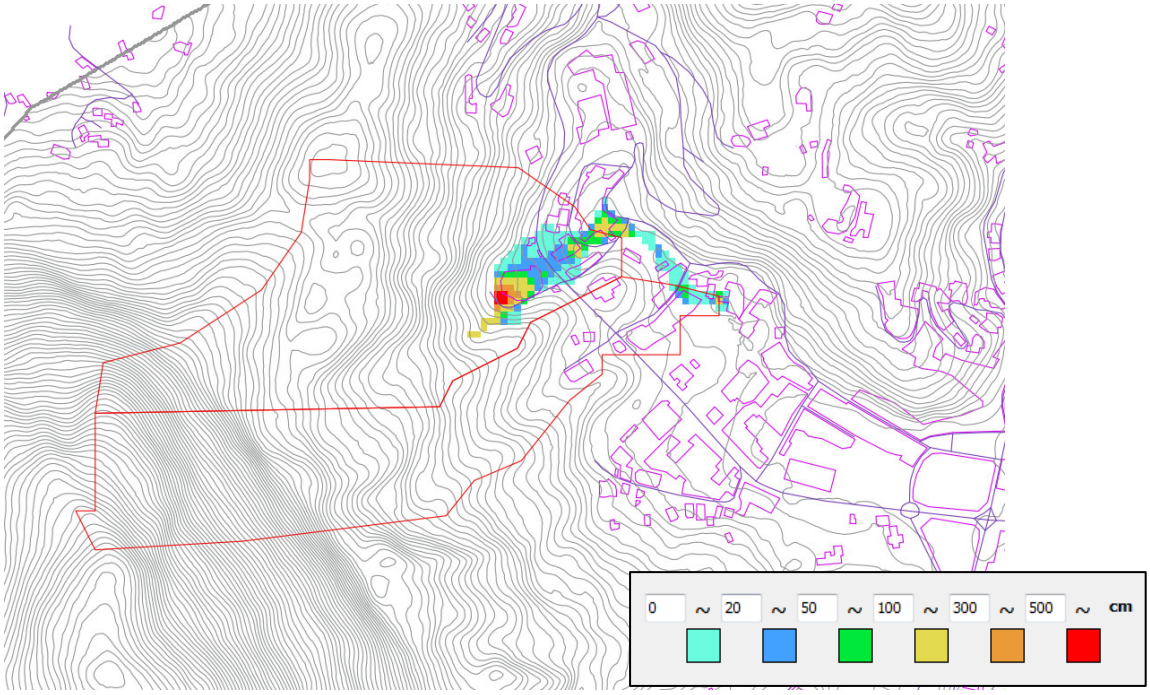
Figura 1.6.1 Formato da onda do fluxo de detritos



Fonte: Elaborado pelo Projeto Sabo

Uma vez que o espraiamento ocorre ao longo do leito a jusante da saída do vale, o resultado da análise de espraiamento do fluxo de detritos comprovou a situação do atingimento e dos danos às residências e comércio. Abaixo, demonstra-se o resultado da análise de espraiamento de fluxo de detritos.

Figura 1.6.2 Resultado da análise de espraiamento do fluxo de detritos (profundidade máxima do escoamento)



Fonte: Elaborado pelo Projeto Sabo

Durante a vistoria técnica, foi possível observar que a área do Morro Duas Pedras está em uma região altamente suscetível ao movimento gravitacional de massa, com risco muito alto de fluxos de detritos, devido a uma combinação de fatores naturais e antrópicos.

Os principais riscos identificados são:

- Instabilidade Geotécnica: A encosta do Morro Duas Pedras, especialmente ao longo do talvegue do Córrego do Mosquito, apresenta solos instáveis e sujeitos a deslizamentos. A presença de material fino e mal consolidado torna a área ainda mais vulnerável a fluxos de detritos durante chuvas intensas.
- Histórico de Desastres: Já foram registrados dois eventos significativos (em 2007 e 2011) que resultaram em danos estruturais e risco para vidas humanas, com destruição de imóveis e interrupção de serviços essenciais, como o Hospital São Lucas. A continuidade desses eventos em menores ou maiores proporções é uma possibilidade concreta.
- Impacto na Infraestrutura dos Serviços Locais: A proximidade do Hospital São Lucas, de importância vital para a saúde regional, e da Rodovia BR 492, uma via essencial para o escoamento de produtos agrícolas e a ligação intermunicipal, coloca essas infraestruturas em risco direto. A destruição de partes do hospital e o bloqueio da rodovia já ocorreram anteriormente e, em caso de novos fluxos, pode haver danos ainda maiores.
- Danos à Infraestrutura Residencial e Urbana: A área de Duas Pedras possui aproximadamente 51 edificações que estão em risco direto, com estimativa de 204 pessoas potencialmente afetadas por fluxos de detritos.

1.7 Solução proposta para o caso estudado

Esta seção apresenta os procedimentos adotados para a seleção da solução proposta para este caso.

1.7.1 Topografia

Para desenvolver os estudos do plano de posicionamento das instalações sabo no talvegue piloto, realiza-se a topografia da área do plano de intervenções e elabora-se o mapa topográfico. A abrangência do mapa topográfico deve incluir o perímetro estimado para o plano de posicionamento, sendo necessário que abranja a área necessária para o estudo dos traçados das vias de acesso e de manutenção. No talvegue do Hospital São Lucas, a topografia foi realizada com sobrevoo de drone, da qual foi gerado o mapa abaixo.

Figura 1.7.1 Produto da topografia da área do plano e arredores



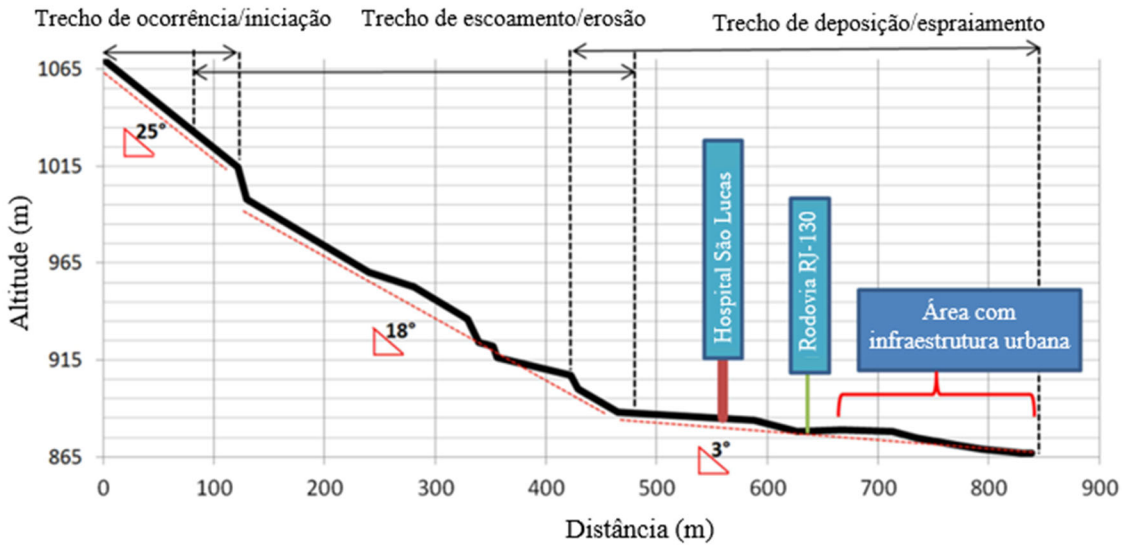
Fonte: Elaborado pelo Projeto Sabo

1.7.2 Avaliação da hipótese de não serem implantadas intervenções

Avalia-se que há possibilidade de ocorrência de outros fluxos de detritos na localidade, semelhantes ao que ocorreu no desastre de 2011, que foi deflagrado por fortes chuvas torrenciais, comuns na região serrana. No caso da ocorrência de um novo fluxo, nas condições atuais espera-se o seguinte comportamento:

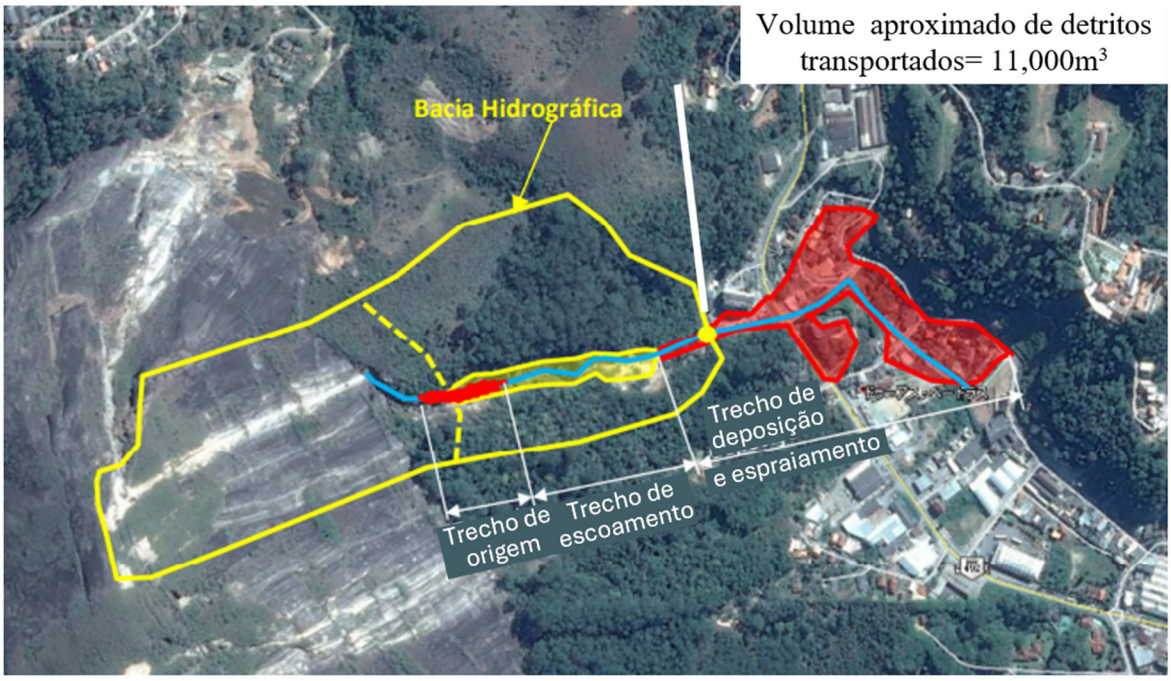
- O trecho de ocorrência ou iniciação do fluxo predomina até a altitude aproximada de 1030 m;
- Transporte e escoamento com crescimento do volume de fluxo devido à erosão do leito e das margens do talvegue entre as altitudes 1030 m e 920 m;
- Deposição e espraiamento em cotas inferiores à 920 m. Os grandes blocos e troncos de árvores carreados pelo fluxo devem se acumular e se espalhar na área próxima ao hospital, podendo causar severos danos à estrutura do edifício. O material mais fino deve atravessar a rodovia e escoar até cotas mais baixas do terreno se espalhando por uma grande área, atingindo as habitações e a rodovia, soterrando a área mais baixa. Devido à grande energia envolvida na movimentação dos blocos de rocha e no transporte do material fino, ainda há a possibilidade de se propagarem por trechos com inclinações menos proeminentes.

Figura 1.7.2 Perfil esquemático da declividade do fundo do talvegue ao longo do trecho estudado, incluindo o trecho a jusante ao hospital São Lucas



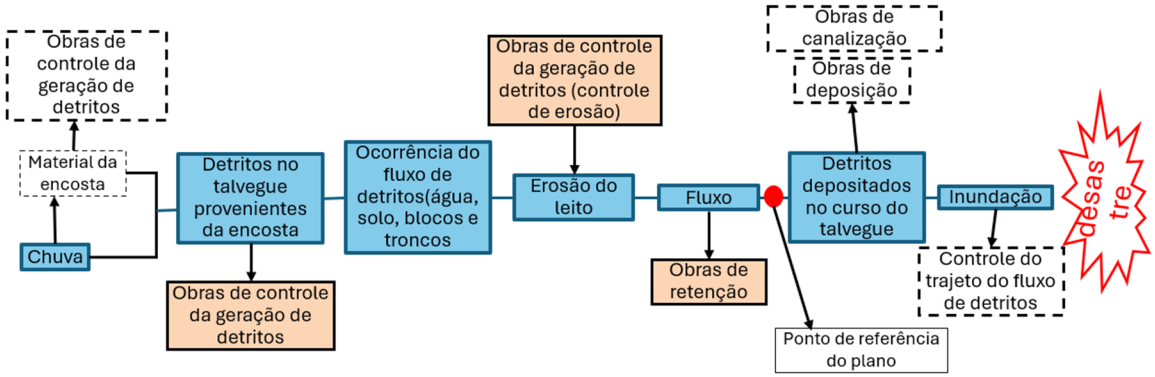
Fonte: Elaborado pelo Projeto Sabo

Figura 1.7.3 Vista em planta da caracterização da ocorrência de um possível evento de fluxo de detritos na região



Fonte: Elaborado pelo Projeto Sabo

Figura 1.7.4 Etapas da evolução de um fluxo de detritos e possíveis obras de prevenção



Fonte: Elaborado pelo Projeto Sabo

Figura 1.7.5 Fotografias do talvegue a montante do Hospital São Lucas e indicação dos trechos característicos da propagação de um fluxo 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

1.7.3 Diretrizes adotadas na escolha das obras

O fluxo de detritos que ocorre ao lado do hospital São Lucas, por causa da energia dos grandes blocos, troncos carreados e material fino, destrói construções, rodovias etc.; e ainda provoca danos humanos por causa do soterramento decorrente do material fino. Para evitar tais danos deve-se controlar totalmente os grandes blocos, troncos e o material fino a montante do ponto de referência. Antes de selecionar o tipo de obra através do fluxograma, deve-se utilizar a figura 1.7.4 como referência para definir a concepção do controle. Ao considerarmos as características do relevo local, o controle do fluxo de detritos no talvegue ao lado do hospital São Lucas será mais eficaz através do "controle da ocorrência dentro do vale" e "retenção do fluxo de detritos dentro do vale, logo a

montante do ponto de referência sabo".

- As causas da ocorrência dos grandes blocos, troncos e material fino que provocam danos a construções, instalações públicas e vidas humanas estão concentrados em um trecho de 300 m com declive ameno, dentro do vale, formado por colúvios e solos residuais. O transporte de material para esse lugar pode ser realizado por meios normais, portanto é possível realizar intervenções eficazes para as causas do fluxo de detritos.
- O trecho de erosão (ocorrência) e de escoamento, onde se concentra este material, apresenta declividade i≒1/3, configurando uma declividade acentuada. A largura do fundo do vale é estreita, 2,3 m, para uma instalação sabo, tendo pequena eficácia na retenção de fluxos de detritos.
- O vale logo a montante do ponto de referência sabo possui inclinação de i=1/5, sendo um trecho de escoamento e deposição. O trecho tem largura maior, no qual as instalações sabo teriam maior eficácia na retenção.
- Não há canal a jusante do ponto de referência, onde há concentração de habitações, não sendo possível depositar e conduzir o fluxo de detritos.

