

**CENTRO UNIVERSITÁRIO IBMR  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**MARCELO VINÍCIUS FERREIRA RIBEIRO  
PABLO ALVES DOS SANTOS RODRIGUES**

**A EFICÁCIA DA BARREIRA DINÂMICA FLEXÍVEL PARA  
CONTENÇÃO DE DETRITOS E MOVIMENTOS DE MASSA**

**Rio de Janeiro**

**2023**

**MARCELO VINÍCIUS FERREIRA RIBEIRO**  
**PABLO ALVES DOS SANTOS RODRIGUES**

**A EFICÁCIA DA BARREIRA DINÂMICA FLEXÍVEL PARA  
CONTENÇÃO DE DETRITOS E MOVIMENTOS DE MASSA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Graduação em  
Engenharia civil do Centro Universitário  
IBMR como requisito parcial para a  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia civil.

Orientador: -

**Rio de Janeiro**

**2023**

RIBEIRO, Marcelo Vinícius Ferreira; Rodrigues, Pablo Alves dos Santos. A Eficácia da Barreira dinâmica flexível para contenção de detritos e movimentos de massa. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Centro Universitário IBMR, 2023.

Neste trabalho foi feito um estudo de caso e acompanhamento de instalação através de relatórios mensais e obtenção das especificações dos materiais utilizados nas instalações da barreira dinâmica flexível que vem sendo executada no Morro dois Irmãos – RJ, e através desses dados e visitas à região da instalação será executada a comprovação da eficácia deste modelo de contenção de detritos e deslizamento em geral. Também foram feitas comparações ao longo de todo o trabalho tanto com outras formas de contenção quanto com casos de barreira dinâmica flexível que hoje vem sendo bem executada em sua maioria na Europa em regiões de deslizamentos de neve. O estudo de caso foi apresentado de forma que os leitores possam avaliar todo o processo de instalação da barreira no maciço do Dois Irmãos e entender como é feito o projeto, escolha de material, instalação e manutenção dessa técnica construtiva. **Objetivo:** O objetivo deste trabalho foi realizar revisão sistemática de estudos que avaliaram a eficácia do uso da barreira dinâmica flexível através de relatórios e estudos de casos comparados com outras técnicas de contenções de deslizamentos de terra, de forma que ao final do trabalho fossem apontadas características tanto positivas quanto negativas a respeito desse método de contenção. Também foram apresentadas etapas e desafios de montagem do sistema de barreira dinâmica flexível. **Metodologia:** O estudo foi feito com base em análise de relatórios mensais obtidos, além de visitas contínuas ao local da obra no Morro Dois Irmãos – RJ onde conseguiu-se fazer as comparações e estudos necessários para avaliação do caso em questão. Estudos de caso onde as técnicas de Barreira dinâmica flexível já foram aplicadas na Europa também foram analisados e comparados com os relatórios deste estudo.

**Palavras-chave:** Barreira dinâmica flexível. Eficácia. Contenção. Detritos. Movimento de massa.

## 1. INTRODUÇÃO

Frequentes principalmente em épocas chuvosas, os desastres provenientes de deslizamentos de terra tem oferecido ano após ano mais riscos à população do Estado do Rio de Janeiro. Esses desastres se mostram fatais pelo tamanho dos movimentos de massas rochosas que normalmente venham a se desprender do bloco rochoso e deslizar morro abaixo.

Destacam-se entre esses acidentes segundo GEO-RIO (1966-2016):

- Bairro de Santa Tereza, 1966; Magnitude: classe III: Com destruição de 7 casas e 70 pessoas vindo a óbito. Deslizamento de Talus/Colúvio que percorreu cerca de 200m ao longo do vale.

- Bairro do Andaraí, 1985; Magnitude classe II: Com 8 pessoas vindo a óbito no local. Queda e deslizamento de blocos rochosos.

- Bairro do Itanhangá, 1996; Magnitude classe III: Com 20 pessoas vindo a óbito, o acidente também provocou danos em 45 casas e 170 famílias desabrigadas. Corrida de detritos com material envolvendo solos e blocos rochosos.

- Bairro de Vila Isabel, 2009; Magnitude classe II: Com 1 pessoa vindo a óbito e 4 feridas, o acidente também conta com danos a 10 residências e 12 veículos. Desintegração da face de antiga pedreira com queda blocos rochosos.

A região do Rio de Janeiro apresenta problemas associados a deslizamento de solo envolvendo diversos tipos de detritos, tendo sido realizado um levantamento de risco segundo COPPETEC (2011), onde pode-se obter dados a respeito de áreas de risco no Estado e que irá servir de guia para projetos de engenharia a fim de prevenir novos desastres.

Desta forma, o presente trabalho seguirá com alguns capítulos onde serão explicados alguns pontos necessários para compreensão do tema e avaliação de valoração dessa técnica construtiva.

Capítulo I: Revisão de movimentos de massa e blocos rochosos.

Capítulo II: Dimensionamento dos projetos e normas a serem cumpridas para barreira dinâmica flexível.

Capítulo III: Materiais e peças envolvidas do início ao fim dos processos construtivo da barreira dinâmica.

Capítulo IV: Instalação e acompanhamento de todo o projeto.

Capítulo V: Conclusões finais do trabalho.

## CAPÍTULO I - REVISÃO DE MOVIMENTOS DE MASSA E BLOCOS ROCHOSOS

Quando se fala de movimentos de massa, Summerfield (1991) fala a respeito do movimento de descida de material seja ele, solo, rocha, onde tem-se diferentes formas de deslocamento de cada um. Alguns autores tratam do tema, como por exemplo, Baltzer (1875), passando por, Avelar (2003), até os dias atuais.

Porém, a maioria dos autores e profissionais da área adotam, Varnes (1978) e (1954) como guia para falar do assunto. Segundo o autor, existem em geral 6 principais características para movimentos de massa de acordo com ruptura e material, são elas: fluxo, espalhamento lateral, escorregamento, tombamento, quedas e complexos.



Figura 1 – Movimentos de massa

Fonte: Cemaden (2023)

Segue a tabela de, Varnes (1978) que foi ajustada pelo brasileiro, Augusto Filho (1992) e assim foi reduzida para quatro categorias.

Tabela 1: Categorias de Movimentos de Massa

Tipo de Movimento		Tipo de Material			
		Rocha	Solo		
			Granular	Fino	
Queda		rocha	détritos	terra	
Tombamento		rocha	détritos	terra	
Escorregamento	Rotacional	Poucas Unidades	abatimento de rocha	abatimento de detritos	abatimento de terra
	Translacional		blocos rochosos	blocos de detritos	blocos de terra
			Muitas Unidades	rocha	détritos
Expansão Lateral		rocha	détritos	terra	
Fluxo		rocha	détritos	terra	
		rastejo profundo	rastejo de solo		
Complexos		combinação de dois ou mais movimentos / materiais			

Fonte: Varnes (1978)

Os movimentos gerados apresentam diversas taxas de movimento, que vão desde extremamente rápido a extremamente lento. Para unificar estes termos, Cruden e Varnes (1996) associam valores de taxa de movimento com termos qualitativos de velocidade. Em particular, Keefer (1984) classifica os tipos de remoções em massa geradas por terremotos.

Existem certos fatores que serão condicionantes para a geração dos diferentes tipos de remoção de massa. Os fatores condicionantes correspondem àqueles que geram uma situação potencialmente instável. Esses correspondem principalmente à geomorfologia, geologia, geotecnia e vegetação, que atuam controlando a suscetibilidade de uma área para gerar fenômenos de remoção de massa, onde a suscetibilidade é definida como a capacidade ou potencial de uma unidade geológica ou geomorfológica ser afetada por um determinado processo geológico (GONZÁLEZ, 2022).

Cada um dos diferentes processos de remoção de massa tem gênese e comportamentos diferentes, de modo que cada um pode ser influenciado por diferentes fatores de diferentes maneiras e graus.

A geologia e a geotecnia influenciam em maior ou menor grau a geração de vários eventos de remoção em massa. Entre os fatores desta categoria estão o tipo de depósito e o material que o compõe, sua densidade, plasticidade, umidade, permeabilidade; a litologia das rochas, sua estrutura, alteração e intemperismo.

O tipo de depósito condiciona certas características do seu comportamento, por exemplo, detritos vulcanoclásticos, glaciais, de sopé, depósitos aluviais, fluxos coluvionares e de detritos antigos são suscetíveis de serem mobilizados e/ou remobilizados, pois são materiais permeáveis, onde a água infiltra facilmente, excedendo sua capacidade de infiltração e produzindo rápida saturação e facilitando a rápida drenagem da água neste material saturado (HAUSSER, 1997).

Em geral, isto se aplica a materiais soltos, que também incluem depósitos de deslizamentos de terra antigos e/ou deslizamentos de terra e encostas que apresentam fluência lenta ou soliflução. Por outro lado, em materiais menos permeáveis, como aqueles de grão fino, denso, argiloso e rochoso com poucas fraturas, o escoamento da água superficial é relativamente mais rápido devido ao seu baixo (HAUSSER, 1997).

A composição e granulometria do material tornam-se relevantes por serem decisivas das propriedades de resistência do depósito e da sua estabilidade em taludes. A plasticidade e a umidade de um solo influenciarão diretamente no seu grau de coesão. Se um solo fino tem alta coesão (como é o caso das argilas), presença de níveis de pouca espessura poderia gerar potenciais superfícies de deslizamento para o material que o recobre. Enquanto isso, um solo arenoso grosso apresenta coesão dependendo da umidade em que se encontra, variando suas propriedades de resistência dependendo desta condição (HAUSSER, 1997).

O parâmetro densidade do solo é relevante para determinar a resistência ao cisalhamento do material, onde um solo denso apresentará resistência (máximos) maiores que aqueles alcançados por solos soltos (LAMBE e WHITMAN, 1972).

A permeabilidade influencia diretamente na distribuição do fluxo de água subterrâneo e superficial e portanto na condição de saturação do solo, onde uma saturação de 100% representa a condição mais desfavorável para a geração de deslizamentos de terra e fluxos e capacidade de infiltração e menor rugosidade de suas estruturas (JACOBY, 2001).

No caso de rochas ou caracterização de partículas maiores em um solo, a litologia é um fator que irá influenciar a resistência ao intemperismo e à alteração da

rocha. A presença de minerais secundários (zeólitas, argilas, sericita, clorita), características de alterações hidrotermais, aceleraria os processos de intemperismo, influenciando a forma relevante em fatores como perda de resistência, facilidade de incorporação água, expansividade, aumento da porosidade, etc. (JACOBY, 2001).

Por seu lado, a caracterização estrutural das rochas é relevante uma vez que está diretamente relacionado à geração de materiais ou blocos detríticos que constituem áreas potencialmente instáveis a serem remobilizadas.

As feições geomorfológicas que condicionam os eventos de remoção de massa são principalmente a topografia, declives das encostas, mudanças bruscas nas encostas e a extensão e altura das encostas. Essas características afetam a velocidade, energia e volume de remoções que possam ocorrer. Assim também, qualquer modificação delas pode transformar um talude estável em instável e gerar remoções (POPESCU, 2002). Por outro lado, também influem a forma e a superfície de buracos hidrográficos, orientação da encosta e sua conseqüente exposição solar.

Naturalmente, para que qualquer remoção seja gerada deve haver material suscetível de ser mobilizado. Dentro deste ponto, é necessário identificar depósitos de deslizamentos de terra ou fluxos antigos, principalmente se estiverem em estado solto, ou a identificação de depósitos coluvionares que geralmente estão localizados no sopé das encostas e ravinas, onde sua condição de equilíbrio limite os torna muito propensos a gerar deslizamentos de terra (ou fluxos).

A geometria do talude é um dos fatores mais importantes na avaliação da geração de deslizamentos, pois determinará as orientações das forças resistentes e das solicitantes.

A rede de drenagem, as posições e variações do lençol freático, fluxos, coeficientes de escoamento e coeficientes de infiltração, são fatores hidrológicos e condições hidrogeológicas que condicionam a geração de remoções de massa, uma vez que são diretamente relacionados com a incorporação de água em solos ou maciços rochosos.

Solo saturado apresentará variações nas faixas de coesão dependendo da sua granulometria. Em qualquer caso, a incorporação de água na estrutura do solo, que em certos casos pode atingir a saturação, gera uma diminuição na resistência do material, reduzindo sua tensão efetiva como resultado da geração de poros pressões (LAMBE e WHITMAN, 1972). Nas rochas, a água pode contribuir para a perda de

resistência ao infiltrar as estruturas, exercendo estresse sobre estas estruturas que se opõem às tensões que a mantêm estável.

Na literatura, a vegetação é tratada como um fator condicionante para a estabilidade das encostas, porém os eventos de remoção em massa, principalmente em zonas climáticas chuvosas e com pouca vegetação, mostram que a vegetação sempre contribui para reduzir a erosão nas encostas.

Neste contexto, Prieto (1985) estabelece que a estabilidade dada pela vegetação está fortemente condicionada pelo efeito do clima e da topografia, uma vez que, por exemplo em áreas que sofrem com ventos fortes, se o declive for acentuado, as árvores removem o terreno causando sua desestabilização. Além disso, em áreas com climas chuvosos, com vegetação abundante, pode ocorrer que a evapotranspiração não compense a alta infiltração, fazendo com que o lençol freático suba, saturando o material.

Segundo Selby (1993), a vegetação contribuiria para reduzir o efeito erosivo sobre as encostas geradas por fatores como clima, propriedades do solo e topografia. A existência de árvores nas encostas permitiria a absorção de água por elas reduzindo o grau de saturação do solo. Além disso, suas raízes em geral ajudariam a estabilizar as encostas, atuando como âncoras de reforço, sem deixar de considerar que em alguns casos esta estabilização é apenas superficial.

Os principais fatores que geram a erosão das encostas são a precipitação, temperaturas, vento e radiação solar, sendo a precipitação a mais importante entre estes. A precipitação, além de ser considerada um dos fatores gatilhos de remoções de massa mais importantes, condicionam a estabilidade do maciço, reduzindo a resistência das estruturas pela incorporação de água entre as fraturas do maciço e/ou da estrutura do solo, reduzindo o coeficiente de atrito.

O controle que o fator humano exerce sobre a estabilidade dos taludes é muitas vezes essenciais na geração de eventos de remoção em massa. Exemplos de atividades que influenciam isso são escavações, aterros, construção de estruturas, urbanização, mudanças no uso do solo, extração de agregados e acúmulo de detritos. Estes, entre outros, podem contribuir tanto para a desestabilização de encostas como resultado da diminuição artificial da resistência de material, bem como a contribuição de material a ser mobilizado por futuros eventos e mudanças no escoamento superficial e na topografia. Somado a isso está o desmatamento que é realizado como resultado da extração ilegal de madeira.

González et al. (2002) destacam as chuvas como fatores desencadeantes das remoções em massa e estão relacionadas à sua intensidade, duração e distribuição. Assim, chuvas de baixa intensidade em períodos prolongados e chuvas de alta intensidade em curtos períodos de tempo podem desencadear eventos de remoção em massa em áreas onde o cenário é favorável para isso. Dentro deste aspecto, chuvas curtas e intensas seria suscetível de causar eventos superficiais, enquanto mais profundo seria causado por eventos distribuídos por um longo período de tempo (KIM et al., 2004).

A precipitação atua aumentando o grau de saturação dos materiais, tanto no solo e em fraturas, aumentando temporariamente a pressão do fluido ( $\mu$ ). Levando em consideração que a tensão efetiva ( $\sigma'$ ) é definida como  $\sigma' = \sigma - \mu$ , então é a diminuição deste esforço gera uma diminuição na resistência dos materiais ao longo de um período de tempo, diminuindo assim a estabilidade e um eventual fenômeno de remoção de massa. Além disso, fortes chuvas aumentam o escoamento superficial, aumentando assim a erosão do material em encostas com solo solto e erosão associada e/ou dissolução da encosta (KIM et al., 2004).

Os terremotos são outros grandes desencadeadores de remoções em massa em diversos cenários geológicos e topográficos. As acelerações sísmicas geram uma mudança temporária no regime de tensões a que o talude está sujeito, tanto normal, bem como cisalhamento, o que pode causar instabilidade.

Huang et al. (2022) realizaram um estudo onde um grande dispositivo de teste de modelo de calha física foi projetado de forma independente para reproduzir repetidamente o fluxo e o processo de impacto do fluxo de detritos. Três testes físicos de calha foram realizados para investigar o efeito da rigidez da barreira no impacto do fluxo de detritos. A cinemática do fluxo de detritos com três valores de rigidez de barreira é essencialmente consistente com o processo de impacto-avanço-queda-empilhamento. O desenvolvimento de uma zona morta proporcionou uma almofada para diminuir o impacto do fluxo subsequente de detritos na barreira. As forças de impacto máximas foram atenuadas à medida que a rigidez da barreira diminuiu. As ligeiras deflexões de uma barreira deformável foram suficientemente eficazes para atenuar a carga de pico em até 30%. Mostrou que a diminuição da rigidez da barreira teve um efeito tampão no impacto do fluxo de detritos e atenuou o pico da força de impacto. E com a diminuição da rigidez da barreira, quando a barreira foi impactada

pelos mesmos tipos de solo, a deformação elástica recuperável será maior e o pico de deformação será mais evidente.

O estudo tratará da queda e tombamento de blocos rochosos e do fluxo de detritos em geral, que apesar de muito complexo e facilmente confundido com outros movimentos de massa é definido segundo, Takahashi (2009) como mistura composta por sedimentos e água que decorrem da liquefação do solo na encosta.

O fluxo de detritos no entanto se faz mais devastador e perigoso quando se tem alta umidade no fluxo em questão, sendo assim considerados com alta magnitude de destruição e impacto.

## **CAPÍTULO II - DIMENSIONAMENTO DOS PROJETOS E NORMAS A SEREM CUMPRIDAS PARA BARREIRA DINÂMICA FLEXÍVEL**

Para dimensionamento de barreiras dinâmicas e escolha do material a ser utilizado, graças à tecnologia, hoje existem diversos *softwares* que podem ajudar no dimensionamento de estruturas na engenharia civil, tudo isso seguindo o disposto na norma ABNT NBR 6118, a qual normatiza projetos e estruturas de concreto.

No caso no Morro Dois Irmãos (RJ) o escolhido foi o Rockfall que foi publicado em 1991 por Matthias Seifert, Stefan Buttner e Marcus Bach. Desde então o software sofreu algumas atualizações para se adequar aos parâmetros atuais. Dados iniciais de acordo com os cálculos do *software* que usa como base declividade do bloco rochoso, material que o bloco é composto, influência da água da chuva na região e etc.. obtiveram as seguintes resoluções para a Barreira Dinâmica do Morro Dois Irmãos (RJ).

Em projeto básico, estava previsto a execução de três linhas de barreiras dinâmicas mais próximas ao alinhamento da canaleta existente na parte inferior do maciço rochoso, separadas em Área 1 e Área 2. Tais linhas apresentavam as seguintes dimensões preliminares:

- Área 2 o Barreira 1 – RXI-300\_H8 – L=580,00m o Barreira 2 – RXI-300\_H8 – L=200,00m

- Área 1 o Barreira 3 – RXI-300\_H6 – L=180,00m

Além dessas linhas, estão previstas outras três linhas de barreiras dinâmicas atenuadoras para direcionamento de blocos de rocha em eventos de queda para o alinhamento superior e região intermediária, com as seguintes dimensões na Área 2:

- Barreira 4 – RXI-150\_H4 – L=580,00m •

- .Barreira 5 – RXI-150\_H4 – L=400,00m

- Barreira 6 – RXI-50\_H4 – L=350,00m

Tabela 2 - Quantitativo do Projeto Básico

Item	Unidade	quantidade
Barreira 1 – RXI 300 H8m	m	580
Barreira 2 – RXI 300 H8m	m	200
Barreira 3 – RXI 300 H6m	m	180
Barreira 4 – RXI 150 H4m	m	580
SPIDER DRAPE abaixo da Barreira 4	m <sup>2</sup>	17.400
Barreira 5 – RXI 150 H4m	m	400
Barreira 6 – RXI 150 H4m	m	350
SPIDER DRAPE abaixo da Barreira 5	m <sup>2</sup>	5.100
Tirantes ancorados	m	2.695

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)



Figura 2 – Morro Dois Irmãos (RJ)

Fonte: Dos autores (2023)

Houve a necessidade de modificação do projeto. O sistema Drape estava previsto em Projeto Básico para execução imediatamente abaixo das Barreiras 04 e 05, totalizando uma área de 22500m<sup>2</sup>, com a alteração das posições das Barreiras 01 e 04 foram realizadas novamente as simulações de queda de blocos para ver a quantidade de Drape necessária com a nova configuração.

Observou-se então que é necessária uma área total de Drape de 34500m<sup>2</sup>, o que será apresentado no Capítulo III.

### CAPÍTULO III - MATERIAIS E PEÇAS ENVOLVIDAS DO INÍCIO AO FIM DOS PROCESSOS CONSTRUTIVO DA BARREIRA DINÂMICA

A Figura 3 determina a configuração final do projeto com as modificações que foram realizadas durante todo o procedimento.

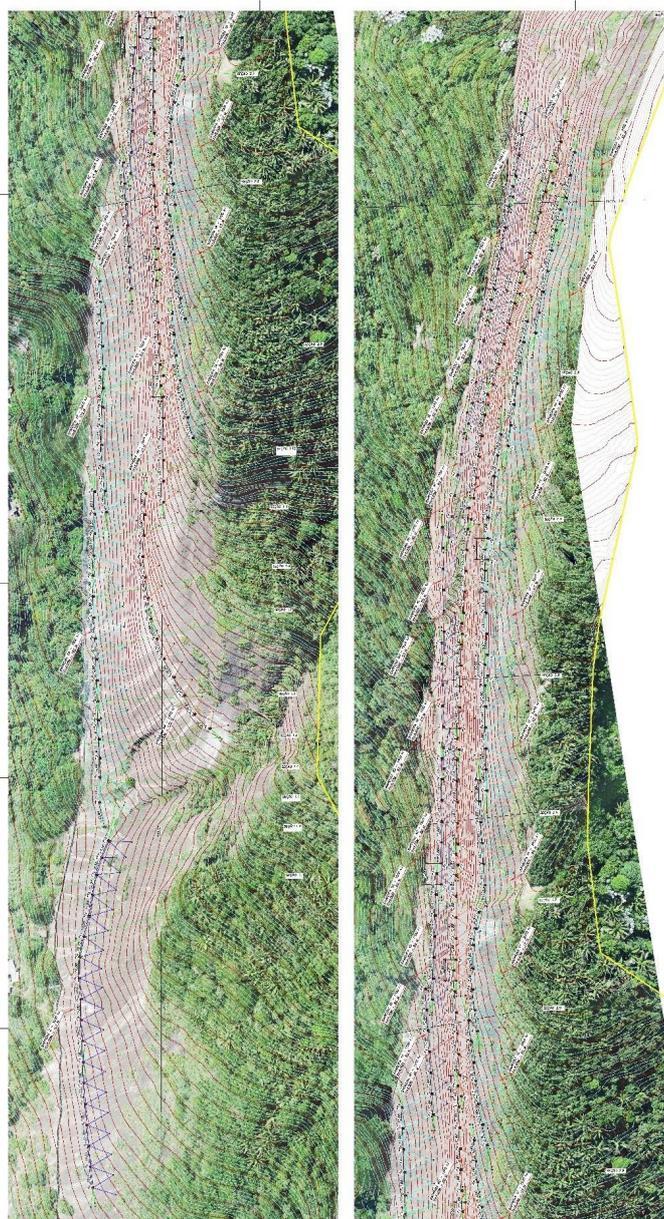


Figura 3 – Configuração final do projeto

Fonte: GEOBRUGG (2023)

Para alteração da posição da Barreira 01 e 04 a primeira verificação consistiu na identificação do ponto mais baixo para a instalação de barreira com uso de helicóptero. Para esta definição foram adotados os seguintes parâmetros de análise:

- Comprimento do cabo para transporte dos materiais: 30m;
- Distância mínima da aeronave e o talude: 8m;

Estes parâmetros foram disponibilizados pela equipe responsável pelo transporte de carga com helicóptero.