Propõem-se 2 tipos de controle da ocorrência de fluxo de detritos, os quais serão comparados e a seleção será de acordo com a segurança e eficiência, descritas na seção 1.8.

1.8 Seleção das soluções de engenharia

1.8.1 Seleção do tipo de obra através do fluxograma

O vale ao lado do hospital São Lucas possui concentração dos deflagradores de fluxos de detritos entre altitudes de 940 a 1.030 m. Um trecho de 40 m apresenta pouca erosão, mas o trecho no qual as erosões estão concentradas tem 300 m. Como foi apresentado na seção 1.7.3, há 2 intervenções para o controle de fluxo de detritos, como se seguem:

a) Retenção nas proximidades do ponto de referência, a fim de reter o fluxo de detritos que escoa de montante para jusante;

b) Controle da ocorrência e do desenvolvimento dos fluxos de detritos no trecho de 300 m, correspondente aos trechos de ocorrência e escoamento, estabilizando, com estruturas, todo o material instável ali presente.

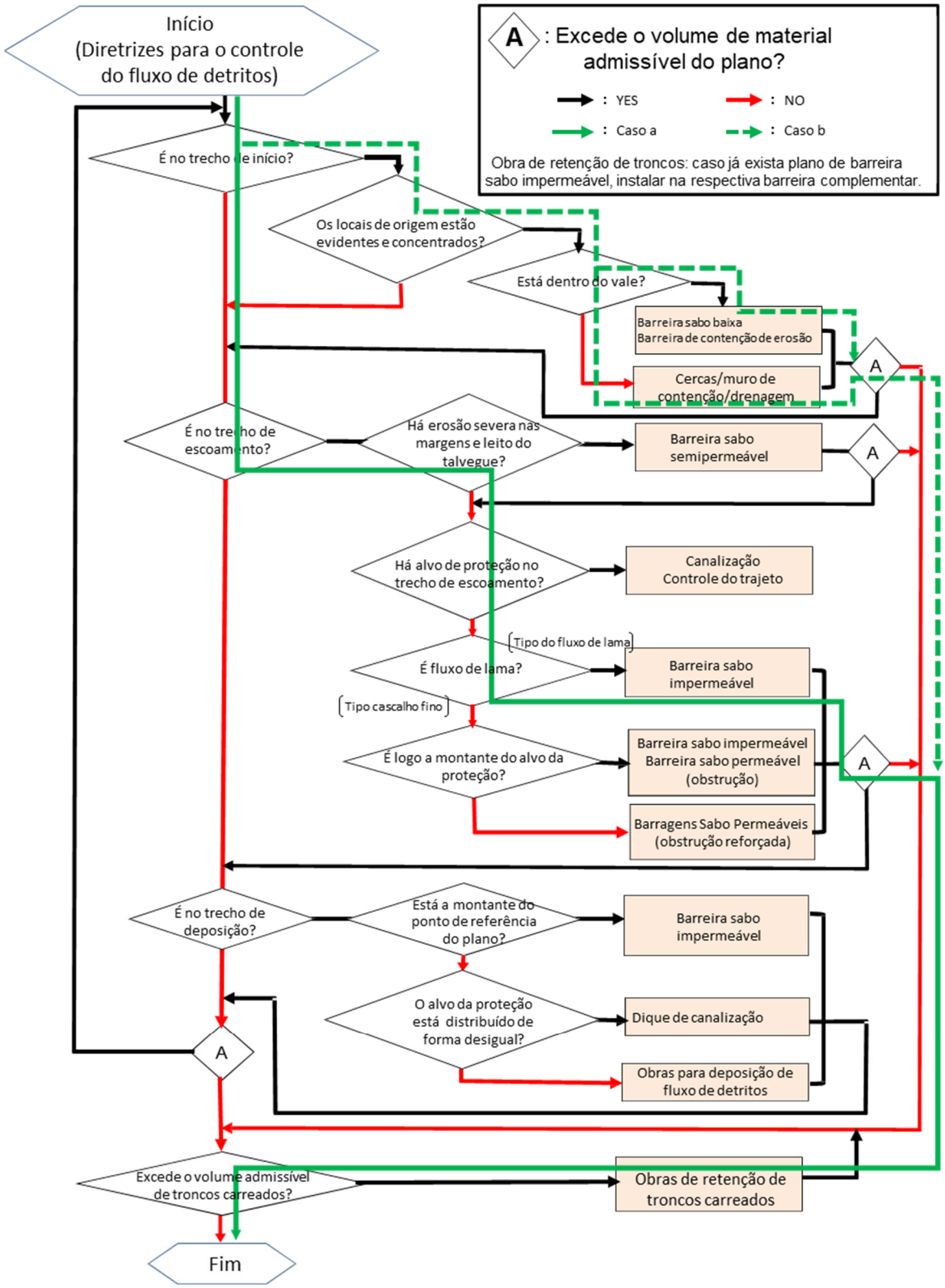
Seguindo o fluxograma, quando a seleção é feita conforme o caso a., selecionando a retenção do fluxo de detritos, a barreira sabo impermeável demonstra ser a melhor solução. Por outro lado, seguindo as diretrizes do caso b., instalam-se várias barreiras sabo sequenciais, de baixa altura, ao longo de todo o veio do vale, nos trechos de ocorrência e de deposição (obras de contenção no vale), ao tempo em que se executam obras para impedir rupturas das encostas, que por sua vez são formadas por espessa camada de solo residual intemperizado, cujo risco de ruptura é alto. O resultado da análise é apresentado na tabela 1.8.1.

Tabela 1.8.1 Análise comparativa dos 2 tipos de solução

Caso avaliado	Conteúdo de Decisão		Motivo da decisão
Caso a. Obra de retenção do Fluxo de Detrito	Tipo de movimento	Trechos de escoamento e de deposição	Inclinação do fundo do vale de i=1/5, tendo como referência do fluxo de detritos ocorrido em 2011, julgou-se que se trata de trecho no qual o fluxo de detritos começa a deposição.
	Erosão do fundo e margens do vale	Pouca	Por se tratar de trecho de escoamento/deposição, julgou-se que a erosão é pouco representativa.
	Área de conservação a montante do ponto de referência	Nenhum	Confirmações feitas através de fotos aéreas e levantamentos de campo.
	Modalidade do fluxo de detritos	Tipo cascalho	Julgou-se que o fluxo de detritos é do tipo cascalho, contendo grande quantidade de solo residual intemperizado de granulometria fina.
	Distância do alvo da proteção	Perto	Confirmação feita em levantamento de campo.
	Solução de engenharia	Barreira sabo impermeável	Considerou-se que no local de origem do material há a preseça de grande quantidade de solo residual intemperizado; considerou-se tambem que os blocos gigantes envolvidos no desastre de 2011 não foram transportados pelo fluxo de detritos, mas caíram das encostas circunvizinhas.
Caso b. Obras para o controle da ocorrência	Tipo de movimento	Trechos de ocorrência/escoamento	Caso pretenda-se conter a ocorrência do fluxo de detritos apenas com obras de controle na origem, será necessário ter como foco os trechos inteiros de ocorrência e de escoamento.
	Origem do material	Concentrado no veio do vale, nos trechos de ocorrência/ escoamento	Foi confirmado em campo que a origem do material está distribuída no leito e ao longo das encostas das margens do talvegue por todo o trecho de origem/escoamento, cerca de 300m de comprimento total.
	Posição da origem do material	Dentro do vale e nas encostas das margens do talvegue	Confirmado em campo
	Solução de engenharia	Conjunto de barreiras sabo baixas e obras para impedir rupturas nas encostas das margens	Julgou-se que será necessário estabilizar, tanto a espessa camada de solo residual intemperizado presente nas encostas das margens, bem como o material grosseiro depositado no leito do talvegue.

Fonte: Elaborado pelo Projeto Sabo

Figura 1.8.1 Seleção do tipo de solução de engenharia seguindo o fluxo grama



Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

1.8.2 Comparação entre as obras de controle da ocorrência e de retenção

Neste tópico, desenvolve-se a análise comparativa entre o caso a., proposta de obra de retenção de fluxos de detritos, e o caso b., proposta de obra de controle da ocorrência de fluxos de detritos.

No caso a. será necessária uma barreira sabo impermeável, com altura útil de 10,0m (H=10,0 m) para reter os 10.923 m3 , correspondentes ao volume de material, incluindo os troncos carreados.

Já no caso b. serão necessárias 10 barreiras sabo com altura de 5m (H=5) ou 5 barreiras sabo com altura de 10m (H=10). Portanto, concluiu-se que o caso a. demonstra mais eficiência por exigir apenas uma barreira.

Tabela 1.8.2 Comparação da proposta de obra de retenção de fluxos de detritos, caso a., e a proposta de obra de controle da ocorrência do fluxo de detritos, caso b.

Proposta de obra de retenção do fluxo de detritos （Uma barreira sabo impermeável）		Proposta de obra de controle da ocorrência do fluxo de detritos （Várias barreiras sabo impermeáveis sequenciais）			
Caso	a	Caso	b-1	b-2	b-3
Altura útil da barreira	10 m	Altura útil de cada barreira	5 m	8 m	10 m
Volume do controle da ocorrência (carreamento) do plano	5,482 m^3 (Estabilização obtida pela deposição do volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvegue distribuído no trecho entre as seções 3 e 6.)	Comprimento médio da deposição de cada barreira	30 m	36 m	60 m
Volume de retenção do plano	5,642 m^3	Quantidade de barreiras necessárias para estabilizar, através de deposição de material, todo o trecho do vale, cerca de 300m.	10 barreiras	8 barreiras	5 barreiras
Volume de eficácia das instalações	11,124 m^3				
Volume total dos detritos do plano	10,923 m^3				
Taxa de retenção	100 %				

Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

1.8.3 Comparação da barreira de retenção de fluxo de detritos

(1) Dois locais elegíveis para a construção da barreira sabo

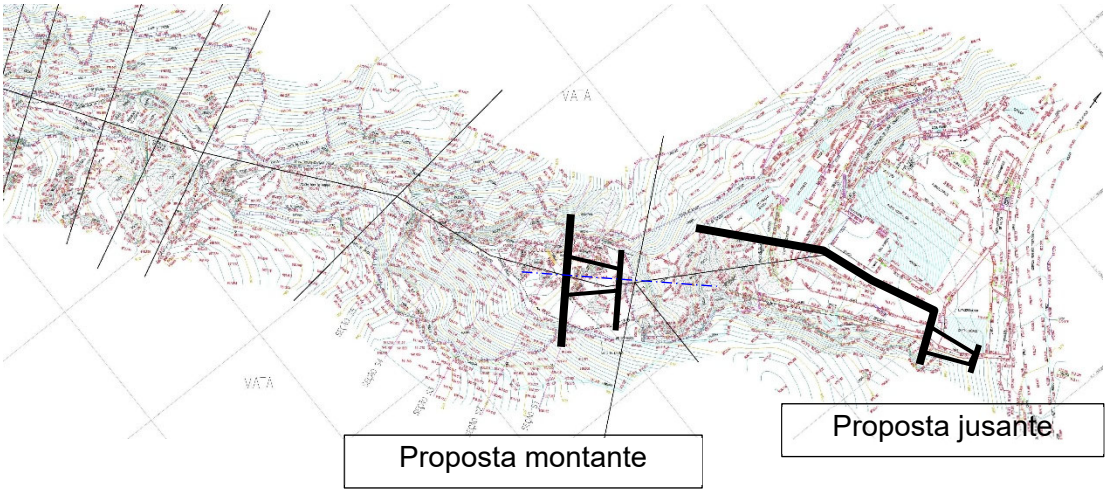
Existe um local apropriado para a construção da barreira sabo com objetivo de reter fluxos de detritos, situado a montante do alvo da proteção, sendo ampla a largura da saída do vale imediatamente a montante, cuja inclinação do talvegue é de 8º. Esta posição será chamada de "proposta montante". No local da proposta montante existem matacões que caíram das encostas circunvizinhas, durante o fluxo de detritos ocorrido em janeiro de 2011, configurando um problema para a construção da fundação da barreira, sendo necessário estabilizá-los ou removê-los.

Há também outro local apropriado para a construção da barreira sabo, situado logo ao lado do

Hospital São Lucas, imediatamente a jusante da saída do vale, cuja inclinação é de 8º. Esta posição será chamada de "proposta jusante". No lado leste desse local, a topografia apresenta linha de crista, mas no lado oeste não tem esse tipo de relevo, fato que exigirá a construção de uma parede para conter o escoamento do fluxo, havendo a possibilidade de aumentar bastante o custo da obra.

Para ambas as posições acima descritas, foi analisado o porte necessário das estruturas para fazer frente aos 10.923 m3, correspondentes ao volume total de detritos do plano, além de terem sido elencados os problemas restantes.

Figura 1.8.2 Propostas de posicionamento da barreira de retenção de fluxo de detritos



Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

(2) Proposta de construção a montante

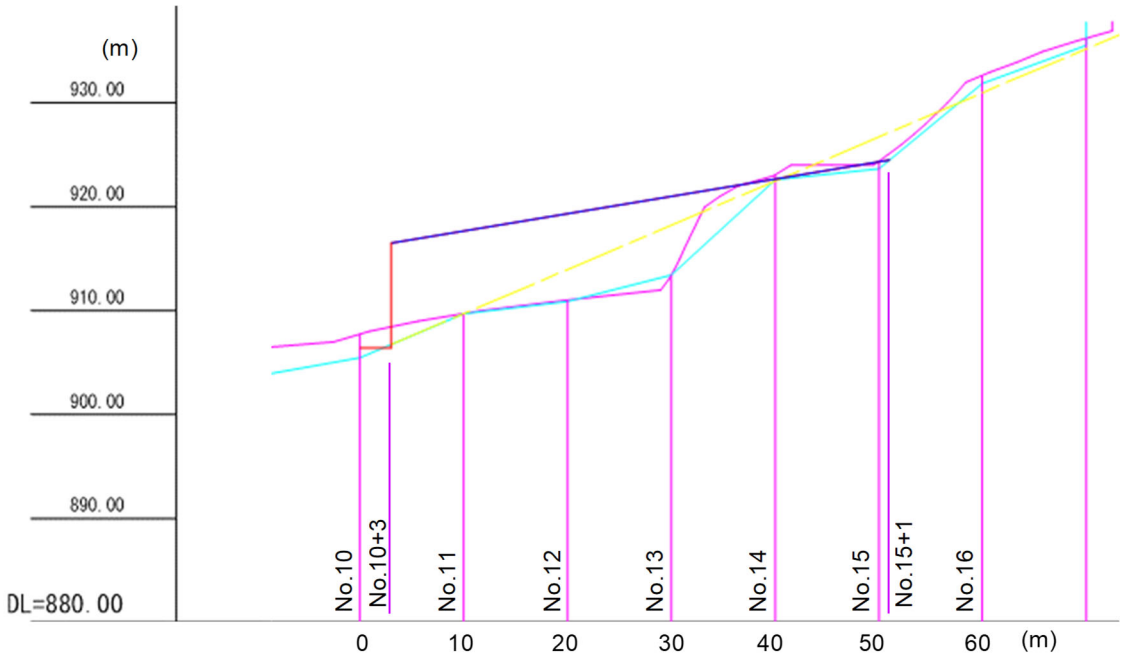
A barreira sabo é posicionada em trecho com inclinação relativamente suave, que comporte a barreira principal e a barreira complementar. A barreira da proposta a montante não somente retém o fluxo de detritos, mas também exerce a função de estabilizar os 5.482 m3 do volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvegue existente entre as seções 3 e 6. Caso altura da barreira seja definida em 12 m, a sua eficácia será de 5.642 m3 correspondente ao volume de retenção do fluxo de detritos somado ao volume do controle da ocorrência (carreamento) de 5.482 m3, totalizando 11.124 m3. A estimativa do volume de concreto fica em 4.558 m3. (vide tabela 1.8.3, figuras 1.8.3 e 1.8.4)