Assim, foi definida inicialmente a menor cota onde a barreira com 8m de altura é eficiente para retenção da totalidade dos blocos de montante, esta posição é indicada pela linha amarela na Figura 4.



Figura 4 – Posição da barreira de 8m para reter 100% dos blocos de até 11 T

Fonte: GEOBRUGG (2023)

Nesta posição a barreira é capaz de reter blocos de até 11 toneladas de acordo com as simulações geradas. As simulações feitas para cada seção para esta validação estão apresentadas abaixo.

As análises apresentam que as barreiras nas posições indicadas no projeto retêm 100% dos blocos simulados (no conjunto das barreiras). Além disso, as energias de impacto para o bloco de 15 ton. São de 3000 kJ Na barreira 1, blocos de 4,8 ton são de 1500kJ na barreira 06 e blocos de 4ton de 1500 kJ na barreira 04 (GEOBRUGG, 2023).

Também ficou evidenciado que apenas a utilização das Barreiras 04, 05 e 06, mais à jusante não é suficiente para garantir a total segurança do projeto. Nestas análises foram simuladas a queda de 1000 blocos com 2.700 kg em cada uma das 8 seções (GEOBRUGG, 2023).

A Tabela 3 apresenta os dados gerados a partir da análise da instalação das linhas sem utilização do atenuador.

Tabela 3 – Análise das linhas RXI-150

Descrição	Seção 2.1	Seção 2.2	Seção 2.3	Seção 2.4	Seção 2.5	Seção 2.6	Seção 2.7	Seção 2.8
Número de blocos de rocha simulados [und.]	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Massa do bloco de rocha [kg]	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700
Energia de impacto na barreira intermediária [kJ]	1584	899	1745	1928	1957	1449	1838	2027
Energia de impacto na barreira inferior [kJ]	1132	1748	3047	3118	2366	2962	3596	3707
Número de blocos retidos na barreira intermediária [und.]	386	338	390	403	456	459	414	451
Número de blocos retidos na barreira inferior [und.]	386	547	474	523	480	493	522	443
Blocos de rocha que passam [%]	22,8%	11,5%	13,6%	7,4%	6,4%	4,8%	6,4%	10,6%
Altura que passa na barreira intermediária [m]	15,50	0,00	25,00	13,50	11,60	7,50	17,60	12,60
Altura que passa na barreira inferior [m]	38,00	9,50	27,50	36,50	16,30	13,30	16,80	15,10

Fonte: GEOBRUGG (2023)

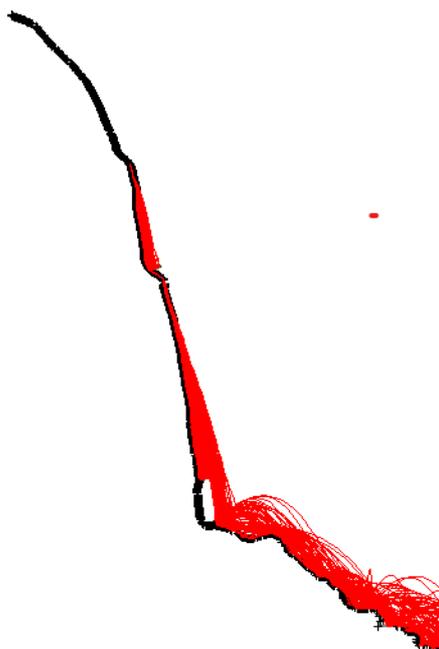


Figura 4 – Simulação de queda de blocos de rocha – barreiras 04, 05, 06

Fonte: GEOBRUGG (2023)

Desta forma, para garantir a segurança do projeto, é necessária a utilização de um sistema Drapea jusante da posição da Barreira 01, com comprimentos variáveis do revestimento da tela.

Já para a instalação da Barreira 04 são previstas as cotas variáveis, entre 60 e 90 metros, sendoque abaixo estão indicadas na Tabela 4, as cotas em cada uma das seções, definidas nas análises executadas.

Tabela 4 - Indicação das cotas da Barreira 04.

Descrição	Seção 2.1	Seção 2.2	Seção 2.3	Seção 2.4	Seção 2.5	Seção 2.6	Seção 2.7	Seção 2.8
Cota da barreira em relação a canaleta [m]	63	65	60	74	65	79	92	86

Fonte: GEOBRUGG (2023)

Ainda em complemento à instalação das Barreira 05 e 06 é necessário o sistema DRAPE a jusantede sua posição, e a Barreiras 04 localizada a montante da canaleta. Abaixo na Figura 3-5 é apresentado a vista frontal com que indica os alinhamentos adotados para a Barreira 01 (linha em amarelo), Barreiras 05 e 06 (linha em vermelho), Barreira 04 (linha em magenta), e sistemas Drapehachurados nos polígonos azuis.

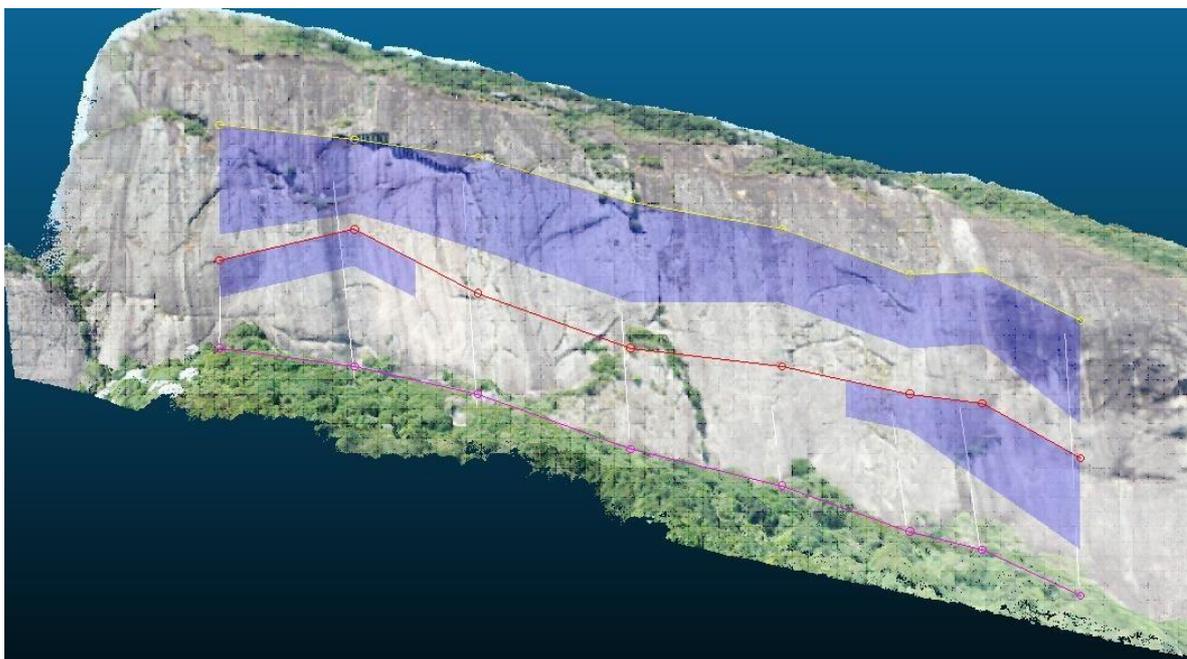


Figura 5 – Formatação das soluções adotadas barreiras 01, 04, 05 e 06

Fonte: GEOBRUGG (2023)

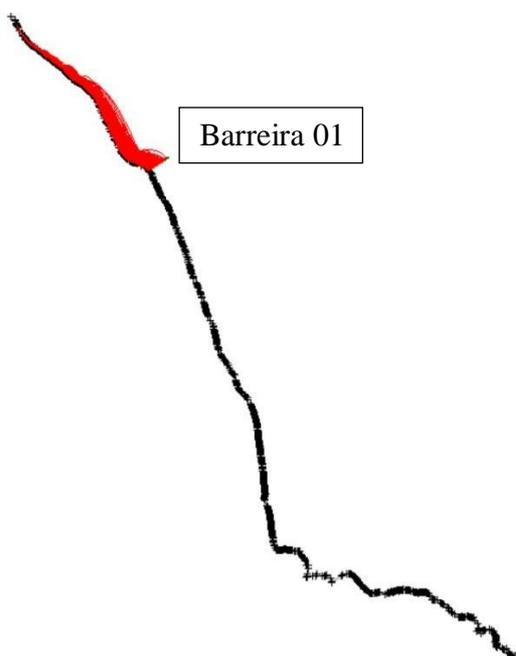


Figura 6 – Simulação de queda de blocos barreira 01 seção 2.1

Fonte: GEOBRUGG (2023)

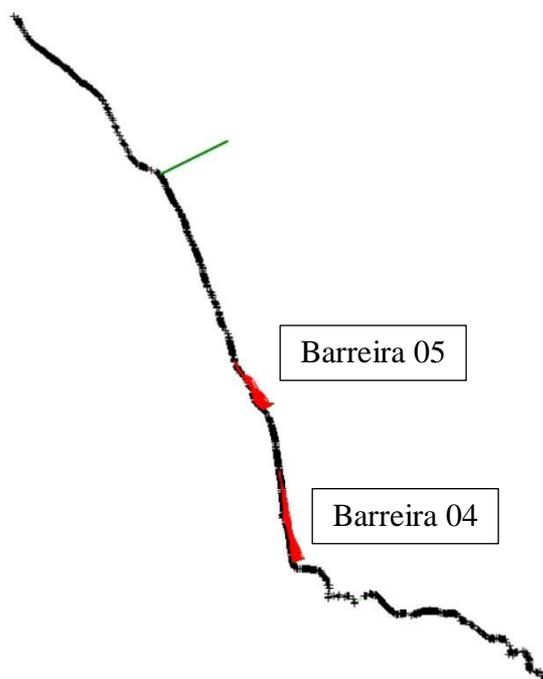


Figura 7 – Simulação de queda de blocos barreiras 04 e 05 seção 2.1  
Fonte: GEOBRUGG (2023)

Nesta figura o Drape abaixo da barreira 01 é de 60 m e abaixo da barreira 05 é de 20 m.

As análises da seção 2.1 apresentam que as barreiras nas posições indicadas no projeto retêm 100% dos blocos simulados. Além disso, as energias de impacto para o bloco de 15 ton são de 3000 kJ Na barreira 1, para bloco de 13 ton de 1500 kJ na barreira 05 e para blocos de 6 ton de 690 kJ na barreira 04.

Os comprimentos de drape projetados (60m abaixo da barreira 01 e 20m abaixo da barreira 05) foram definidos a fim de se garantir a altura de impacto compatível com a altura da barreira.