Tabela 1.8.3 Volume de retenção do fluxo de detritos da barreira sabo na proposta montante

Local da medição	Distância simples (m) (a)	Cota do leito (m)	Altitude da superfície de deposição de projeto (m)	Comprimento da seção transversal (m)	Área da seção (m^2) (b)	Volume (m^3) (c)= (a)x ((b)+(b)')/2
N.° 10+ 3	0,000	908,45	916,50	45,30	314,420	0,0
N.° 11+ 0	7,000	909,73	917,67	40,26	271,632	2.051,2
N.° 12+ 0	10,000	911,02	919,33	24,31	145,997	2.088,2
N.° 13+ 0	10,000	913,45	921,00	18,63	76,609	1.113,0
N.° 14+ 0	10,000	923,09	922,67	1,59	0,048	383,3
N.° 15+ 0	10,000	924,39	924,33	2,48	1,152	6,0
N.° 15+ 1	1,035	924,51	924,51	0,00	0,000	0,6
Total						5.642,3

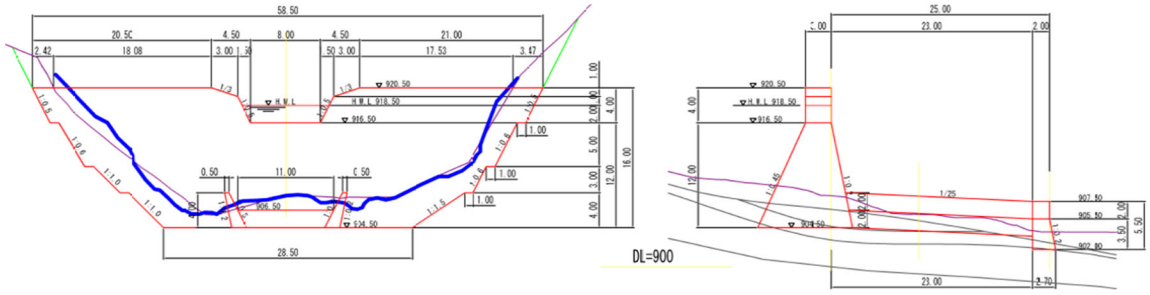
Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

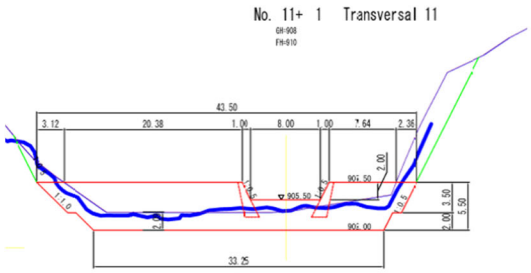
Figura 1.8.3 Abrangência da retenção de fluxos de detritos da barreira sabo na proposta montante (do N.o 10+3 até N.o 15+1)



Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

Figura 1.8.4 Cálculo estimativo do volume de concreto da barreira sabo na proposta montante





	Área da seção				Volume de concreto		
	b	B	H	A	L	A	V
main_wing	3	3	4	12	46	12	552
main_body	3	10.8	12	82.8	40	82.8	3,312
sub_wing	2	2	2	4	28	4	112
sub_body	2	2.7	3.5	8.225	35	8.225	288
apron	8	6	2	14	21	14	294
side wall	0.5	1.3	4	3.6	21	3.6	76
Total							4,558

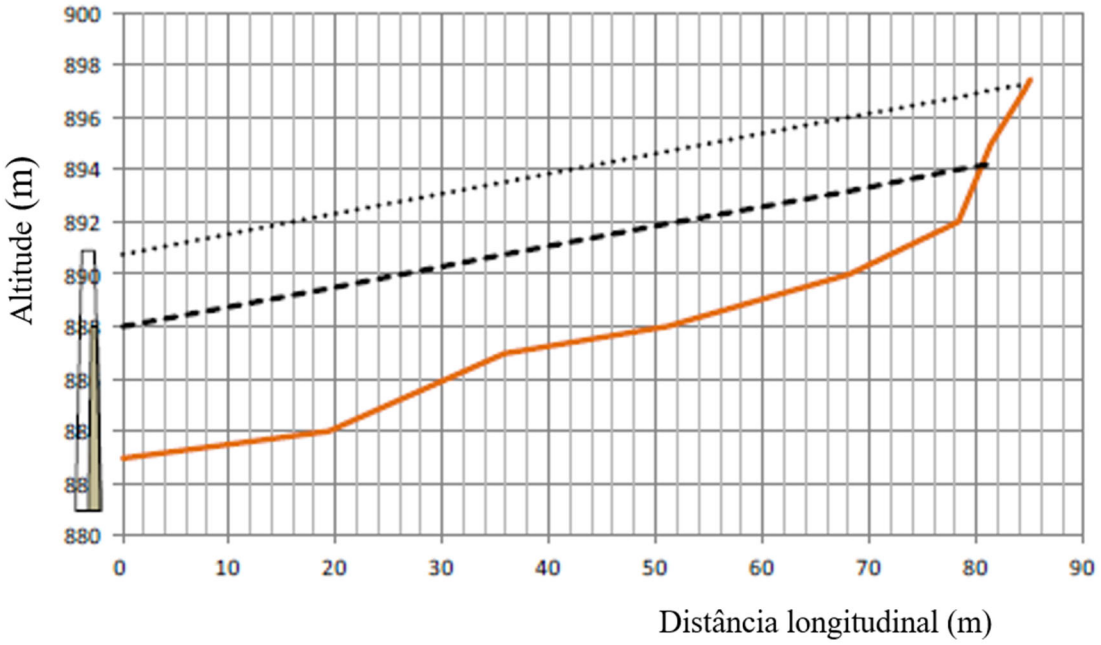
Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

(3) Proposta de construção a jusante

O volume de retenção do fluxo de detritos da proposta jusante foi calculado e demonstrado na figura 1.8.5. No perímetro em que ocorre a deposição do material, em função da construção da barreira sabo, o valor do material potencialmente instável é zero, portanto também fica zerado o volume do controle da ocorrência (carreamento) do fluxo de detritos. Para reter o volume total de detritos do plano, 10.923 m3, a barreira sabo ficará com a altura de 9,8 m, supondo que a sua fundação tenha 2 m, totalizando 7,8 m de altura útil.

As figuras 1.8.6 e 1.8.8 demonstram o formato e o volume de concretagem do corpo da barreira sabo. Será necessário o volume de concreto de 7.735 m3 para reter o volume total dos detritos, porém a distância do prédio principal do Hospital fica em zero. Existe a possibilidade de que as escavações para a construção da barreira impactem na estrutura do hospital, além da desvantagem de perder praticamente toda a área do estacionamento.

Figura 1.8.5 Abrangência da retenção de fluxos de detritos da barreira sabo na proposta jusante



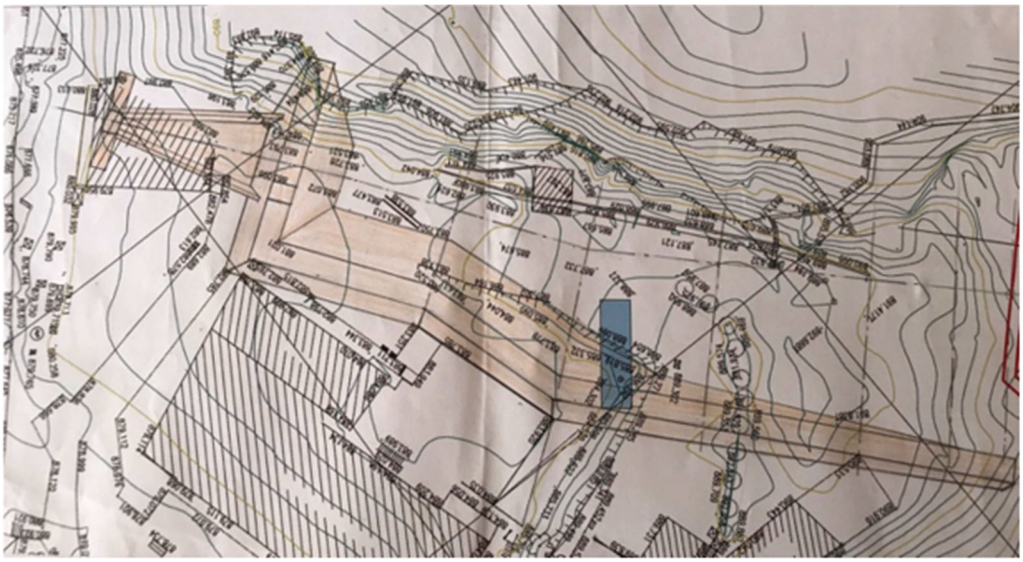
Fonte: Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil/Ministério da Integração Nacional (2018): Volume 4 - Manual Técnico para Intervenções Estruturais para Fluxo de Detritos, Projeto Gides

Tabela 1.8.4 Volume de retenção do fluxo de detritos da barreira sabo na proposta jusante

Distância longitudinal (m)	Largura da bacia de deposição (m)	Altitude do córrego (m)	H=9,8m (altura efetiva=7,8m)			H=7m (altura efetiva=5m)		
			Altitude local deposição (H=9,8m)	Área transversal Local deposição (H=9,8m)	Volume deposição (H=9,8m)	Altitude local deposição (H=7m)	Área transversal local deposição (H=7m)	Volume deposição (H=7m)
0,00	17,7	883	890,80	138,0		888,00	88,4	
19,39	18,4	883	892,29	152,2	2.813	889,49	100,8	1.834
35,71	23,8	887	893,54	155,7	2.513	890,74	89,0	1.549
51,02	21,4	888	894,71	143,9	2.292	891,91	83,9	1.323
68,03	17,7	890	896,02	106,4	2.128	893,22	56,9	1.197
78,23	18,7	892	896,80	89,8	1.001	894,00	37,4	481
81,29	18,7	895	897,03	38,1	196	894,23		
84,3	18,7	897	897,27					
85		897,5						
	Inclinação média	8,69		Total do volume de deposição	10.944		Total volume deposição	6.385
	Inclinação de deposição	13,04		Volume escoamento de detritos	10.923			

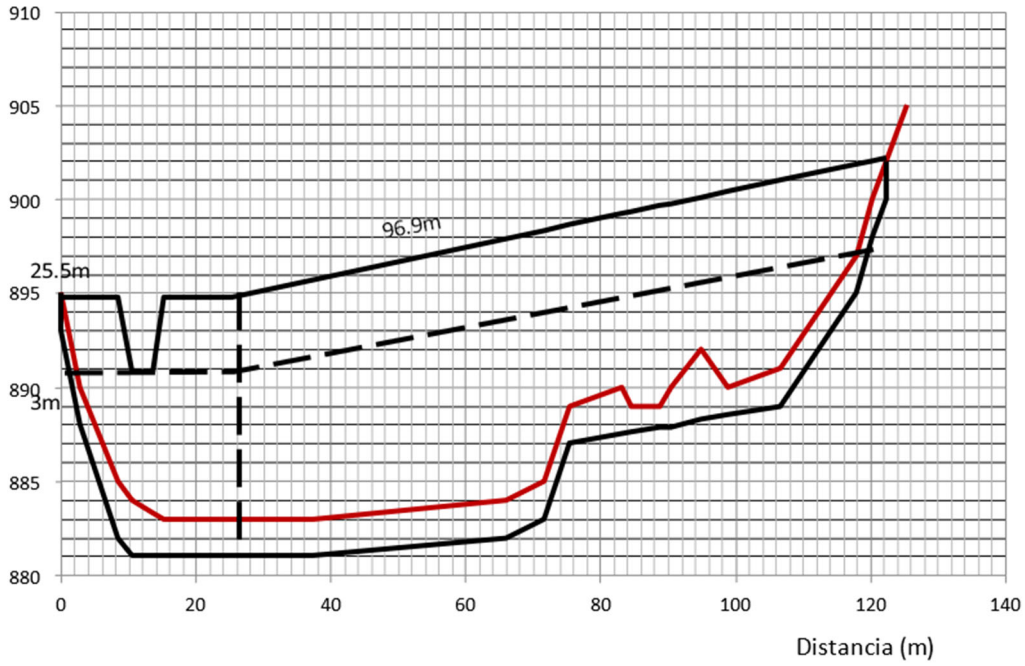
Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

Figura 1.8.6 Layout da barreira referente à proposta jusante



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

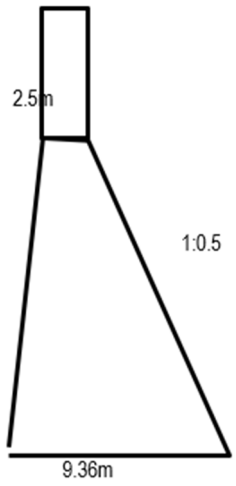
Figura 1.8.7 Trecho do cálculo do volume de retenção dos fluxos de detritos da propostajusante



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

Figura 1.8.8 Cálculo estimativo do volume de concreto da barreira sabo proposta jusante

Distância	Área Transversal	Volume da Barreira
0,00	4,5	
8,50	59,1	270
10,54	58,11	120
13,60	58,11	178
15,30	68,11	107
25,50	68,11	695
71,74	83,42	3.503
75,48	49,47	249
106,76	52,66	1.597
122,40	16	537
Volume Total		7.256



Calha de dissipação	Largura a Montante	Largura a Jusante	Extensão	Espessura	Volume
	8,5	2	18	2	189
Parede Lateral	Largura Coroamento	Largura Fundação	Altura	Extensão	Volume
	0,3	1,5	6	20	216
Parede Vertical					
	2	2	3	12,4	74
Total					479
Volume total do concreto					7.735

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

1.9 Decisão da posição

1.9.1 Escolha da melhor proposta

Para reter o volume total de detritos do plano, a proposta montante requer 12 m de altura, enquanto a jusante precisa ter 10 m.

Na proposta jusante existe a possibilidade de as escavações para a construção da barreira impactarem a estrutura do hospital, além da desvantagem de perder praticamente toda a área do estacionamento, portanto não é adequada. Além disso, o volume de concreto da proposta jusante é 69% maior, quando comparado com a proposta montante, sendo assim economicamente ineficiente.