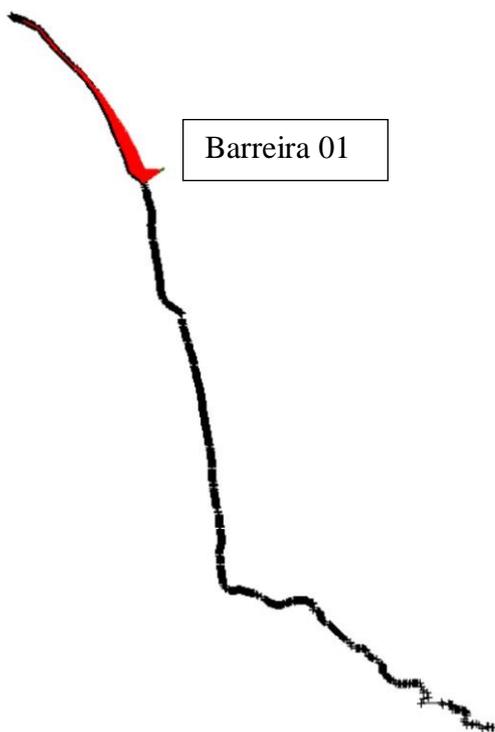


Figura 8 – Simulação de queda de blocos barreira 01 seção 2.2  
Fonte: GEOBRUGG (2023)

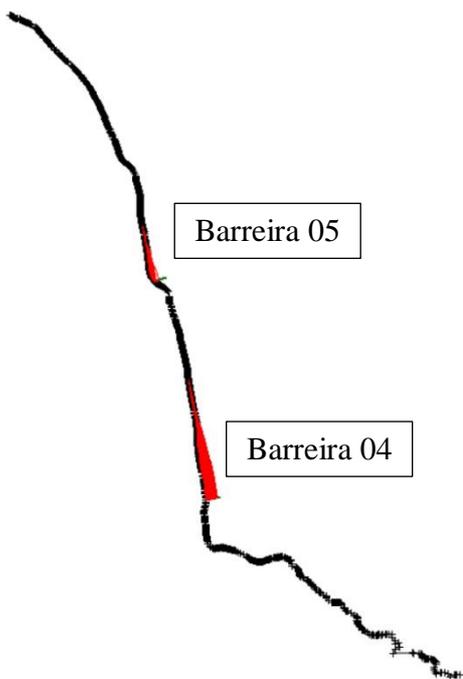


Figura 9 – Simulação de queda de blocos barreiras 04 e 05 seção 2.2  
Fonte: GEOBRUGG (2023)

Nessa simulação o Drape abaixo da barreira 01 é de 20 m e da barreira 05 é de 40 m.

As análises da seção 2.2 apresentam que as barreiras nas posições indicadas no projeto retêm 100% dos blocos simulados. Além disso, as energias de impacto para o bloco de 20 ton são de 3000 kJ Na barreira 1, e blocos de 10 ton de 1500kJ na barreira 05 e blocos de 4,5 ton de 980kJ na barreira 04.

Os comprimentos de drape projetados (20m abaixo da barreira 01 e 40m abaixo da barreira 05) foram definidos a fim de se garantir a altura de impacto compatível com a altura da barreira.

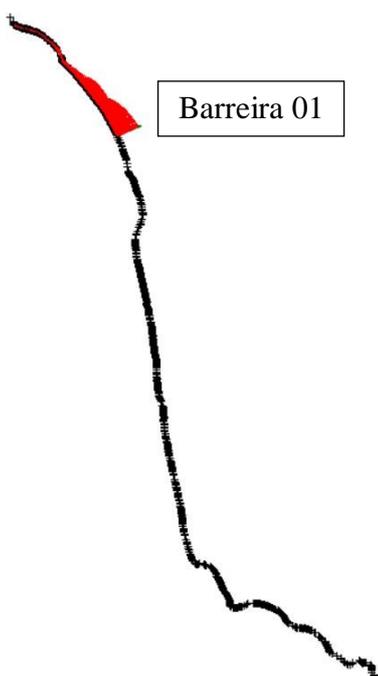


Figura 9 – Simulação de queda de blocos barreira 01 nova posição seção 2.3

Fonte : GEOBRUGG (2023)

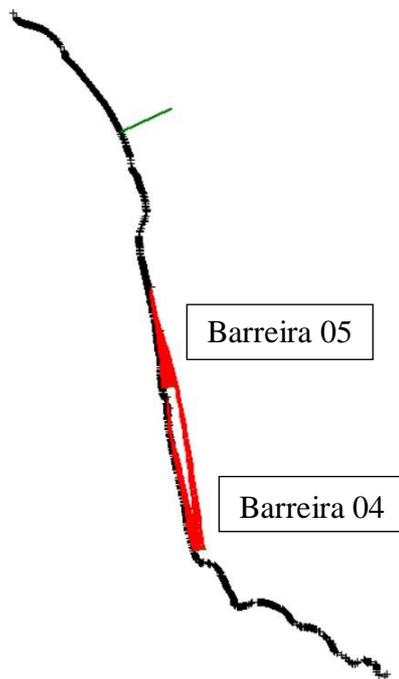


Figura 10 – Simulação de queda de blocos barreiras 04 e 05 nova posição seção 2.3

Fonte: GEOBRUGG (2023)

Nessa simulação o Drape abaixo da barreira 01 é de 50 m e sem necessidade de Drape abaixo da barreira 05.

As análises da seção 2.3 apresentam que as barreiras nas posições indicadas no projeto retêm 100% dos blocos simulados (no conjunto das barreiras). Além disso, as energias de impacto para o bloco de 15 ton. são de 3000 kJ Na barreira 1, blocos de 5,9 ton de 1500kJ na barreira 05 e blocos de 4ton de 1500 kJ na barreira 04.

Os comprimentos de drape projetados (50m abaixo da barreira 01) foram definidos a fim de se garantir a altura de impacto compatível com a altura da barreira.

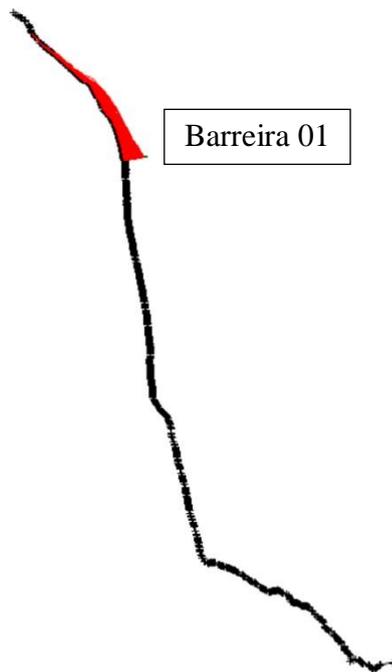


Figura 11 – Simulação de queda de blocos barreira 01 nova posição seção 2.4

Fonte: GEOBRUGG (2023)

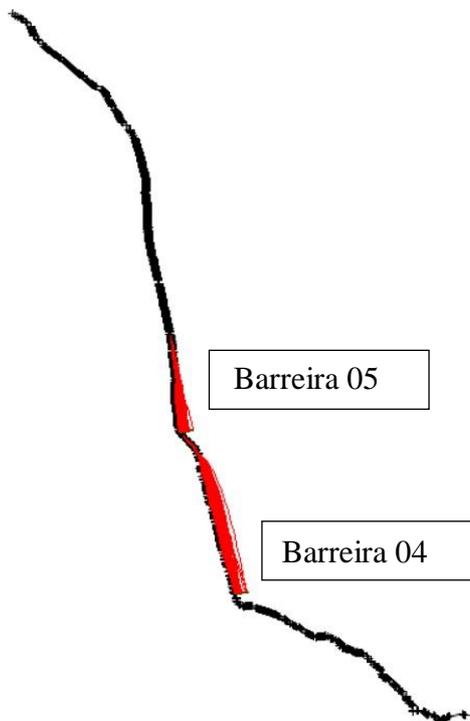


Figura 12 – Simulação de queda de blocos barreiras 04 e 05 nova posição seção 2.4

Fonte: GEOBRUGG (2023)

Nessa simulação o Drape abaixo da barreira 01 é de 55 m e sem necessidade de Drape abaixo da barreira 05.

As análises da seção 2.4 apresentam que as barreiras nas posições indicadas no projeto retêm 100% dos blocos simulados (no conjunto das barreiras). Além disso, as energias de impacto para o bloco de 15 ton são de 3000 kJ Na barreira 1, blocos de 5,6 ton de 1500 kJ na barreira 05 e blocos de 4 ton de 1500 kJ na barreira 04.

Os comprimentos de drape projetados (55m abaixo da barreira 01) foram definidos a fim de se garantir a altura de impacto compatível com a altura da barreira.

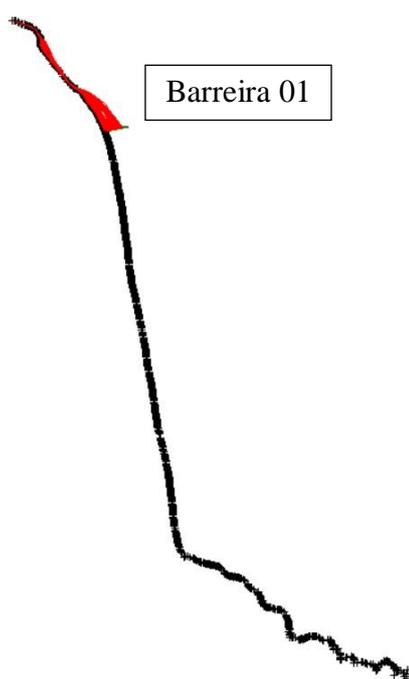


Figura 13 – Simulação de queda de blocos barreira 01 nova posição seção 2.5

Fonte: GEOBRUGG (2023)

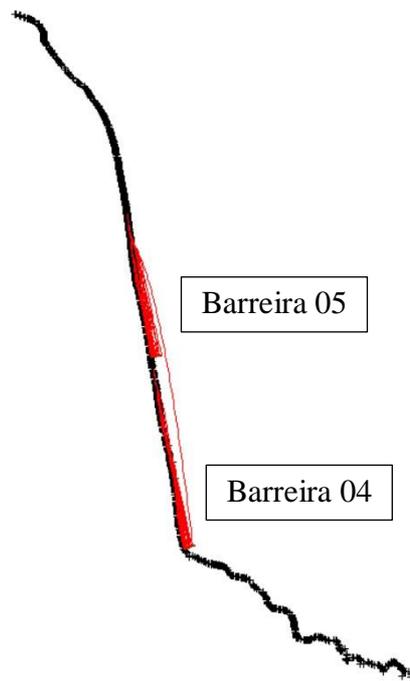


Figura 14 – Simulação de queda de blocos barreiras 04 e 05 nova posição seção 2.5

Fonte: GEOBRUGG (2023)

O Drape abaixo da barreira 01 é de 40 m e sem necessidade de Drape abaixo da barreira 05.

As análises da seção 2.5 apresentam que as barreiras nas posições indicadas no projeto retêm 100% dos blocos simulados (no conjunto das barreiras). Além disso, as energias de impacto parao bloco de 15 ton são de 3000 kJ Na barreira 1, blocos de 4ton de 1500kJ na barreira 05 e blocosde 4ton são de 1500 kJ na barreira 04.

Os comprimentos de drape projetados (40m abaixo da barreira 01) foram definidos a fim de se garantir a altura de impacto compatível com a altura da barreira.