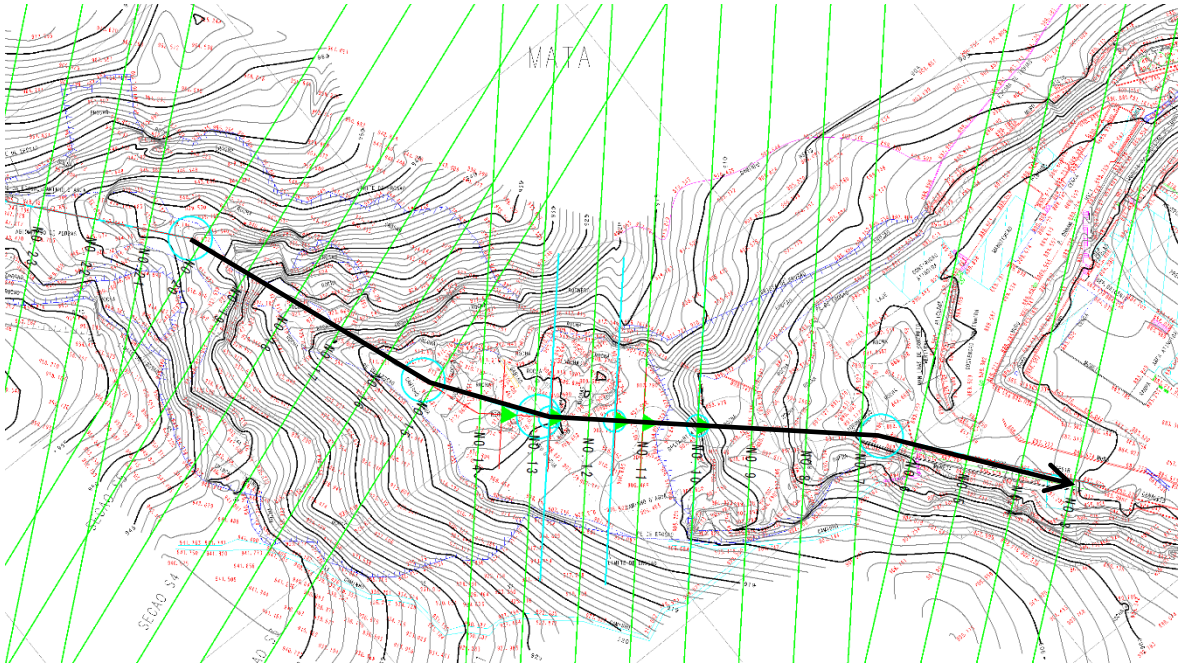
Frente ao exposto, do ponto de vista de segurança do hospital e da economicidade, a proposta montante será adotada.

1.9.2 Análise do eixo da barreira

(1) Definição da linha central do escoamento

Para analisar a proposta jusante do eixo da barreira sabo foi definida a linha central do escoamento na mesma posição à qual se estima que seja o centro do escoamento do fluxo de detritos. A definição considera a linha central do talvegue-alvo, pela qual se estima que o escoamento do fluxo de detritos percorra o meio da topografia de vale. O eixo da barreira sabo é posicionado de modo perpendicular à linha central.

Figura 1.9.1 Proposta de linha central



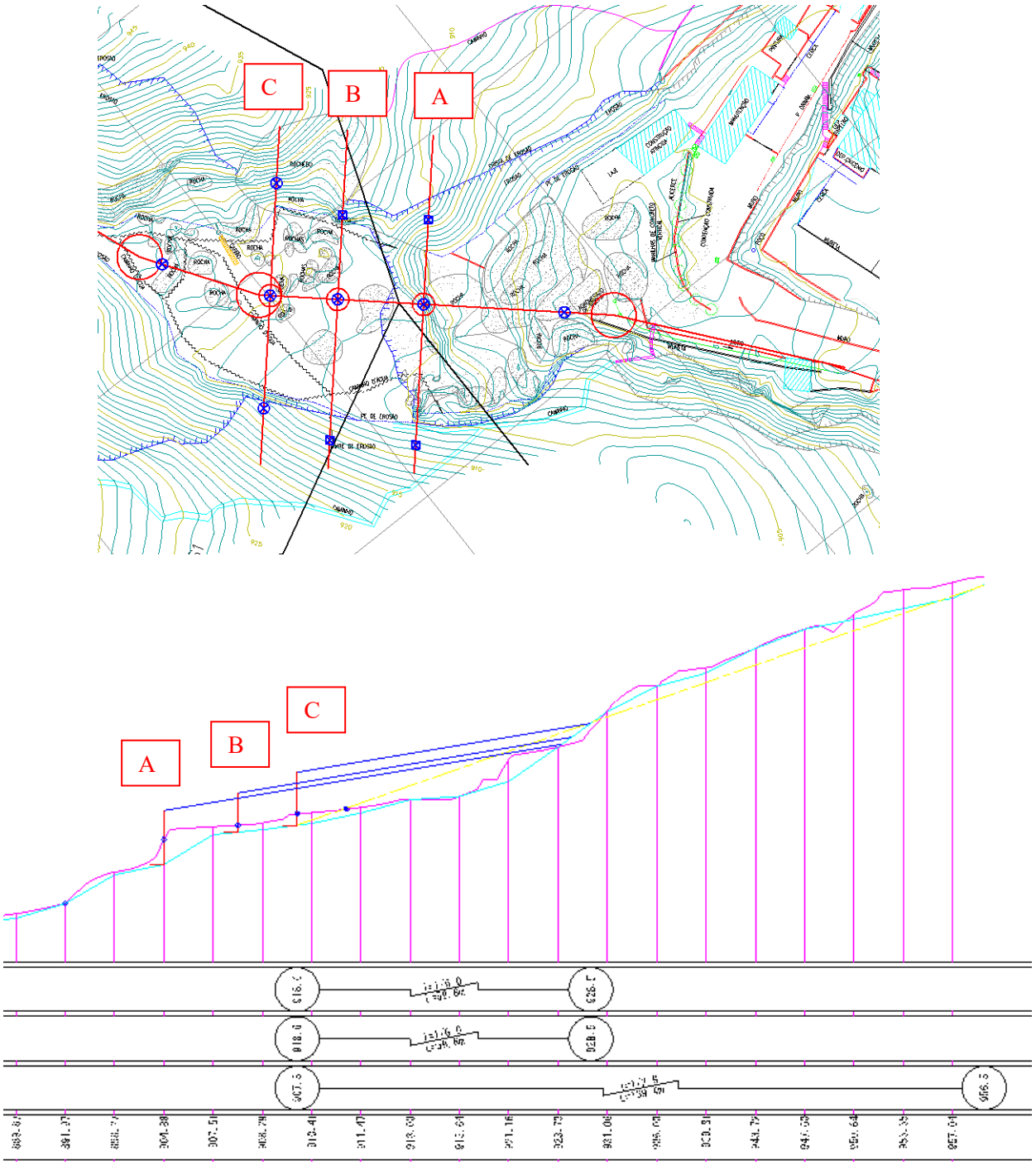
Fonte: Elaborado pelo Projeto Sabo

(2) Análise do eixo da barreira

Foi feita a análise de posicionamento do eixo da barreira na proposta a montante. Foram estudadas 3 posições para o eixo, sendo uma mais a jusante, eixo A, uma posição intermediária, eixo B, e uma posição mais a montante, eixo C. Caso a barreira seja construída com o eixo posicionado mais a jusante, tanto a barreira principal, como a barreira complementar ficarão sobre o depósito de blocos rochosos ali existente. Já no caso da posição intermediária, a barreira principal ficaria sobre material sedimentado e a barreira complementar, sobre os blocos. Na posição mais a montante, ambas ficam sobre o material sedimentado.

É desejável que a barreira principal e a proteção de calha a jusante sejam instaladas em locais cujo terreno da fundação seja o mais estável possível, razão pela qual julgou-se a posição do eixo C, o mais a montante, a melhor posição dentre as três analisadas.

Figura 1.9.2 Propostas de posicionamento do eixo



Fonte: Elaborado pelo Projeto Sabo

(3) Análise da altura da barreira

Nesse cenário, com a construção de uma barreira sabo com a altura útil de 10,0m, altura total de 12,0m, foi proposto o plano de alocação de instalações sabo capaz de reter 10.923 m3 do volume de sólidos carreados de projeto, tabela 1.9.1. Os sólidos sedimentados na bacia incluem blocos extremamente grandes, mas, por outro lado, apresentam também sedimentos muito finos, oriundos

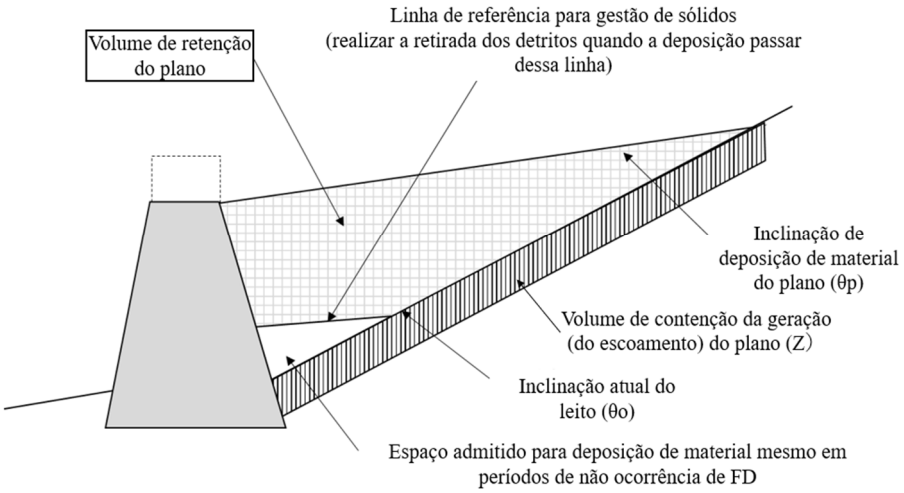
da intemperização de rochas graníticas, motivo pelo qual adotou-se a barreira sabo do tipo impermeável. Vale destacar que a barreira sabo impermeável sofre redução da sua capacidade de retenção nos períodos de normalidade devido ao carreamento de material que sedimenta no bolsão de deposição, portanto deve-se realizar a remoção periódica dos detritos para assegurar o espaço necessário para o volume de retenção de sólidos de projeto.

Tabela 1.9.1 Estimativa do tamanho da barreira sabo

Número	Tipo	Estrutura	Altura útil (m)	Volume de retenção de sólidos de projeto (m^3)	Volume de contenção da geração de projeto (m^3)	Volume de eficácia das instalações (m^3)
1	Projeto	Barreira sabo impermeável	10	5.642	5.482	11.124
Total						11.124
Volume de sólidos carreados de projeto (m^3)						10.923
Taxa de retenção da bacia						100%

Fonte: Elaborado pelo Projeto Sabo

Figura 1.9.3 Função de retenção de sólidos da barreira impermeável:

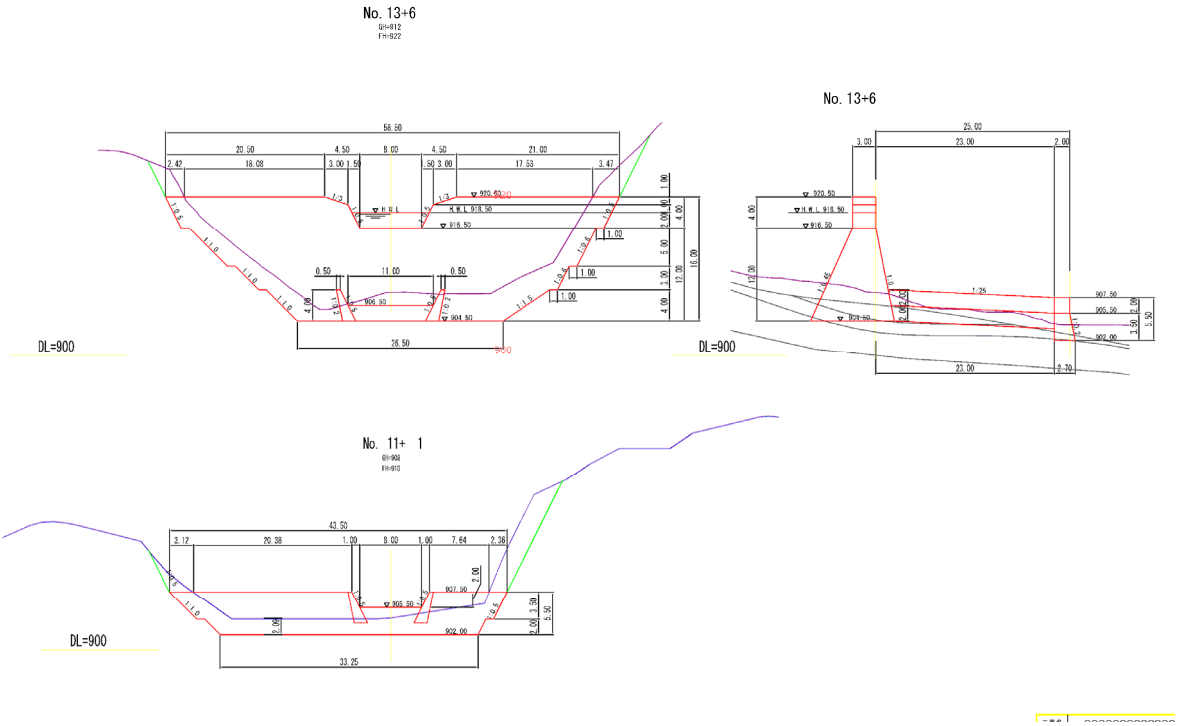


Fonte: Elaborado pelo Projeto Sabo

1.9.3 Elaborando o projeto básico

A fim de identificar os impactos das obras, tais como escavações e outros aspectos, além da interferência na paisagem, foi elaborado o projeto básico das instalações, conforme o local do eixo escolhido para a barreira sabo. No município de Nova Friburgo, além do projeto básico, foram confeccionadas plantas em 3D, ambos utilizados para o debate com os atores envolvidos.

Figura 1.9.4 Projeto básico da barreira sabo



Fonte: Elaborado pelo Projeto Sabo

Figura 1.9.5 Planta em 3D elaborada com base no projeto básico



Fonte: Elaborado pelo Projeto Sabo

1.10 Recomendações para a implementação da solução

Próxima Etapa: Elaboração do Projeto Básico

- Avaliar alternativas de otimização no arranjo da solução concebida, com vistas a reduzir os custos referentes à barreira complementar(pode ser feito quando for desenvolvido o projeto básico, na etapa de estudos preliminares);
- Necessidade de conceber e estimar os custos para conectar o canal de drenagem existente com o canal da barreira;
- Avaliar as dificuldades do acesso para a construção da obra;
- Necessidade de gestão cooperativa entre os entes envolvidos no projeto;
- Chamamento público para envolvimento da comunidade e os diferentes entes públicos.

1.11 Referência bibliográfica

[Bibliografia]

Pelizoni, A. B. (2014). Análise de Fluxo de Detritos na Região Serrana Fluminense. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de MEstre em Engenharia Civil.

Pelizoni, A., & Nunes, A. L. (outubro de 2016). Análise do Fluxo de Detritos Córrego D'Antas-Nova Friburgo-RJ. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, pp. doi:10.20906/CPS/CB-09-0024.