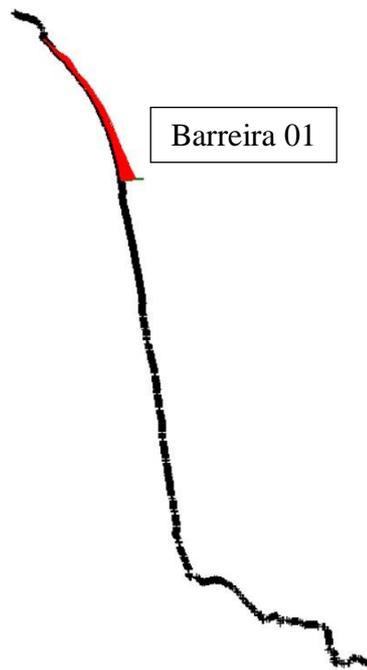


Figura 15 – Simulação de queda de blocos barreira 01 nova posição seção 2.6

Fonte: GEOBRUGG (2023)

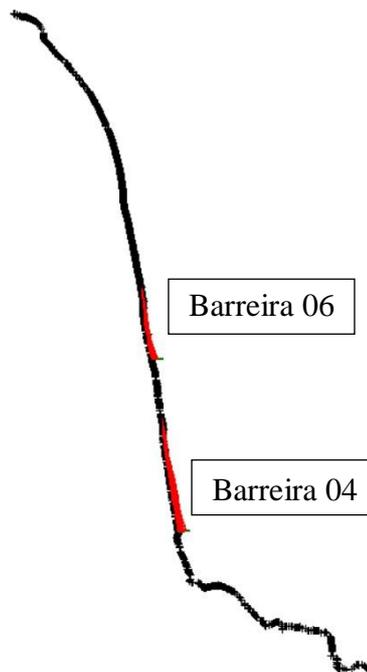


Figura 16 – Simulação de queda de blocos barreiras 04 e 06 nova posição seção 2.6

Fonte: GEOBRUGG (2023)

Nessa simulação o Drape da barreira 01 é de 40 m e da barreira 06 é de 20 m.

As análises da seção 2.6 apresentam que as barreiras nas posições indicadas no projeto retêm 100% dos blocos simulados (no conjunto das barreiras). Além disso, as energias de impacto parao bloco de 15 ton. são de 3000 kJ Na barreira 1, blocos de 6,8ton são de 1500kJ na barreira 06 e blocos de 4,8ton de 1500 kJ na barreira 04.

Os comprimentos de drape projetados (40m abaixo da barreira 01 e de 20m abaixo da barreira 06) foram definidos a fim de se garantir a altura de impacto compatível com a altura da barreira.

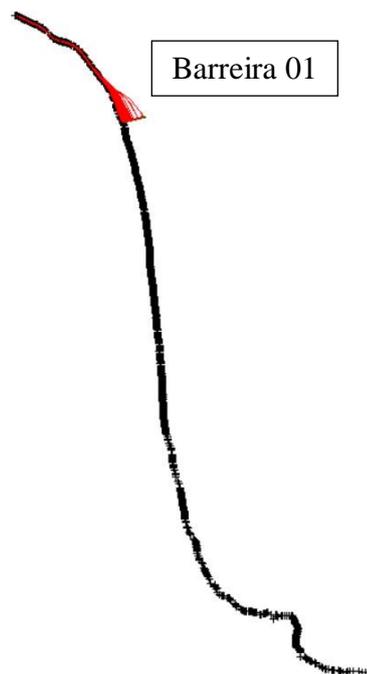


Figura 17 – Simulação de queda de blocos barreira 01 nova posição seção 2.7

Fonte: GEOBRUGG (2023)

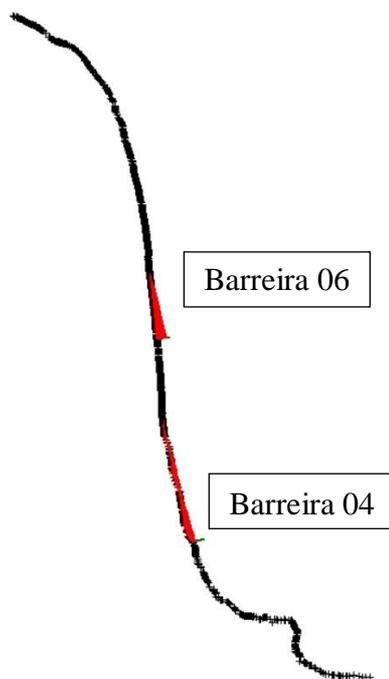


Figura 18 – Simulação de queda de blocos barreiras 04 e 06 nova posição seção 2.7

Fonte: GEOBRUGG (2023)

O Drape da barreira 01 é de 50 m e o da barreira 06 é de 30 m.

As análises da seção 2.7 apresentam que as barreiras nas posições indicadas no projeto retêm 100% dos blocos simulados (no conjunto das barreiras). Além disso, as energias de impacto para o bloco de 15 ton. são de 3000 kJ Na barreira 1, blocos de 4,8ton de 1500kJ na barreira 06 e blocos de 4 ton de 1500 kJ na barreira 04.

Os comprimentos de drape projetados (50m abaixo da barreira 01 e de 30m abaixo da barreira 06) foram definidos a fim de se garantir a altura de impacto compatível com a altura da barreira.

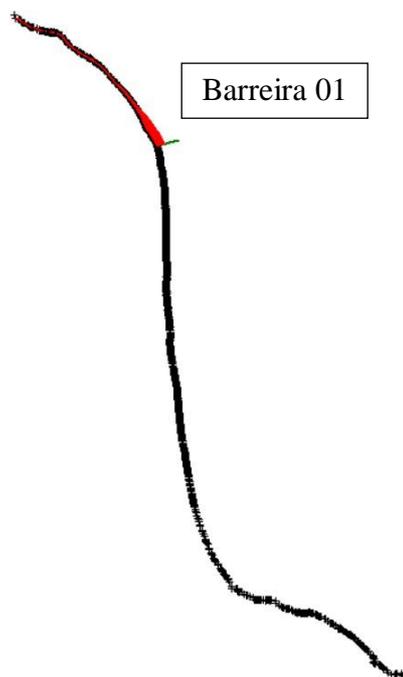


Figura 19 – Simulação de queda de blocos barreira 01 nova posição seção 2.8

Fonte: GEOBRUGG (2023)

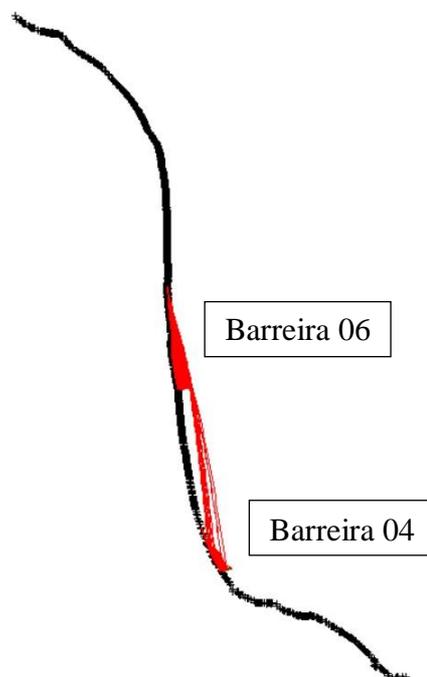


Figura 20 – Simulação de quedas de blocos barreiraws 04 e 06 nova posição seção 2.8

Fonte: GEOBRUGG (2023)

Drapes abaixo das barreiras 01 e 06 serão de 50 m.

As análises da seção 2.8 apresentam que as barreiras nas posições indicadas no projeto retêm 100% dos blocos simulados (no conjunto das barreiras). Além disso, as energias de impacto parao bloco de 15 ton. São de 3000 kJ Na barreira 1, blocos de 4,8 ton são de 1500kJ na barreira 06 e blocos de 4ton de 1500 kJ na barreira 04.

Os comprimentos de drape projetados (50m abaixo da barreira 01 e de 50m abaixo da barreira 06) foram definidos a fim de se garantir a altura de impacto compatível com a altura das barreiras.

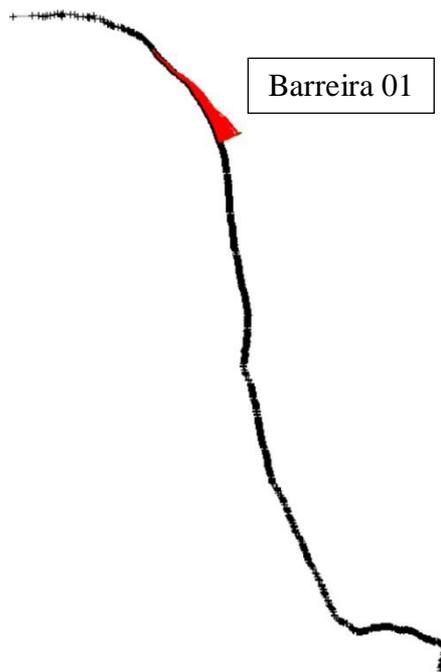


Figura 21 – Simulação de queda de blocos barreira 01 nova posição seção 2.9

Fonte: GEOBRUGG (2023)

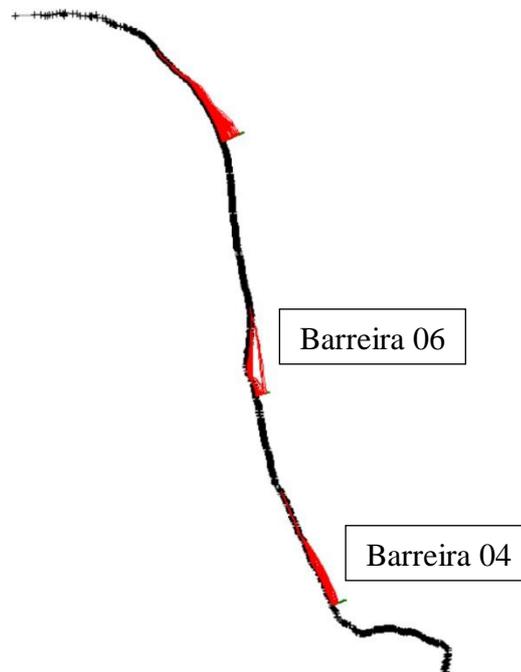


Figura 22 – Simulação de queda de blocos barreiras 04 e 06 seção 2.9

Fonte: GEOBRUGG (2023)

O Drape abaixo da barreira 01 é de 50 m e abaixo da barreira 06 é de 30 m.

As análises da seção 2.9 apresentam que as barreiras nas posições indicadas no projeto retêm 100% dos blocos simulados (no conjunto das barreiras). Além disso, as energias de impacto para o bloco de 13 ton. são de 3000 kJ Na barreira 1, blocos de 6ton de 1500kJ na barreira 06 e blocos de 5,6ton de 1500 kJ na barreira 04.

Os comprimentos de drape projetados (50m abaixo da barreira 01 e de 30m abaixo da barreira 06) foram definidos a fim de se garantir a altura de impacto compatível com a altura das barreiras.

Em resumo, considerando todas as seções é recomendado portando que devem ser fixados individualmente blocos acima de 15 ton a montante da Barreira 01, blocos acima de 4 ton a montante da Barreira 04, blocos acima de 5,6ton a montante da Barreira 05 e blocos acima de 4,8ton a montante da Barreira 06.

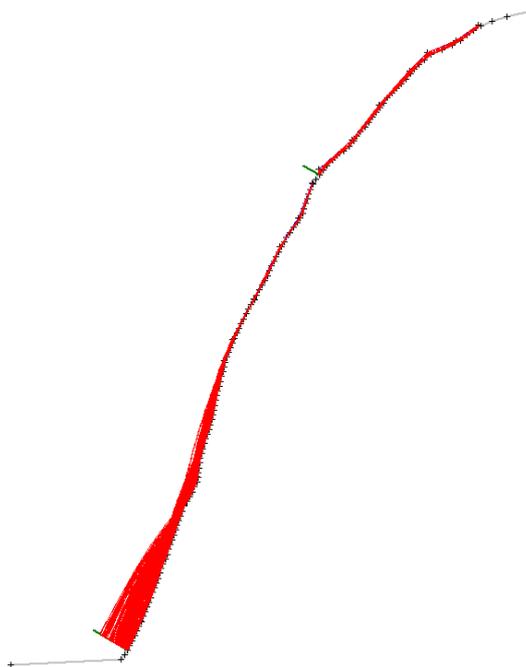


Figura 23 – Simulação de queda de blocos barreiras 02 e 06 seção 1.7

Fonte: GEOBRUGG (2023)

As análises da seção 1.7 apresentam que as barreiras nas posições indicadas no projeto retêm 100% dos blocos simulados (no conjunto das barreiras). Além disso, as energias de impacto para o bloco de 2,7 ton são de 1600 kJ Na barreira 1 e de 700kJ na barreira 06.