TCE-RJ. (20015). Estudos socioeconômicos dos municípios do Estado do Rio de Janeiro-Nova Friburgo.

[Material de referência]

- Fundamentação do cálculo para determinar o volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvegue

Fundamentação do cálculo para determinar o volume potencialmente instável nas encostas e ao longo do talvegue

Seção	s3-s4
Área 1	449 m²
dist	18,3 m
Vol (Prisma)	4108,4 m³

Seção	s4-s5
Área 1	63 m²
dist	18,3 m
Vol (Prisma)	576,5 m³

Seção	s5-s6
Área 1	37,2 m²
dist	16,4 m
Vol (Prisma)	737,0 m³

Seção	s10-s11*
Área 1	43,83 m²
dist	14 m
Vol (Prisma)	306,8 m³

Seção	s11*-s11
Área 1	43,83 m²
Área 2	43,83 m²
Dist	12,4 m
Vol.	815,24 m³

Seção	s11-s12
Área 1	43,83 m²
dist	30 m
Vol (Prisma)	657,5 m³

Seção	s12-s13
Área 1	11,74 m²
dist	13,7 m
Vol (Prisma)	80,4 m³

Seção	s13-s14
Área 1	11,74 m²
dist	18,5 m
Vol (Prisma)	108,6 m³

Seção	S15-S16
Área 1	42,7 m²
dist	8,2 m
Vol (Prisma)	175,1 m³

Seção	s16-s17
Área 1	42,7 m²
Área 2	42,7 m²
Dist	27,8 m
Vol.	1780,6 m³

Seção	s17-s18
Área 1	42,7 m²
dist	68,7 m
Vol (Prisma)	1466,7 m³

		S4-S5	S3-S4	S6-S5	S11-S11*	S11*-S10	S11-S12	S12-S13	S13-S14	S15-S16	S16-S17	S17-S18	Total
Área 1	m²	63	449	97,2	43,83	43,83	43,83	11,74	11,74	42,7	42,7	42,7	
Área 2	m²	0	0	0	43,83	0	0	0	0	0	42,7	0	
Dist	m	18,3	18,3	16,4	12,4	14	30	13,7	18,5	8,2	27,8	68,7	
Vol	m³	576	4.108	797	815,238	307	657	80	109	175	1780,6	1.467	10.572,76
		(Prisma)	(Prisma)	(Prisma)		(Prisma)	(Prisma)	(Prisma)	(Prisma)	(Prisma)		(Prisma)	

OBS 1: Foi considerada a partir da S3 pois daí para jusante a inclinação é inferior a 1/10
OBS 2: Entre as seções S9 E S6 foi considerada baixa possibilidade de erosão devido ao afloramento rochoso.

Área 1: Cálculo da área na qual se estima o aumento da erosão no sentido longitudinal

Seção	s3-s4	s4-s5	s5-s6	s10-s11* s11*-s11 s11-s12	s12-s14	s15-s16 s16-s17 s17-s18
Profundidade da erosão D (m)	8	7	7	8	4	20
Largura da erosão B (m)	112,25	18	27,77	10,9575	5,87	4,27
Área 1 (m²)	449	63	37,2	43,83	11,74	42,7

Área 2: Cálculo da área na qual se estima o aumento da erosão no sentido trasnversal

Seção	s11*-s11	s16-s17
Profundidade da erosão D (m)	7	8
Largura atual do vale (m)	6,26	5,34
largura do vale após a erosão B (m)	12,52	10,68
0.25B (m)	3,13	2,67
Área 2 (m²)	43,83	42,7

Fonte: Elaborada pelo Projeto Sabo

CAPÍTULO 2 PROJETO DE ENGENHARIA DAS ESTRUTURAS PARA PREVENÇÃO E RETENÇÃO DE FLUXOS DE DETRITOS

2.1 Visão geral do projeto de engenharia

2.1.1 Tarefas executadas

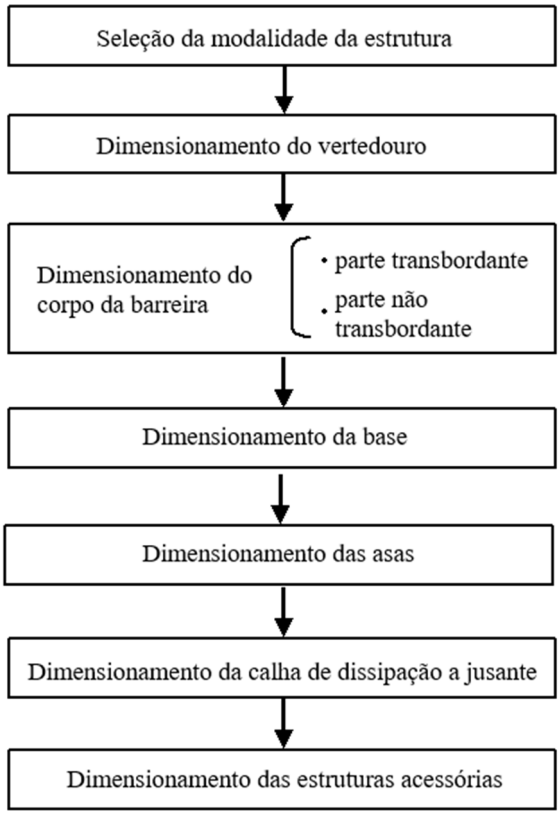
Para o talvegue-alvo foi adotada a barreira sabo impermeável com estrutura de gravidade em concreto. As etapas de elaboração do projeto de engenharia tiveram início com a seleção da modalidade de barreira, seguida dos dimensionamentos do vertedouro, do corpo principal, das asas, da chalha de proteção de jusante e das estruturas assessórias, foram elaboradas também as plantas do projeto. Adicionalmente, foram desenvolvidos os projetos de engenharia da via de acesso à obra e da via de manutenção, cujos desenhos também foram elaborados.

Vale destacar que o exemplo de projeto de engenharia da barreira sabo impermeável, apresentado nesta "Apresentação de Exemplos", é a compilação dos produtos desenvolvidos pelo Comitê Técnico, por sua vez composto de acadêmicos experientes.

2.1.2 Etapas do projeto de engenharia

Seguindo o Manual Sabo, o projeto de engenharia das intervenções no talvegue-alvo seguiu a sequência das etadas abaixo descritas. Destaca-se que as condições de projeto foram estabelecidas após a realização de levantamento de campo detalhado do local planejado para a implementação barreira sabo.

Figura 2.1.1 Etapas da elaboração do projeto de engenharia da barreira impermeável



Fonte: Elaborado pelo Projeto Sabo

2.1.3 Localização do talvegue

A intervenções indicadas neste projeto estão localizadas no Município de Nova Friburgo –RJ, na zona UTM 23K com coordenadas descritas na Tabela 2.1.1.

Tabela 2.1.1 Coordenadas dos pontos de intervenção

LOCAL	COORDENADAS UTM	
	LATITUDE (N)	LONGITUDE (E)
Barreira Sabo	7.536.400,00 m	753.550,00 m

Fonte: Memorial Descritivo Projetos de Implantação de Barreira Sabo, Estruturas de Contenção, Escavações e Complementações – Comitê Técnico, COPPE/UFRJ

Figura 2.1.2 Localização Macroscópica da Região.



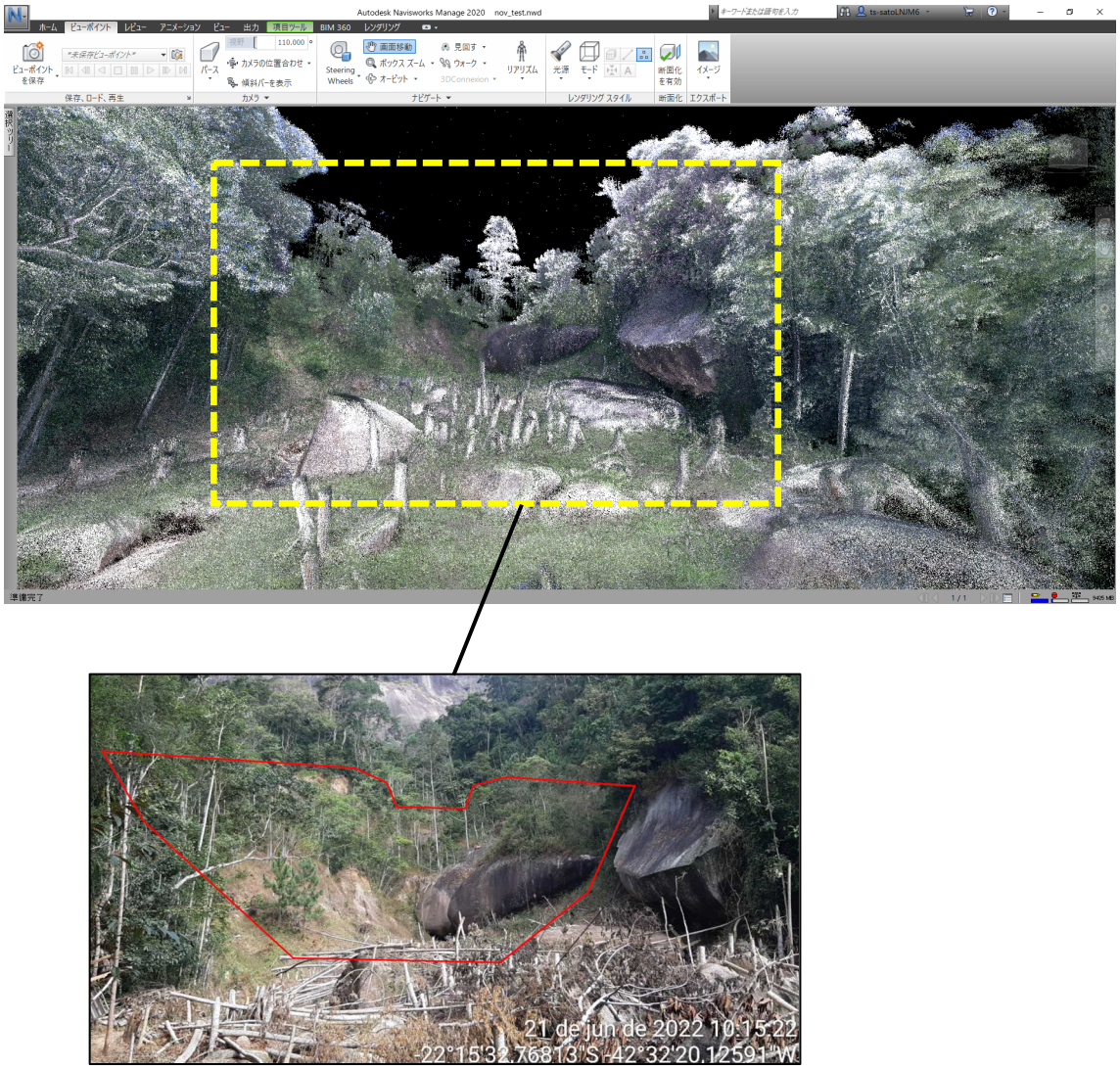
Fonte: Memorial Descritivo Projetos de Implantação de Barreira Sabo, Estruturas de Contenção, Escavações e Complementações – Comitê Técnico, COPPE/UFRJ

2.2 Levantamentos para a elaboração do projeto detalhado

2.2.1 Topografia

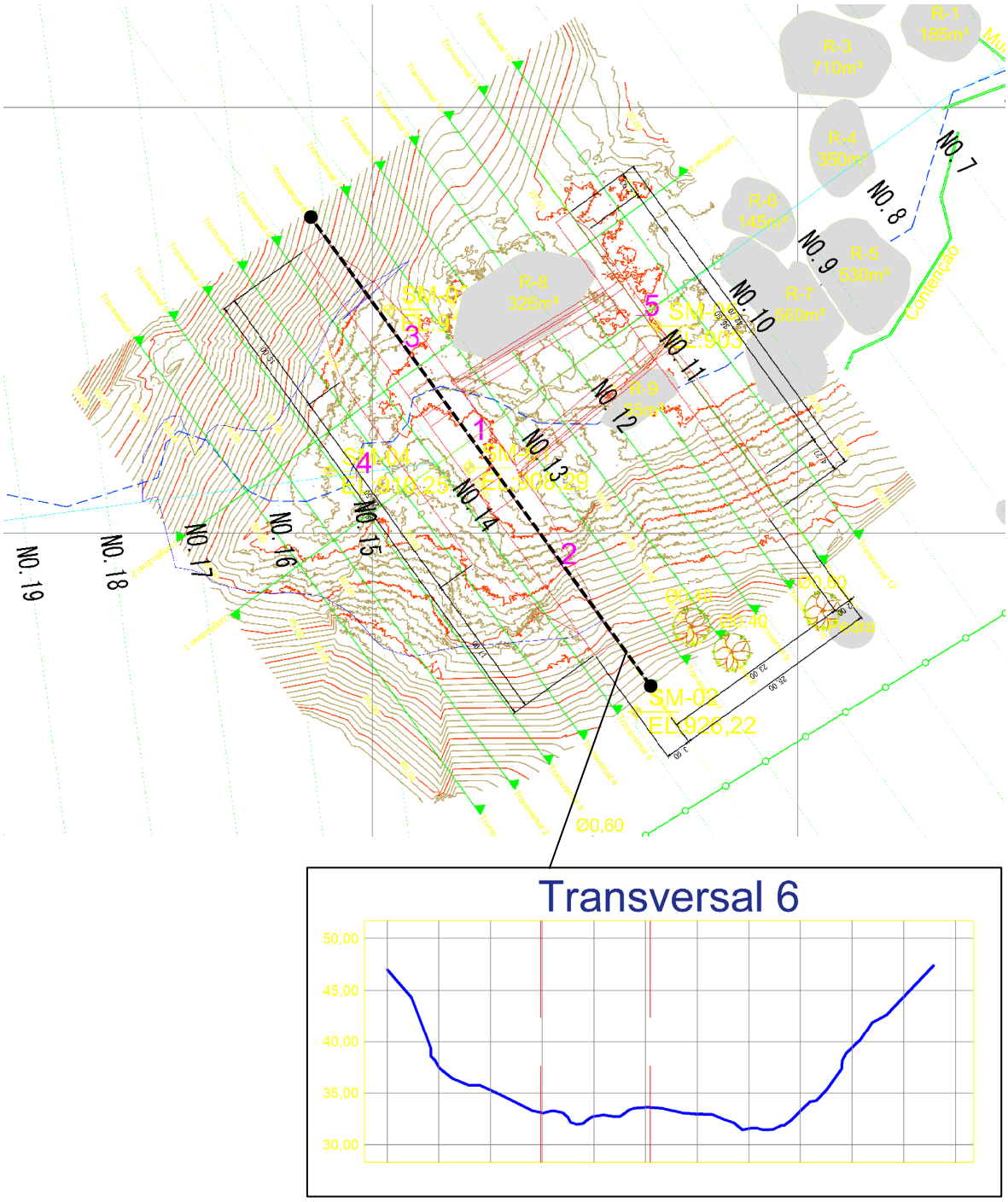
Foi executada a topografia de detalhe com o objetivo de elaborar o mapa topográfico a ser utilizado no desenvolvimento do projeto de engenharia da barreira sabo. Neste talvegue, há a presença de muitos blocos gigantes no local planejado para a barreira. A fim de representar adequadamente o formato complexo, foram realizadas topografia de superfície e topografia por laser terrestre, explicitando o relevo local, para então elaborar as seções topográficas transversais e longitudinais do eixo da barreira.