Nesta seção não se observou necessidade de instalação de sistema Drape.

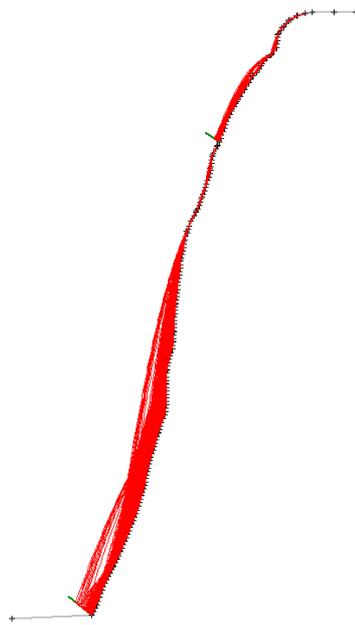


Figura 24 – Simulação de queda de blocos barreiras 02 e 06 seção 1.10

Fonte: GEOBRUGG (2023)

As análises da seção 1.10 apresentam que as barreiras nas posições indicadas no projeto retêm 100% dos blocos simulados (no conjunto das barreiras). Além disso, as energias de impacto para o bloco de 2,7 ton são de 2000 kJ na barreira 1 e de 700kJ na barreira 06.

Nesta seção não se observou necessidade de instalação de sistema Drape.

Em paralelo a este estudo, foi levantada a possibilidade de executar um trecho parcial da Barreira 02 a jusante do dispositivo de drenagem (canaleta), objetivando-se dispensar a necessidade de execução de uma parte da linha do atenuador no trecho intermediário do paredão rochoso. No entanto, ao serem geradas as simulações de queda de blocos de rocha nas seções correspondentes a este trecho (Figura 25), verificou-se que as linhas de atenuadores ainda seriam necessárias, mantendo-se então, as formatações supracitadas (Barreira 02A e 02B).

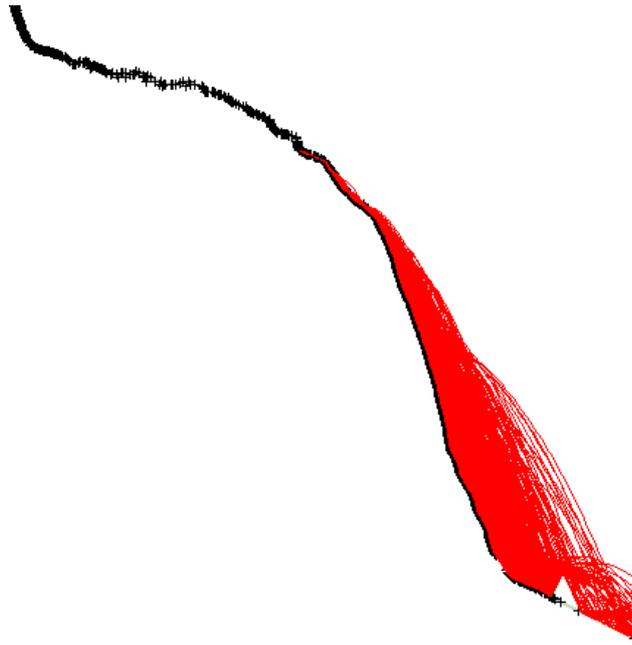


Figura 25 – Simulação de quedas de blocos de rocha barreira 02

Fonte: GEOBRUGG (2023)

A Figura 26 apresenta a simulação realizada considerando a execução de sistema Drape a montante.

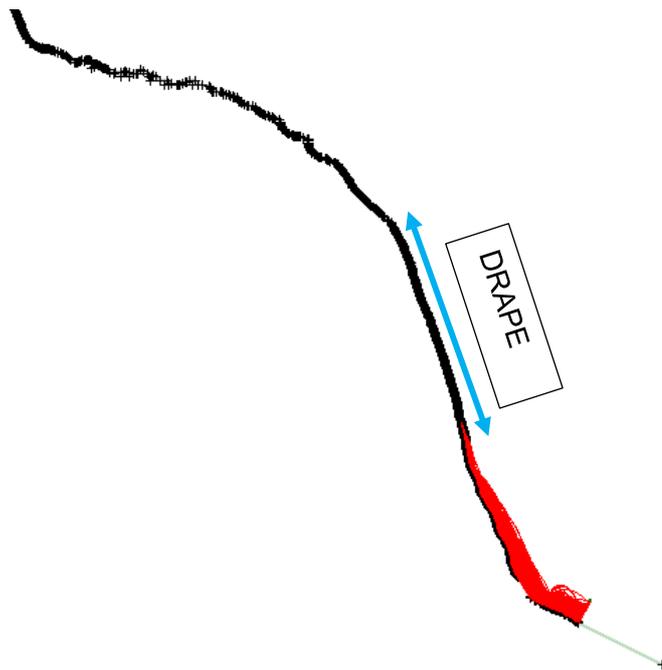


Figura 26 – Simulação de queda de blocos de rocha considerando sistema Drape

Fonte: GEOBRUGG (2023)

A Figura 27 apresenta as energias de impacto geradas na Barreira 02, atendendo as premissas de projeto que indicam a barreira com capacidade de retenção de energias de impacto de até 3.000 kJ para blocos com até 2,7 ton.

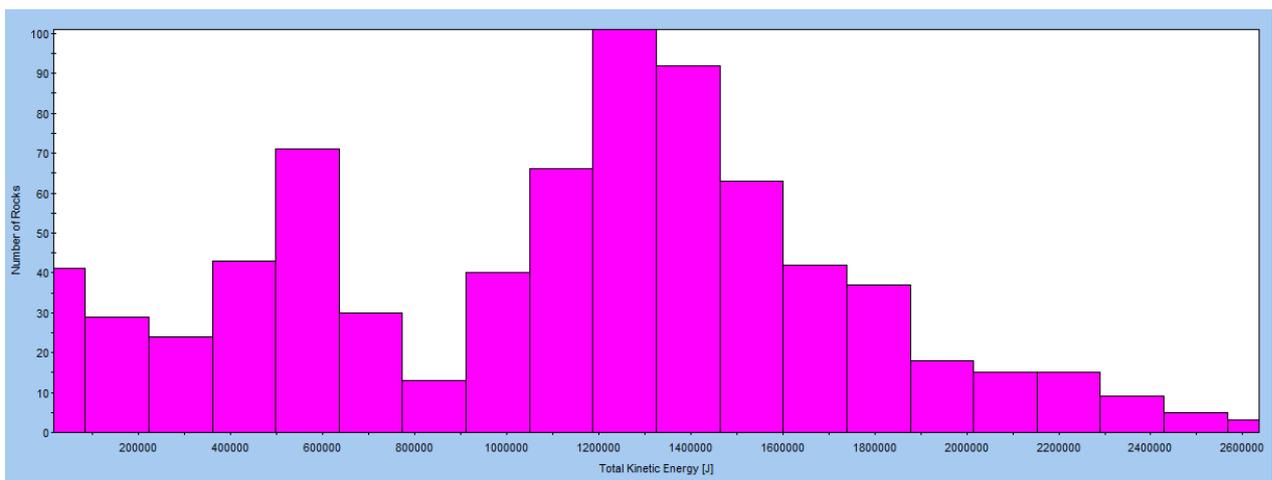


Figura 27 – Gráfico das energias de impacto geradas nas simulações de queda de blocos de rocha com utilização de sistema Drape a montante

Fonte: GEOBRUGG (2023)

Foram geradas novas simulações de quedas de blocos de rocha para validação da nova extensão e posicionamento da barreira – Figura 28. A nova posição foi validada pois todos os blocos simulados são retidos pelo sistema de altura de 6,00m, assim como os impactos gerados são completamente absorvidos pela classe de energia correspondente a 3.000kJ para blocos de massa máxima de 2,7 ton. A Figura 29 apresenta os gráficos de energia de impacto gerados através das simulações.

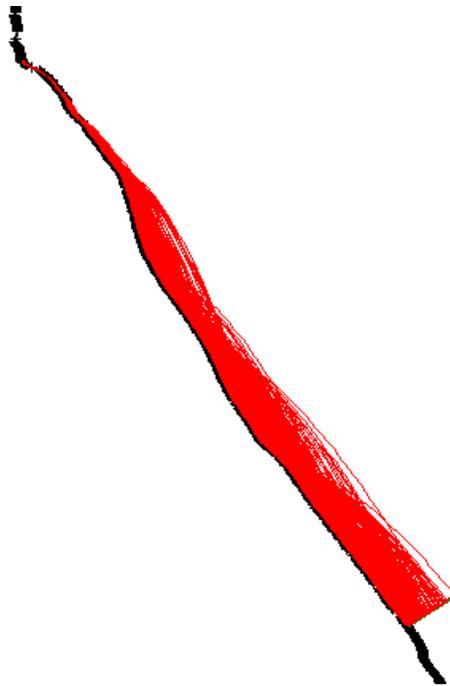


Figura 28 – Novas simulações de queda de blocos de rocha barreira 03

Fonte: GEOBRUGG (2023)

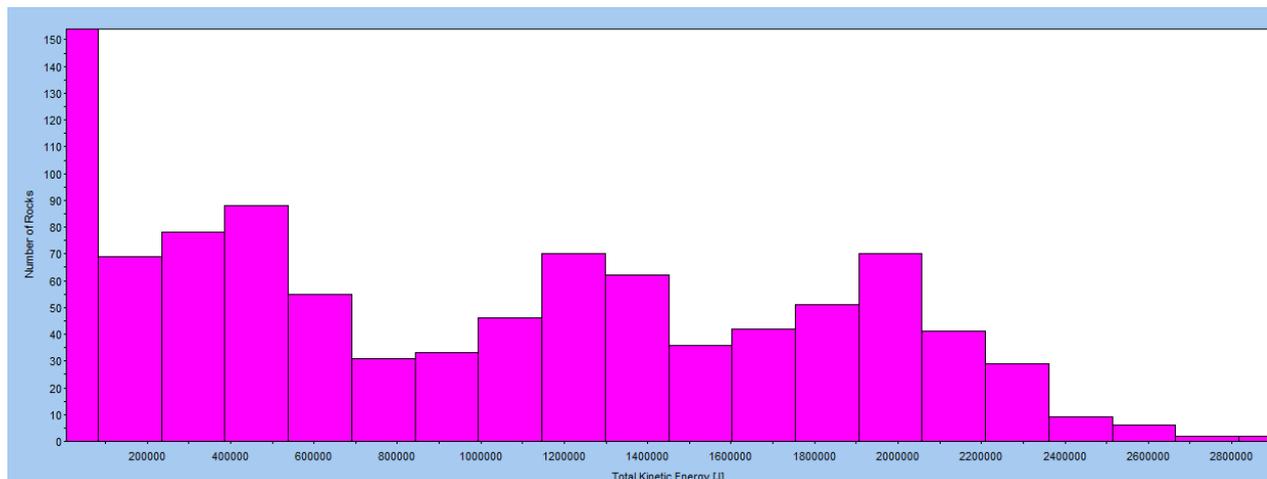


Figura 29 – Gráfico de energia de impacto dos blocos de rocha simulados

Fonte: GEOBRUGG (2023)

Foi verificado em campo que imediatamente a montante do alinhamento inicial da Barreira 06 a face rochosa possui uma geometria desfavorável, onde ocorre uma mudança de declividade, e por consequência a formação de um pequeno platô. Esta condição pode permitir que as lascas em queda sejam projetadas sobre a posição prevista em projeto básico, situação evidenciada apenas em visita de campo com acesso partindo da crista da encosta.