Figura 2.2.1 Produto da nuvem de pontos obtida com base na topografia por laser terrestre



Fonte: Elaborado pelo Projeto Sabo

Figura 2.2.2 Elaboração de mapas transversais a partir do produto da topografia por laser terrestre



Fonte: Elaborado pelo Projeto Sabo

Além da topografia, foram instaladas plaquetas geodésicas. Para servirem como referência, as plaquetas foram instaladas em vários locais que não seriam impactados pela execução das obras.

Figura 2.2.3 Plaquedas geodésicas instaladas nas proximidades do ponto de referência do plano da barreira sabo

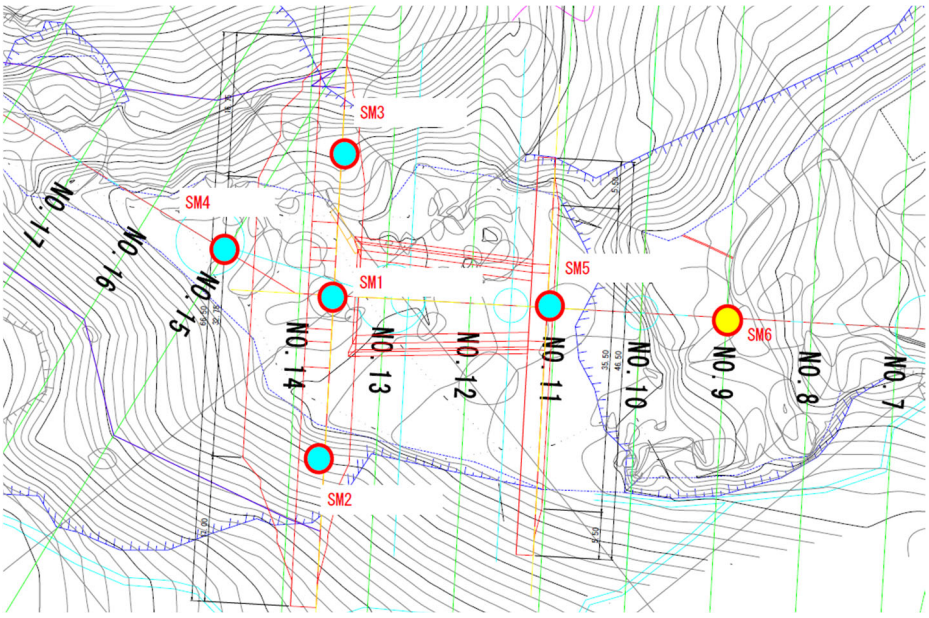


Fonte: Elaborado pelo Projeto Sabo

2.2.2 Levantamento geológico

Para especificar a geologia na posição da barreira sabo planejada e as condições de projeto, tais como a capacidade de suporte da fundação, foi realizada a investigação por sondagem nos lados a montante, a justante, bem como ao longo do eixo da barreira. A jusante da posição planejada para a barreira sabo, os blocos rochosos formam um patamar, portanto julgou-se desejável que o projeto de engenharia só fosse desenvolvido após a identificação das características geológicas dessa área. Os furos da sondagem foram definidos no centro e nas margens direita e esquerda da barreira principal, a montante, a jusante e ainda no patamar formado pela concentração de blocos. Por se tratar de investigação realizada para o projeto-piloto, focou-se em esclarecer as características geológicas da posição proposta no plano, enquanto a profundidade das perfurações foi até onde se pode constatar a base para a fundação.

Figura 2.2.4 Posição das perfurações da sondagem



Fonte: Elaborado pelo Projeto Sabo

Tabela 2.2.1 Posição das perfurações da sondagem

Posição dos Furos		
	X	Y
SM1	753.561,628	7.536.410,952
SM2	753.572,144	7.536.396,344
SM3	753.553,740	7.536.421,909
SM4	753.548,103	7.536.407,017
SM5	753.581,917	7.536.425,559
SM6	a definir	a definir

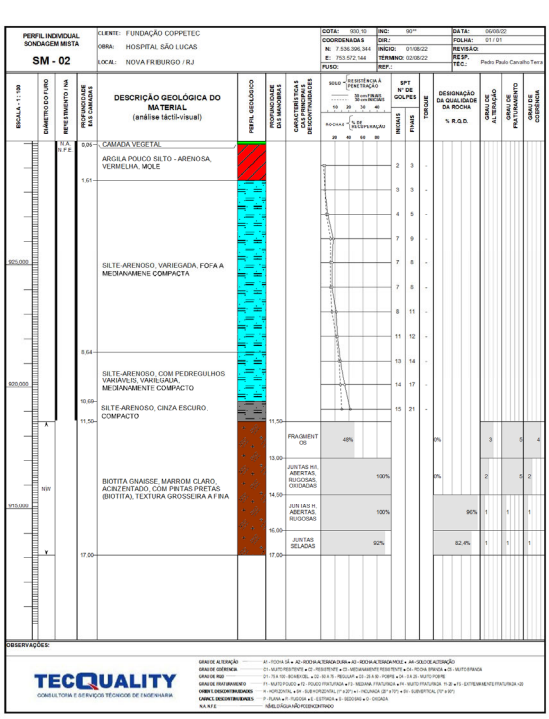
Fonte: Memorial Descritivo Projetos de Implantação de Barreira Sabo, Estruturas de Contenção, Escavações e Complementações – Comitê Técnico, COPPE/UFRJ

Figura 2.2.5 Produtos da sondagem (SM-1)



Fonte: Memorial Descritivo Projetos de Implantação de Barreira Sabo, Estruturas de Contenção, Escavações e Complementações – Comitê Técnico, COPPE/UFRJ

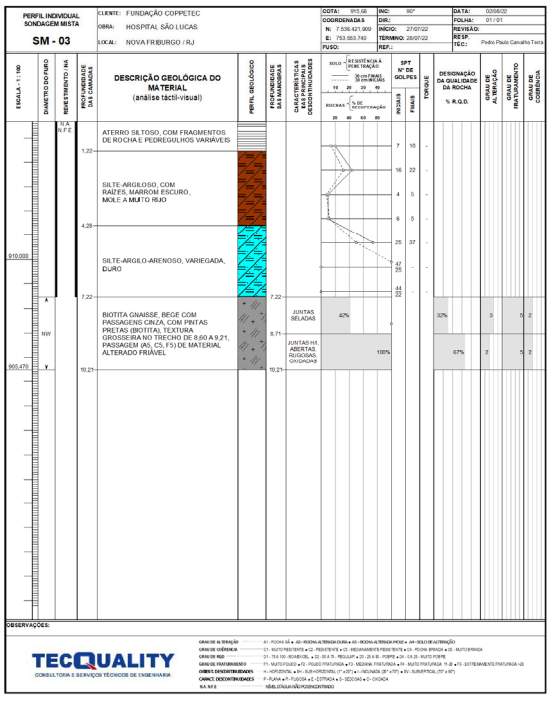
Figura 2.2.6 Produtos da sondagem (SM-2)

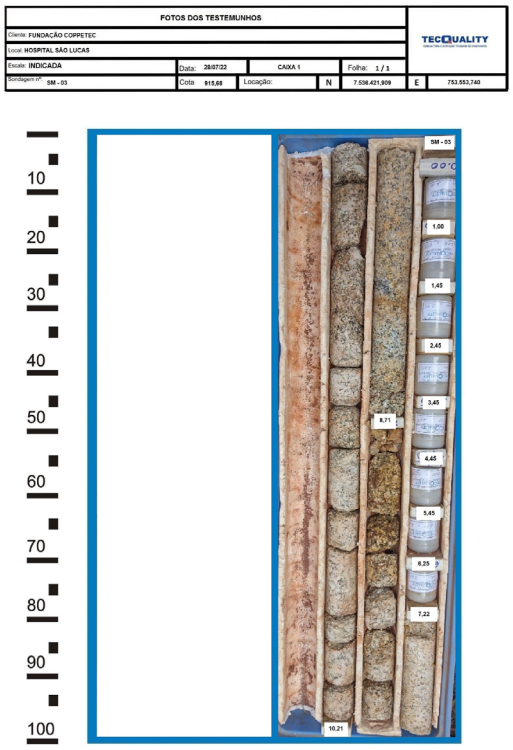




Fonte: Memorial Descritivo Projetos de Implantação de Barreira Sabo, Estruturas de Contenção, Escavações e Complementações – Comitê Técnico, COPPE/UFRJ

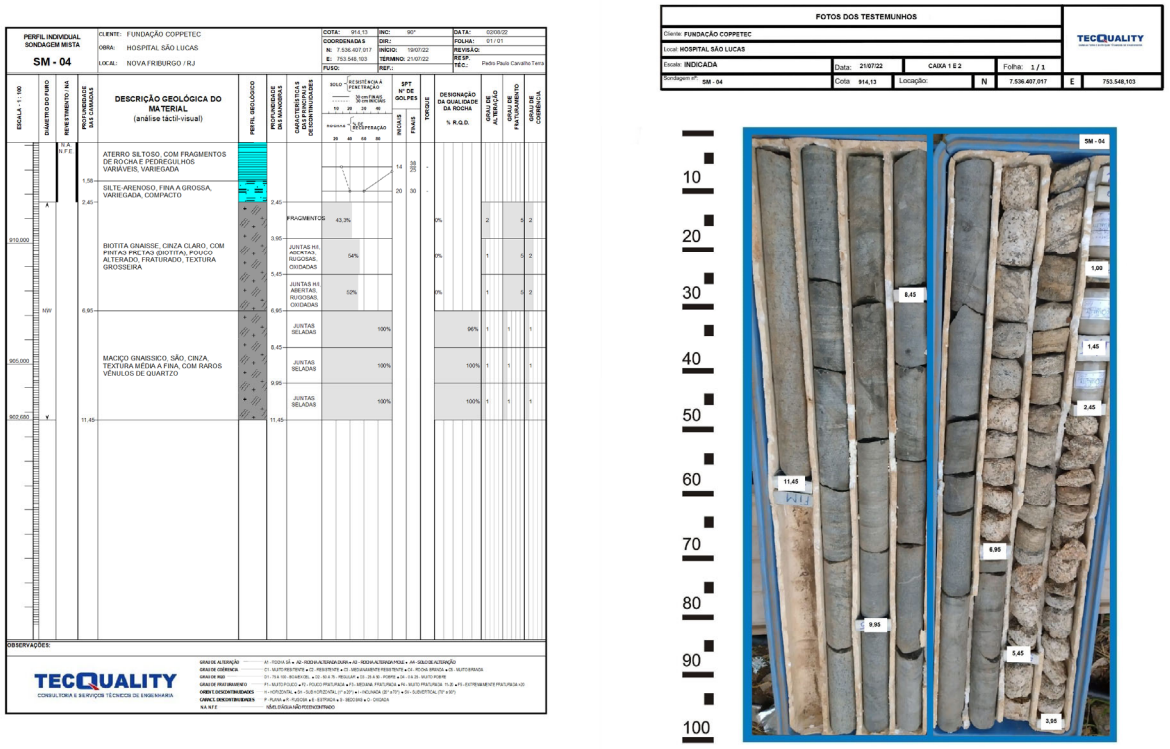
Figura 2.2.7 Produtos da sondagem (SM-3)





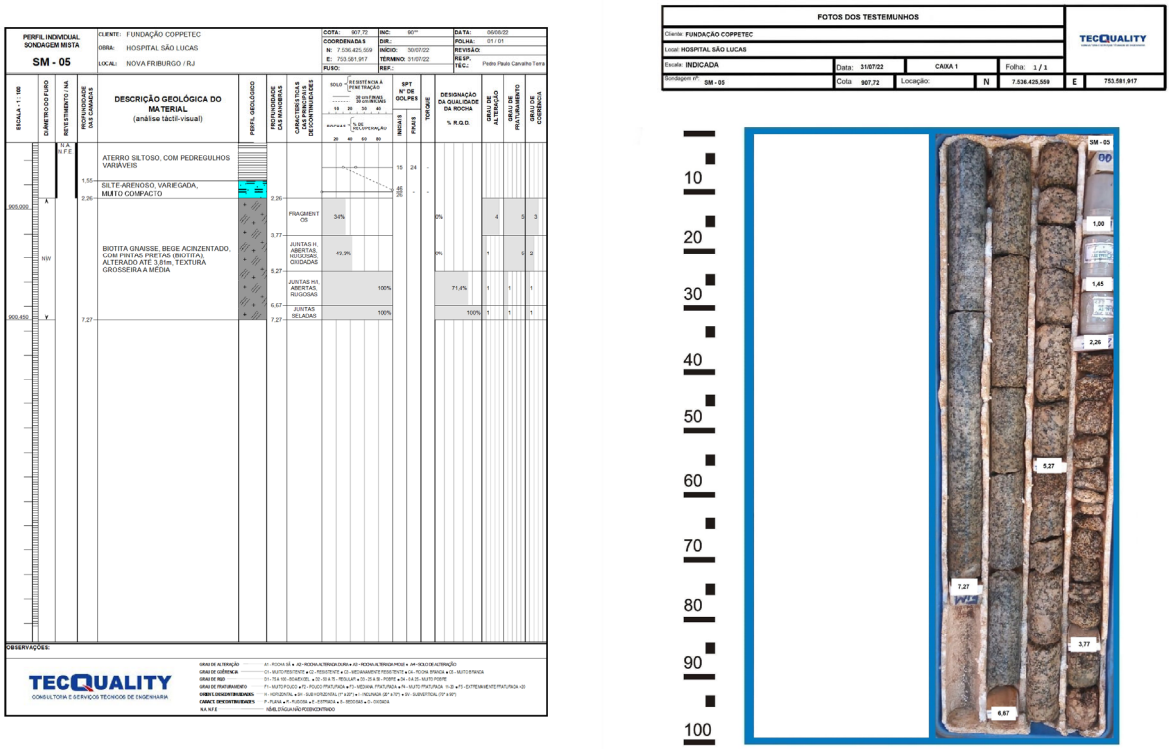
Fonte: Memorial Descritivo Projetos de Implantação de Barreira Sabo, Estruturas de Contenção, Escavações e Complementações – Comitê Técnico, COPPE/UFRJ

Figura 2.2.8 Produtos da sondagem (SM-4)



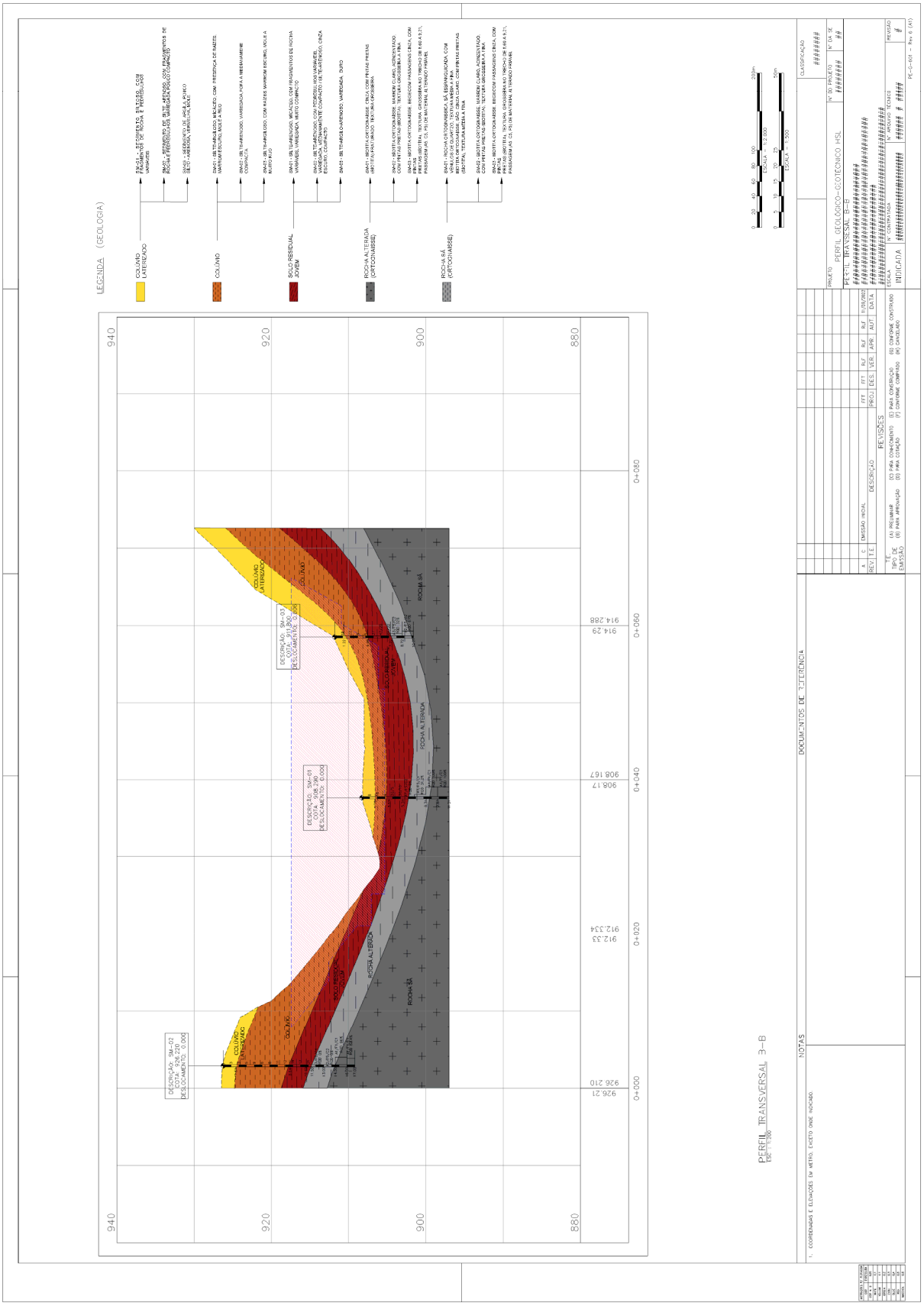
Fonte: Memorial Descritivo Projetos de Implantação de Barreira Sabo, Estruturas de Contenção, Escavações e Complementações – Comitê Técnico, COPPE/UFRJ

Figura 2.2.9 Produtos da sondagem (SM-5)



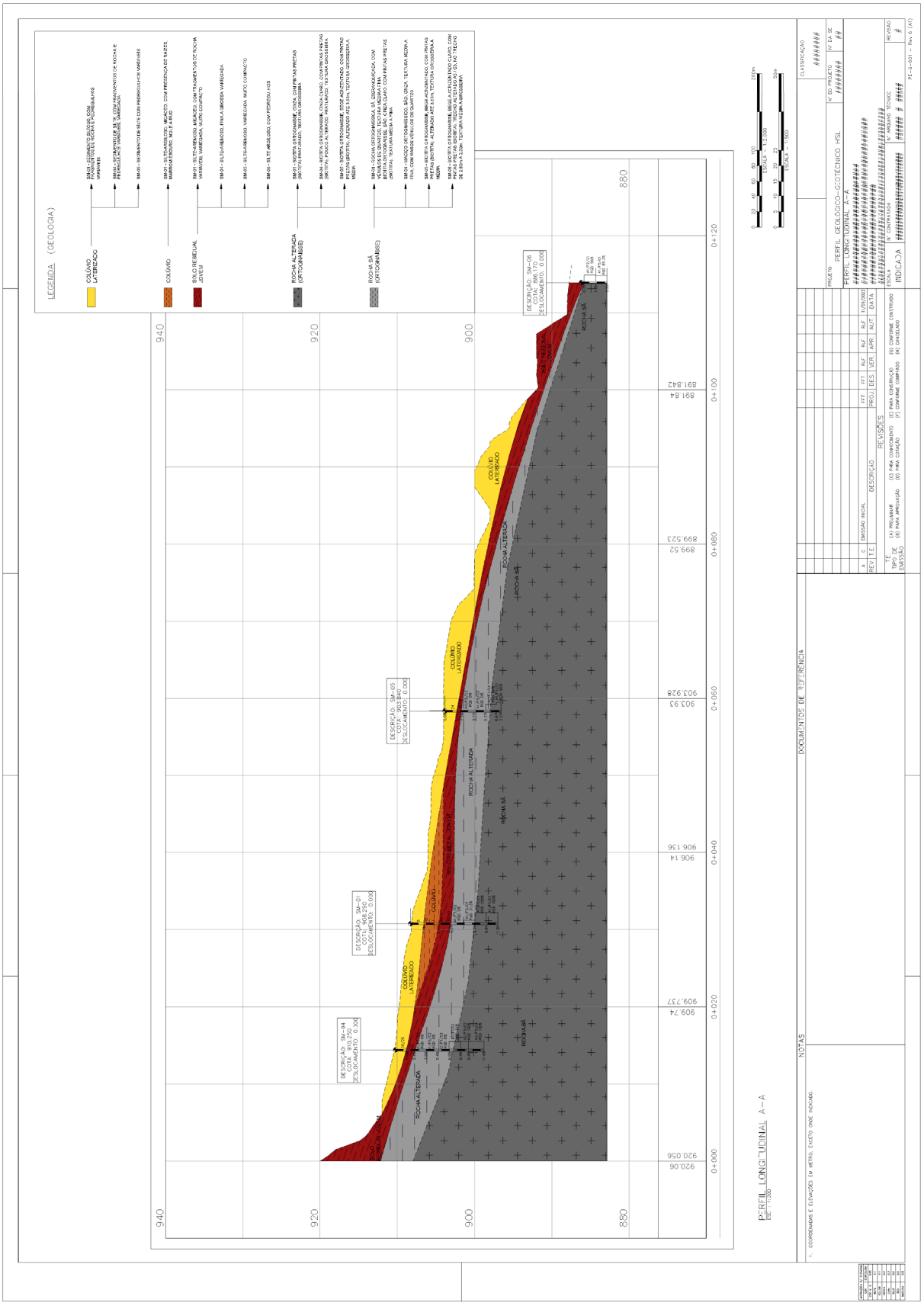
Fonte: Memorial Descritivo Projetos de Implantação de Barreira Sabo, Estruturas de Contenção, Escavações e Complementações – Comitê Técnico, COPPE/UFRJ

Figura 2.2.10 Seção geológica transversal do eixo da barreira



Fonte: Memorial Descritivo Projetos de Implantação de Barreira Sabo, Estruturas de Contenção, Escavações e Complementações – Comitê Técnico, COPPE/UFRJ

Figura 2.2.11 Seção geológica longitudinal da linha central do talvegue



Fonte: Memorial Descritivo Projetos de Implantação de Barreira Sabo, Estruturas de Contenção, Escavações e Complementações – Comitê Técnico, COPPE/UFRJ

2.2.3 Levantamento granulométrico

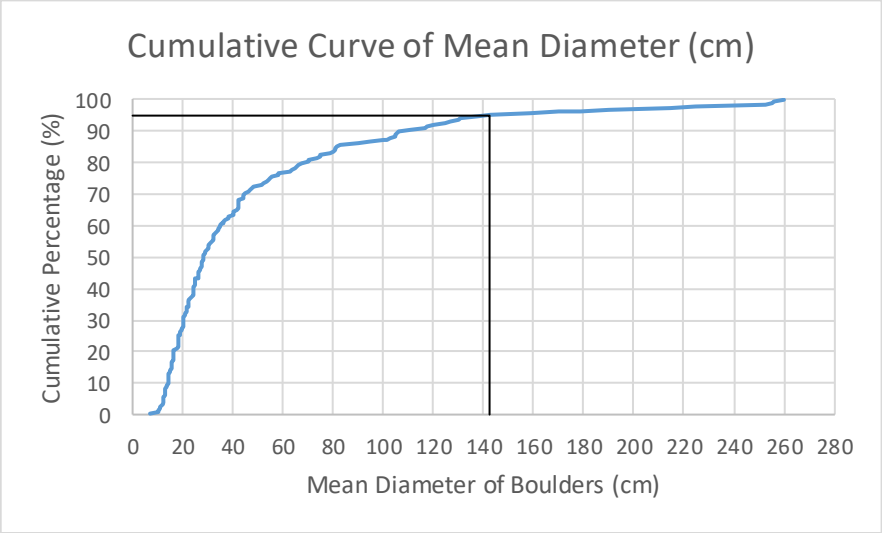
Para calcular a força de impacto dos blocos, que é utilizada na análise estrutural da barreira sabo, foi realizado o levantamento granulométrico no local. Foram medidos mais de 200 blocos com diâmetro superior a 10 cm, existentes no perímetro de 200 m a montante e 200 m a jusante da posição planejada para a barreira sabo. O resultado desse levantamento foi D_{95} = 140 cm.

Figura 2.2.12 Realização do levantamento granulométrico



Fonte: Elaborado pelo Comitê Técnico

Figura 2.2.13 Curva acumulada da granulometria



Fonte: Elaborado pelo Comitê Técnico

Tabela 2.2.2 Resultados da granulometria

No.	Long (cm)	Short (cm)	Average (cm)	No.	Long (cm)	Short (cm)	Average (cm)	No.	Long (cm)	Short (cm)	Average (cm)	No.	Long (cm)	Short (cm)	Average (cm)
1	17	5	11.0	51	26	14	20.0	101	24	22	23.0	151	55	42	48.5
2	7	7	7.0	52	17	15	16.0	102	46	22	34.0	152	72	44	58.0
3	14	7	10.5	53	18	15	16.5	103	26	23	24.5	153	83	44	63.5
4	18	7	12.5	54	22	15	18.5	104	30	23	26.5	154	87	44	65.5
5	21	7	14.0	55	22	15	18.5	105	32	23	27.5	155	60	45	52.5
6	12	8	10.0	56	39	15	27.0	106	34	23	28.5	156	62	46	54.0
7	14	8	11.0	57	40	15	27.5	107	26	24	25.0	157	80	46	63.0
8	18	8	13.0	58	16	16	16.0	108	28	24	26.0	158	64	47	55.5
9	16	9	12.5	59	20	16	18.0	109	37	24	30.5	159	60	50	55.0
10	17	9	13.0	60	22	16	19.0	110	40	24	32.0	160	63	53	58.0
11	18	9	13.5	61	25	16	20.5	111	50	24	37.0	161	158	54	106.0
12	20	9	14.5	62	28	16	22.0	112	27	25	26.0	162	48	55	51.5
13	13	10	11.5	63	19	17	18.0	113	29	25	27.0	163	70	60	65.0
14	16	10	13.0	64	23	17	20.0	114	33	25	29.0	164	70	60	65.0
15	16	10	13.0	65	26	17	21.5	115	110	25	67.5	165	90	60	75.0
16	18	10	14.0	66	32	17	24.5	116	30	26	28.0	166	97	60	78.5
17	18	10	14.0	67	36	17	26.5	117	32	26	29.0	167	105	60	82.5
18	20	10	15.0	68	20	18	19.0	118	33	26	29.5	168	82	65	73.5
19	21	10	15.5	69	21	18	19.5	119	40	26	33.0	169	96	67	81.5
20	26	10	18.0	70	22	18	20.0	120	44	27	35.5	170	70	70	70.0
21	15	11	13.0	71	23	18	20.5	121	27	28	27.5	171	80	70	75.0
22	20	11	15.5	72	23	18	20.5	122	45	28	36.5	172	110	70	90.0
23	20	11	15.5	73	25	18	21.5	123	55	28	41.5	173	140	70	105.0
24	20	11	15.5	74	26	18	22.0	124	37	30	33.5	174	125	75	100.0
25	12	12	12.0	75	29	18	23.5	125	42	30	36.0	175	80	80	80.0
26	12	12	12.0	76	31	18	24.5	126	50	30	40.0	176	81	80	80.5
27	13	12	12.5	77	31	18	24.5	127	50	30	40.0	177	110	80	95.0
28	15	12	13.5	78	32	18	25.0	128	54	30	42.0	178	123	80	101.5
29	16	12	14.0	79	23	19	21.0	129	55	30	42.5	179	125	80	102.5
30	17	12	14.5	80	25	19	22.0	130	60	30	45.0	180	130	80	105.0
31	17	12	14.5	81	38	19	28.5	131	65	30	47.5	181	142	91	116.5
32	23	12	17.5	82	44	19	31.5	132	37	31	34.0	182	116	95	105.5
33	28	12	20.0	83	45	19	32.0	133	58	31	44.5	183	180	95	137.5
34	33	12	22.5	84	22	20	21.0	134	53	32	42.5	184	140	100	120.0
35	38	12	25.0	85	23	20	21.5	135	55	33	44.0	185	150	103	126.5
36	13	13	13.0	86	24	20	22.0	136	100	33	66.5	186	117	105	111.0
37	17	13	15.0	87	28	20	24.0	137	42	34	38.0	187	150	110	130.0
38	18	13	15.5	88	30	20	25.0	138	54	34	44.0	188	175	110	142.5
39	19	13	16.0	89	30	20	25.0	139	60	34	47.0	189	133	116	124.5
40	20	13	16.5	90	35	20	27.5	140	53	35	44.0	190	142	120	131.0
41	23	13	18.0	91	36	20	28.0	141	48	36	42.0	191	210	130	170.0
42	25	13	19.0	92	38	20	29.0	142	124	37	80.5	192	240	140	190.0
43	30	13	21.5	93	40	20	30.0	143	38	38	38.0	193	170	147	158.5
44	36	13	24.5	94	40	20	30.0	144	102	38	70.0	194	204	153	178.5
45	17	14	15.5	95	42	20	31.0	145	50	20	35.0	195	260	170	215.0
46	18	14	16.0	96	45	20	32.5	146	44	40	42.0	196	340	170	255.0
47	19	14	16.5	97	45	20	32.5	147	45	40	42.5	197	270	180	225.0
48	22	14	18.0	98	50	20	35.0	148	52	40	46.0	198	320	185	252.5
49	22	14	18.0	99	60	20	40.0	149	67	40	53.5	199	302	210	256.0
50	25	14	19.5	100	32	21	26.5	150	195	40	117.5	200	300	220	260.0

Fonte: Elaborado pelo Comitê Técnico

2.3 Condições do Projeto de Engenharia

2.3.1 Normas, publicações técnicas e unidades

As seguintes normas foram utilizadas no dimensionamento da estrutura:

- NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento;
- NBR 6122 – Projeto e execução de fundações;
- NBR 8681 – Ações e segurança nas estruturas – Procedimento;

2.3.2 Documentos de referência

Os seguintes documentos de referência foram utilizados para desenvolvimento da verificação:

- Manual Beta Finalizado.doc;
- Manual Plano de Obras Capítulos 1-8.doc;

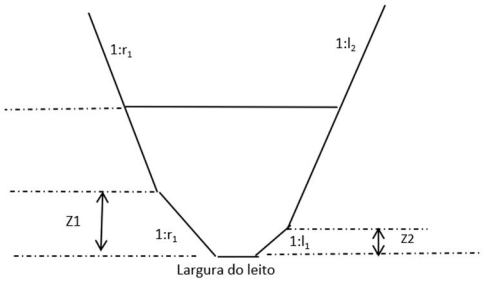
2.3.3 Condições de projeto

As especificações e parâmetros do projeto de engenharia, abaixo listados, foram estabelecidos com base nos resultados obtidos dos levantamentos topográficos e geológicos. A análise do formato das instalações é apresentada mais adiante.