Portanto, foi proposta a alternativa de segmentar a barreira a partir do poste 13, fechando os 120m lineares e fazendo a sequência das linhas de ponto a montante.

Para validar esta nova locação foram realizadas análises de queda de blocos geradas através do estudo de compatibilização de posicionamento das Barreiras 1, 4, 5 e 6 foram reavaliadas (Figura 31). Além de relocar a barreira para a crista é indicado que seja executado transpasse a partir do poste P13 à montante.

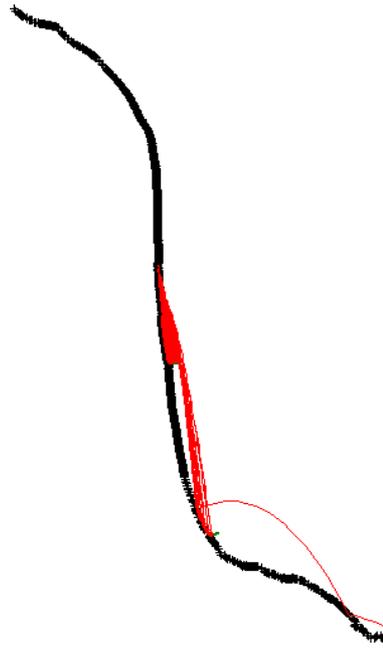


Figura 30 – Simulação de queda de blocos de rocha

Fonte: GEOBRUGG (2023)

A Figura 4-31 indica os pontos de amarração da barreira após o poste P13, deslocada para montante cerca de 15~20 metros.

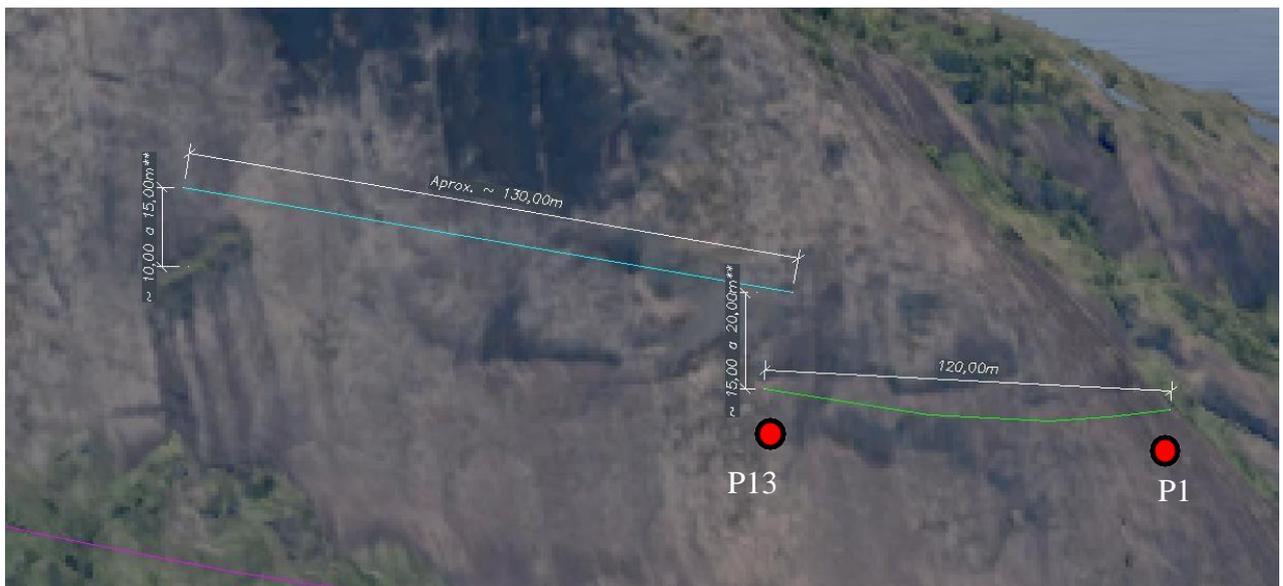


Figura 31 – Pontos de amarração da linha da barreira para atividades de marcação e execução da linha de vida

Fonte: GEOBRUGG (2023)

Deslocamento estimado com visualização de campo e com base na medida da nuvem de pontos, a locação final da linha deve ser no ponto da mudança de inclinação, conforme definição em campo.

Esta definição originou a separação da linha 06 em linha 06 A e 06 B. Os novos segmentos da barreira estão em estudo neste momento.

Foi observado que na região da Seção 2.1, a localização das casas a jusante tem maior distânciado paredão rochoso, portanto foram feitas simulações de queda de blocos em seções nas proximidades da Seção 2.1 para verificar até que ponto os blocos ainda atingem possuem risco de atingir as residências. Esta verificação foi possível com o aumento da área mapeada obtendo uma seção completa que indique a posição das casas.

Portanto, para verificação do ponto limite para início dos sistemas de Barreiras, foram analisadas seções extras ao lado da primeira seção 2.1, estas seções nomeadas Seções 2.1.0, 2.1.1 e 2.1.2 podem ser observadas na Figura 32.

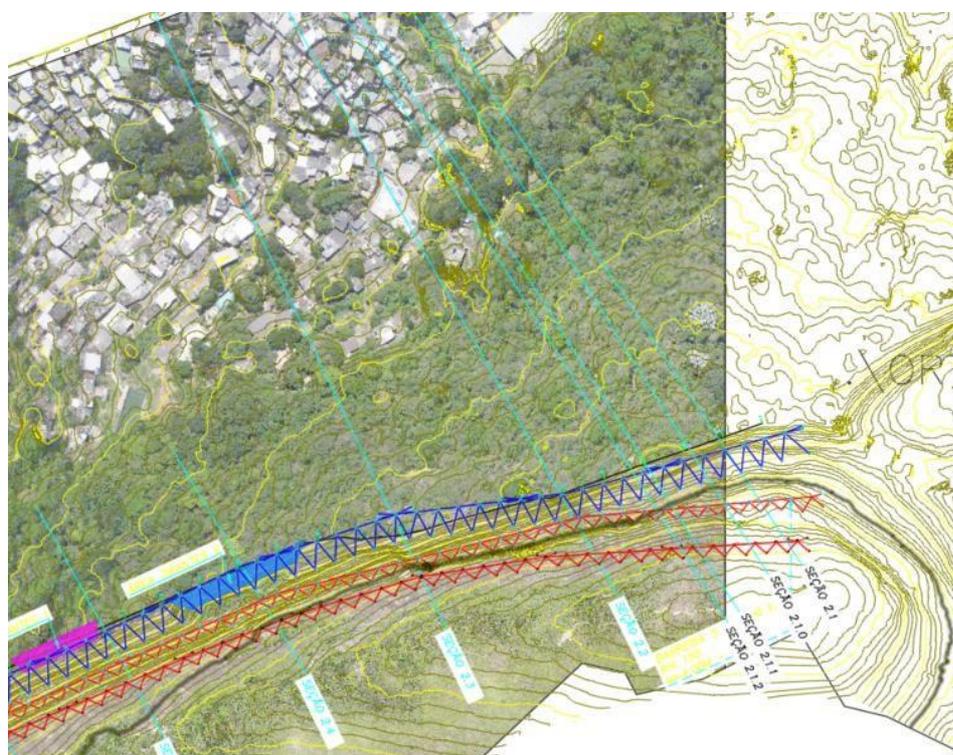


Figura 32 – Indicação da posição das seções 2.1.0, 2.1.1 e 2.1.2

Fonte: GEOBRUGG (2023)

Na Figura 33 observa-se a simulação de blocos executada para a Seção 2.1.0 onde obteve-se como resultado que apenas 0,001% blocos simulados atingiria o ponto de início das construções, com energia de 300J.

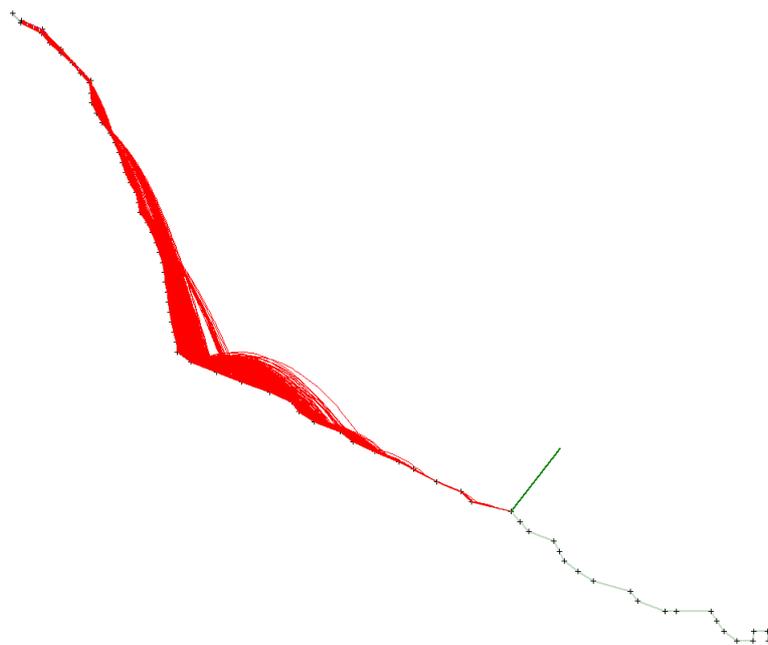


Figura 33 – Simulação de queda de blocos na seção 2.1.0

Fonte: GEOBRUGG (2023)

Para as simulações da seção 2.1.1, Figura 34, observa-se que 0,002% dos blocos simulados atingiriam a região das residências com energia máxima de 280J.

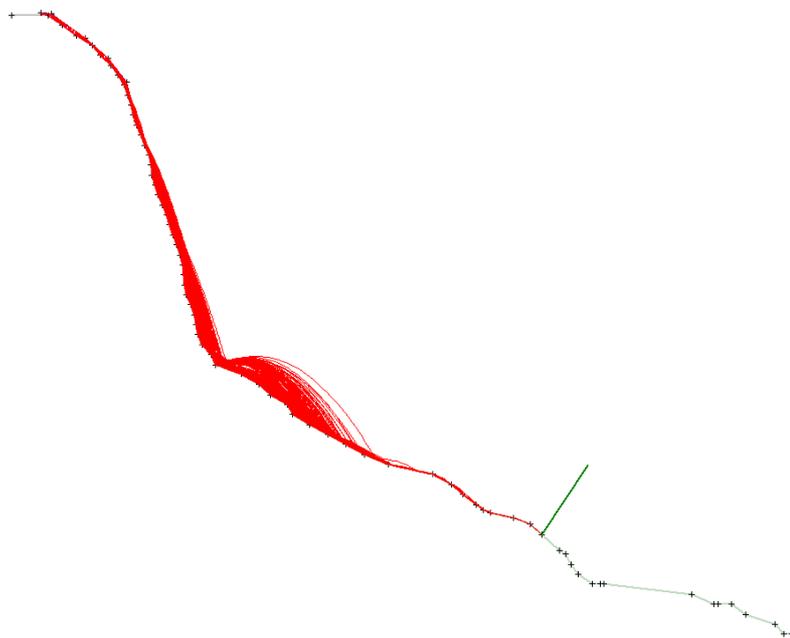


Figura 34 – Simulação de queda de blocos na seção 2.1.1

Fonte: GEOBRUGG (2023)

Já na seção 2.1.2, Figura 35, observa-se que 76 blocos dos 1000 simulados tem potencial para atingir as residências apresentando uma energia máxima de impacto de 470kJ. Sendo assim, esta seção foi considerada a limite para início do tratamento