(1) Especificações do projeto

①Topografia, geologia e c ondições da barreira

Símbolo	Item	Unidade	Valor
Condições topográficas			
B1	Largura do leito	m	23,0
$1:r_1$	Inclinação da margem direita, seção do escoamento (jusante)		1,0
$1:r_2$	Inclinação da margem direita, seção do escoamento (montante)		1,0
$1:l_1$	Inclinação da margem esquerda, seção do escoamento (jusante)		2,7
$1:l_2$	Inclinação da margem esquerda, seção do escoamento (montante)		0,8
z1	Ponto de mudança da inclinação no lado da margem direita	m	2,0
z2	Ponto de mudança da inclinação no lado da margem esquerda	m	2,0
θ	Inclinação atual do leito do canal		1/3
Condições da vazão			
A	Área da bacia hidrográfica	km^2	0,12
P_{24}	Chuva de 24h (ou chuva diária)	mm	191



Fonte: Elaborado pelo Projeto Sabo

Condições do corpo da barreira			
H	Altura do corpo	m	12,0
B	Comprimento da soleira do vertedouro	m	3,0
m	Inclinação do paramento de montante		0,40
n	Inclinação do paramento de jusante		0,20
B1	Comprimento da soleira do vertedouro	m	8,0
	Inclinação da lateral do vertedouro		0,5
	Condições dos sedimentos		
V_{dqp}	Volume de sólidos estimado para escoar em um único evento de fluxo de detritos	m^3	10.873
d_{95}	Diâmetro máximo dos blocos	m	2
Constantes do terreno			
τ_0	Resistência ao cisalhamento do terreno		600
f	Coeficiente de atrito		0,70
qu	Capacidade de suporte admissível do terreno	kN/m^2	1200
n	Fator de segurança ao deslizamento		1,5

Fonte: Elaborado pelo Projeto Sabo

(2) Constantes do projeto

②Constantes de projeto

We	Peso específico do concreto	kN/m^3	22,6	-Seção 3, Capítulo 2.2 - Peso próprio
Wo	Peso específico da água com sedimentos	kN/m^3	12	-Seção 3, Capítulo 2.3 - Pressão Hidrostática
σ	Concentração dos blocos	kN/m^3	25,5	-Seção 3, Capítulo 2.5 - Cargas do fluxo de detritos
ρ	Densidade da água com sedimentos	kN/m^3	12	-Seção 3, Capítulo 2.5 - Cargas do fluxo de detritos
γs	Peso específico do material sedimentado na água	kN/m^3	8,2	-Seção 3, Capítulo 3.2 - Método do cálculo da estabilidade
K_n	Coeficiente do escoamento		0,85	-Seção 3, Capítulo 1.2.2 Vazão da água
C	Coeficiente da vazão		0,6	-Seção 4, Capítulo 3.4.1 Lâmina d'água de projeto
g	Aceleração gravitacional	m/s^2	9,81	-Seção 3, Capítulo 2.5 - Cargas do fluxo de detritos
C_*	Capacidade de concentração de sólidos depositados no leito do canal		0,6	- Seção 3, Capítulo 1.3.2 - Vazão total do fluxo de detritos
Kn	Coeficiente de rugosidade (curso natural do rio, parte frontal)		0,1	-Seção 3, Capítulo 2.5 - Cargas do fluxo de detritos
C	Coeficiente de empuxo		0,27	-Seção3, Capítulo 2.4 - Pressão de deposição
ϕ	Ângulo de atrito interno do material sedimentado	deg	35,0	-Seção3, Capítulo 2.4 - Pressão de deposição
τ_c	Força de cisalhamento do concreto		2.560	-Seção 3, Capítulo 3.1.2 - Estabilidade ao deslizamento

Manual

*Destaca-se que deve ser adotado o menor valor entre a resistência ao cisalhamento do terreno da fundação e a força de cisalhamento do concreto.

Nestes cálculos foi adotado o valor de 600kN/m2 como resistência ao cisalhamento do terreno da fundação.

Fonte: Elaborado pelo Projeto Sabo

2.3.4 Descrição da estrutura

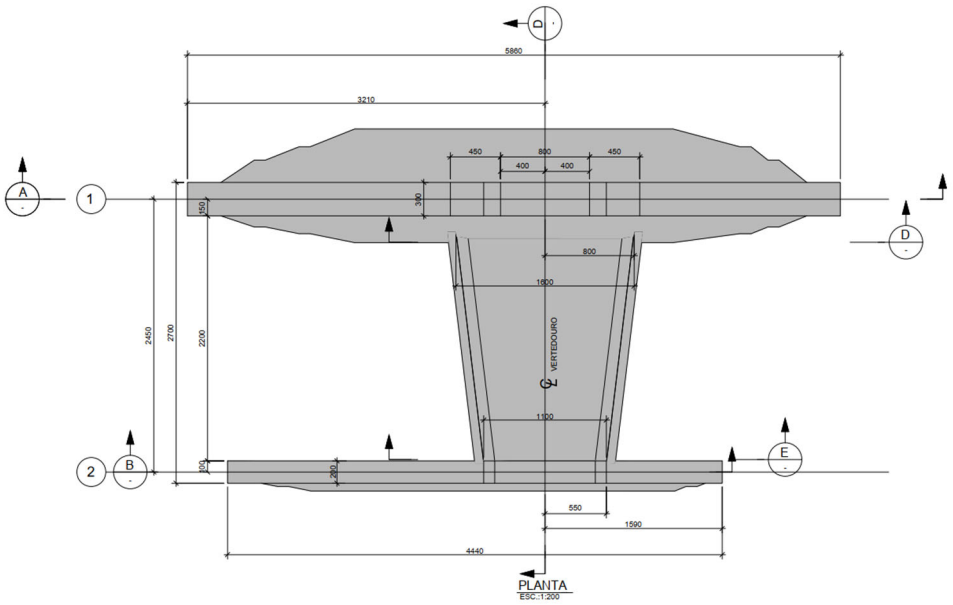
A estrutura da barreira SABO impermeável é constituída de 3 componentes: barreira principal, calha de dissipação e parede vertical.

A barreira principal é constituída de concreto massa em seção trapezoidal com inclinação de 1:2,5 a montante e 1:5 a jusante. Acima do corpo da estrutura existe uma seção retangular de 4,0 m de altura e 3,0 m de largura. Na região do vertedouro a barreira apresenta 12,0 m de altura e 2,0 m de ficha. Essa estrutura tem o objetivo de conter o fluxo de detritos e impacto de blocos proveniente das encostas.

A calha de dissipação é constituída por uma seção U, cujas laje e paredes tem espessura de 80 cm. Apresenta comprimento total de 20,0 m e declividade de 5% no sentido a jusante. Essa estrutura tem o objetivo de dissipar a energia da água advinda do vertedouro da barreira principal, evitando a erosão do leito.

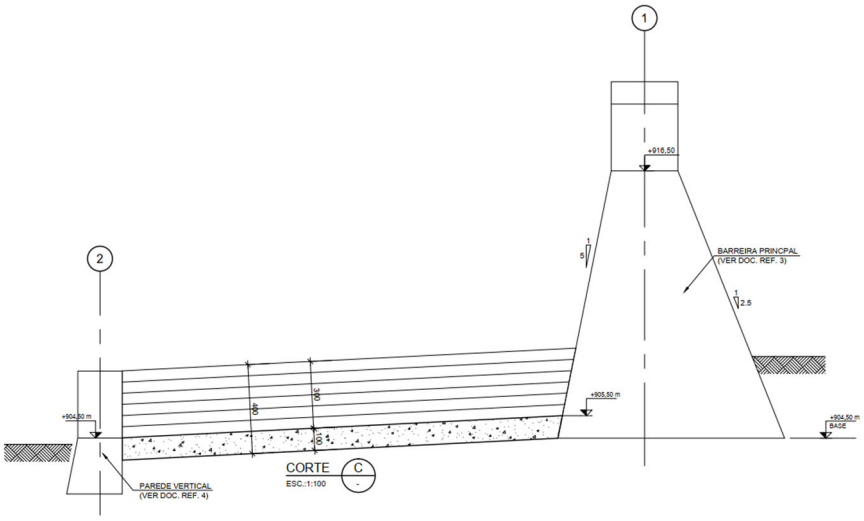
A parede vertical é a estrutura mais a jusante da barreira e é instalada para evitar a erosão pontual da extremidade da calha de dissipação. É composta por uma seção retangular de 3,0 m de altura por 2,0 m de largura na parte superior e uma seção trapezoidal com altura variável e face a jusante com inclinação de 1:5.

Figura 2.3.1 Arranjo geral em planta da barreira.



Fonte: Memorial Descritivo Projetos de Implantação de Barreira Sabo, Estruturas de Contenção, Escavações e Complementações – Comitê Técnico, COPPE/UFRJ

Figura 2.3.2 Arranjo geral em corte da barreira.

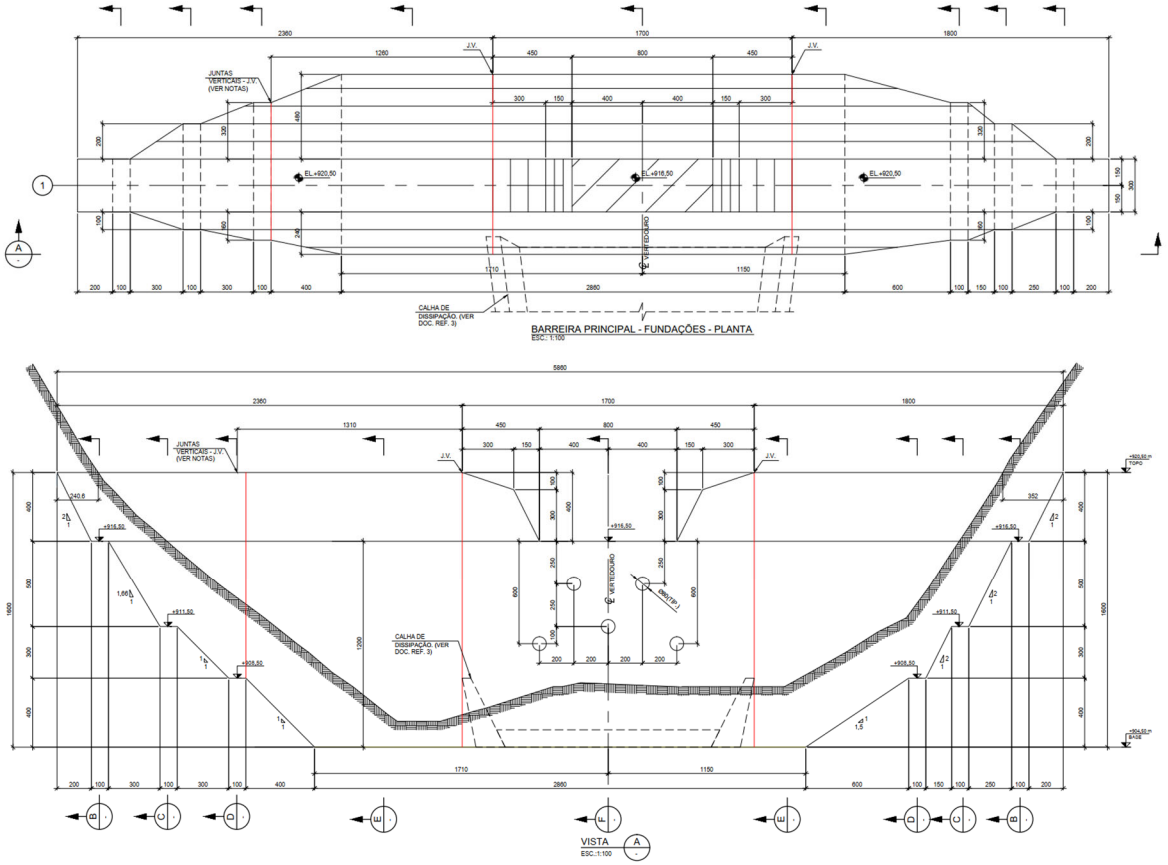


Fonte: Memorial Descritivo Projetos de Implantação de Barreira Sabo, Estruturas de Contenção, Escavações e Complementações – Comitê Técnico, COPPE/UFRJ

2.3.5 Barreira principal

A geometria da barreira principal utilizada nos cálculos encontra-se nas imagens abaixo:

Figura 2.3.3 Desenhos da barreira principal



Fonte: Memorial Descritivo Projetos de Implantação de Barreira Sabo, Estruturas de Contenção, Escavações e Complementações – Comitê Técnico, COPPE/UFRJ

2.4 Projeto de engenharia detalhado da barreira sabo

2.4.1 Seção do vertedouro

(1) Comprimento do vertedouro

A largura do vale a montante do eixo do projeto-piloto é estreita e o lado jusante do eixo da barreira é largo. Para estabelecer o comprimento do vertedouro, entende-se que a largura do escoamento do fluxo de detritos acompanha a topografia do vale, portanto, nesta análise o comprimento do vertedouro foi definido em 8,0 m.

Figura 2.4.1 Topografia de vale a montante do eixo da barreira



Fonte: Elaborado pelo Projeto Sabo

(2) Lateral do vertedouro

Seguindo o Manual Sabo, adotou-se a inclinação de 1V:0,5H para as laterais do vertedouro.

(3) Altura da lâmina d'água tranbordante

a) Valores referentes à altura da lâmina d'água transbordante da vazão de projeto Momentos de Cheia

Tabela de especificações

Item	Especificação		
	Símbolo	Unidade	Valor
Vazão que considera o solo carreado	Q	m^3/s	9,3
Coeficiente da vazão	C		0,60
Aceleração gravitacional	g	m/s^2	9,81
Comprimento da soleira do vertedouro	B1	m	8,0
Inclinação da lateral do vertedouro	m		0,5