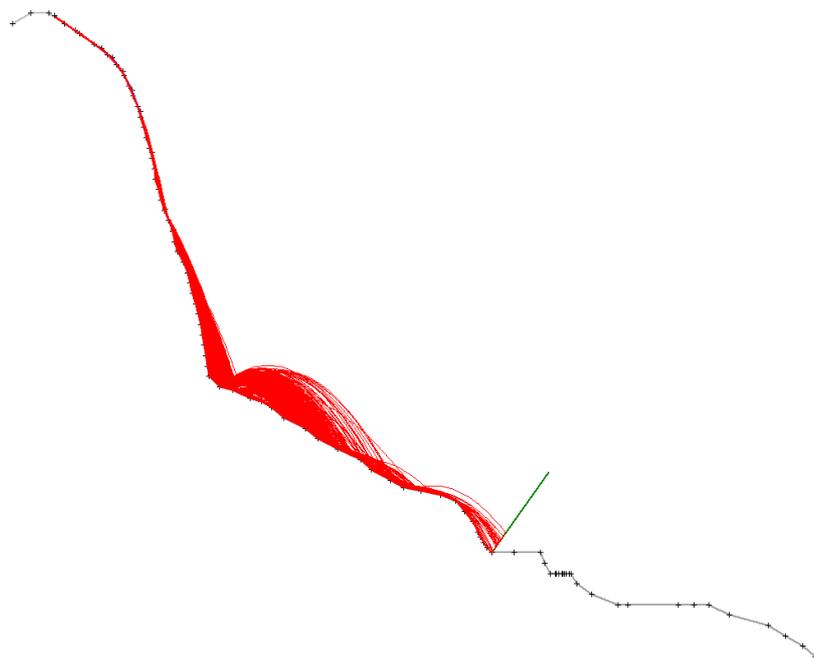


Figura 35 – Simulação de queda na seção 2.1.2

Fonte: GEOBRUGG (2023)

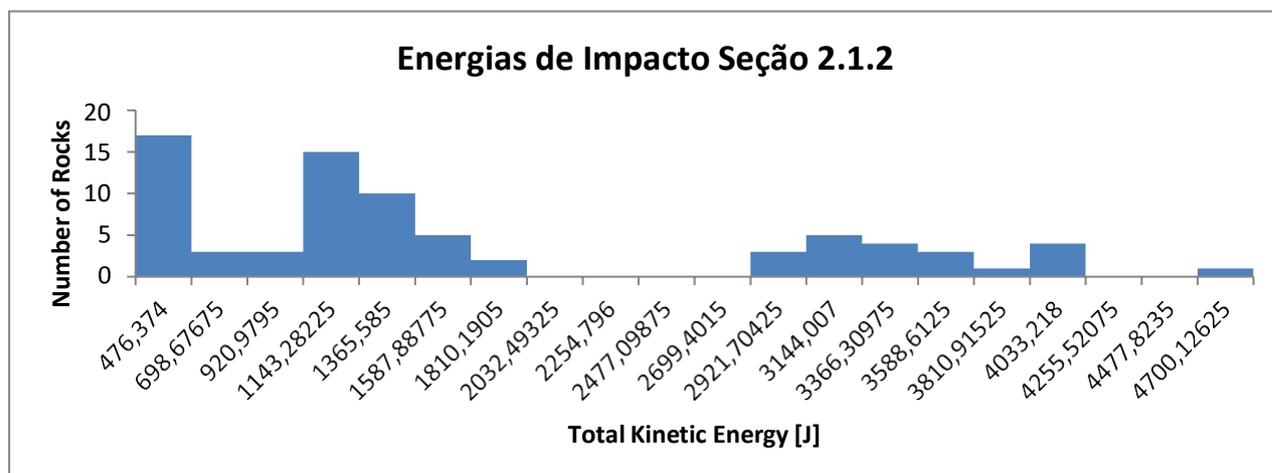


Figura 36 – Energias de impacto dos blocos que atingem o ponto de início das construções na seção 2.1.2

Fonte: GEOBRUGG (2023)



Figura 37 – Congiguração final do projeto com as modificações indicadas  
Fonte: GEOBRUGG (2023)

Tabela 5 – Quantitativo de materiais

Linha	Modelo	Energia (kJ)	Altura (m)	Quantidade	Unidade
Barreira 01A	RXI 150	1500	4	60	m
Barreira 01B	RXI300	3000	8	60	m
Barreira 01C	RXI300	3000	8	57	m
Barreira 01D	RXI300	3000	8	60	m
Barreira 01E	RXI300	3000	8	60	m
Barreira 01F	RXI300	3000	8	60	m
Barreira 01G	RXI300	3000	8	60	m
Barreira 01H	RXI300	3000	8	60	m
Barreira 01I	RXI300	3000	8	60	m
Barreira 01J	RXI300	3000	8	60	m
Barreira 02A	RXI300	3000	8	160	m
Barreira 02B	RXI300	3000	8	110	m
Barreira 03	RXI300	3000	6	167	m
Barreira 04A	RXI 150	1500	4	60	m
Barreira 04B	RXI 150	1500	4	60	m
Barreira 04C	RXI 150	1500	4	60	m
Barreira 04D	RXI 150	1500	4	60	m
Barreira 04E	RXI 150	1500	4	60	m
Barreira 04F	RXI 150	1500	4	60	m
Barreira 04G	RXI 150	1500	4	60	m
Barreira 04H	RXI 150	1500	4	60	m
Barreira 04I	RXI 150	1500	4	60	m
Barreira 05A	RXI 150	1500	4	60	m

Linha	Modelo	Energia (kJ)	Altura (m)	Quantidade	Unidade
Barreira 05B	RXI 150	1500	4	60	m
Barreira 05C	RXI 150	1500	4	60	m
Barreira 05D	RXI 150	1500	4	60	m
Barreira 05E	RXI 150	1500	4	60	m
Barreira 05F	RXI 150	1500	4	60	m
Barreira 05G	RXI 150	1500	4	30	m
Barreira 06A	RXI 150	1500	4	120	m
Barreira 06B	RXI 150	1500	4	60	m
Barreira 06C	RXI 150	1500	4	60	m
Barreira 06D	RXI 150	1500	4	60	m
Barreira 06E	RXI 150	1500	4	60	m
Sistema DRAPE				34500	m <sup>2</sup>

Fonte: GEOBRUGG (2023)

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos anos, a recorrência das chuvas aumentou, assim, eventos anômalos e a intensidade destes em toda a área do Morro Dois Irmãos – RJ, causou graves danos materiais e até perda de vidas naquele local.

Essa região possui assentamentos humanos e os deslizamentos de solo envolvendo diversos tipos de detritos, ano após ano tem aumentado, sendo necessária uma intervenção, através de projetos de engenharia, que visem prevenir novos desastres.

Este estudo teve como objetivo avaliar a eficácia da barreira dinâmica flexível, a qual já vem sendo implantada naquele local. Neste estudo foram utilizados os relatórios da empresa Geobrugg, a qual tem colocado em prática um projeto destinado à construção de uma barreira dinâmica flexível no local.

A literatura pesquisada evidenciou que o desenvolvimento de uma zona morta proporcionou uma almofada que diminuiu o impacto do fluxo subsequente de detritos na barreira.

O respectivo pico de força de impacto evoluiu fortemente com a rigidez da barreira. As forças de impacto de pico foram atenuadas com a diminuição da rigidez da barreira, o que é atribuído à deformação da barreira que desempenha um papel tampão na interação fluxo-estrutura com menor rigidez.

Notavelmente, mesmo as ligeiras deflexões da barreira deformável foram suficientes para atenuar a carga de pico em até 30%. À medida que a rigidez da barreira diminuiu, a deformação elástica recuperável tornou-se maior e o pico de deformação tornou-se mais óbvio quando o fluxo de detritos causou impacto.

Assim sendo, comprovou-se que a barreira dinâmica flexível é eficiente no que diz respeito à prevenção de novos desastres no Morro Dois Irmãos – RJ, e pelo projeto apresentado, a mesma está sendo feita de forma a atender às exigências determinadas pela situação e pelas normas em vigor.

## REFERÊNCIAS

ABNT. **Norma ABNT NBR 6118 Projeto de estruturas de concreto**. Procedimento. 2014. Disponível em: <[www.e-disciplinas.usp.br/pluginfile.php/7891732/mod\\_resource/content/1/10%20NBR%206118.pdf](http://www.e-disciplinas.usp.br/pluginfile.php/7891732/mod_resource/content/1/10%20NBR%206118.pdf)>. Acesso em: 20 out. 2023.

GEOBRUGG 2023. Documento interno. **Geologus Rocinha**.

GONZÁLEZ, V. L. et al. **Engenharia geológica**. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

GONZÁLEZ, I. C. **Zonificación de riesgo por procesos de remoción en masa en la ciudad de Lebu**. 2022. Disponível em: <[www.repositorio.udec.cl/bitstream/11594/9659/1/TESIS%20ZONIFICACION%20DE%20RIESGO%20POR%20PROCESOS%20.pdf](http://www.repositorio.udec.cl/bitstream/11594/9659/1/TESIS%20ZONIFICACION%20DE%20RIESGO%20POR%20PROCESOS%20.pdf)>. Acesso em: 25 out. 2023.

HAUSSER, A. Y. **Los aluviones del 18 de junio de 1991 en Antofagasta: un análisis crítico a 5 años del desastre**. 1997. Disponível em: <[www.bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/20450](http://www.bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/20450)>. Acesso em: 18 out. 2023.

HUANG, Y. et al. **Effects of Barrier Stiffness on Debris Flow Dynamic Impact—I: Laboratory Flume Test**. 2022. Disponível em: <[www.mdpi.com/2073-4441/14/2/177](http://www.mdpi.com/2073-4441/14/2/177)>. Acesso em: 20 out. 2023.

JACOBY, S.; RODRIGO, D. **Vulnerabilidad del sector urbano de La Reina frente a desbordes de la Quebrada San Ramón**. 2001. Disponível em: <[www.bibliotecadigital.uchile.cl/discovery/fulldisplay/alma991001647759703936/56UDC\\_INST:56UDC\\_INST](http://www.bibliotecadigital.uchile.cl/discovery/fulldisplay/alma991001647759703936/56UDC_INST:56UDC_INST)>. Acesso em: 18 out. 2023.

KIM, J. et al. **Influence of rainfall-induced wetting on the stability of slopes in weathered soils**. 2004. Disponível em: <[www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S001379520400136X](http://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S001379520400136X)>. Acesso em: 19 out. 2023.

LAMBE, W.; WHITMAN, R. **Mecânica dos solos**. 1972. Disponível em: <[www.coursehero.com/file/p3i344s/Lambe-W-Whitman-R-1972-Mecânica-de-suelos-Instituto-Tecnológico-de/](http://www.coursehero.com/file/p3i344s/Lambe-W-Whitman-R-1972-Mecânica-de-suelos-Instituto-Tecnológico-de/)>. Acesso em: 18 out. 2023.

POPESCU, M. E. **Landslide Causal Factors and Landslide Remedial Options**. 2002. Disponível em: <[www.geoengineer.org/storage/publication/19461/publication\\_file/2727/Lanslides-Popescu.pdf](http://www.geoengineer.org/storage/publication/19461/publication_file/2727/Lanslides-Popescu.pdf)>. Acesso em: 19 out. 2023.

SELBY, M. J. **Hillslope materials and processes**. 1993. Disponível em: <[www.w ebapps.unitn.it/Biblioteca/it/Web/EngbankFile/Hillslope%20materials%20and%20processes.pdf](http://www.w ebapps.unitn.it/Biblioteca/it/Web/EngbankFile/Hillslope%20materials%20and%20processes.pdf)>. Acesso em: 20 out. 2023.

TAKAHASHI, T. **A review of japanese debris flow research.** 2009. Disponível em: <[www.j stage.jst.go.jp/article/ijece/2/1/2\\_1\\_1/\\_article/-char/ja/](http://www.jstage.jst.go.jp/article/ijece/2/1/2_1_1/_article/-char/ja/)>. Acesso em: 25 out. 2023.

.