

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/186

BARREIRA DE QUEDA DE ROCHAS COMO MEDIDA DE PROTEÇÃO DE UM TERMINAL FERROVIÁRIO

Felipe Gobbi 1

Diretor Técnico, FGS Engenharia e Geobrugg AG, Porto Alegre, RS, Brasil, felipe@fgs.eng.br

Bruno Denardin 2

Engenheiro, FGS Engenharia, Porto Alegre, RS, Brasil, bruno@fgs.eng.br

Karine Liboreiro 3

Engenheira, Vale, Belo Horizonte, MG, Brasil, Karine.Liboreiro.Karine@Vale.com

Mariana Poubel 4

Engenheira, Geobrugg AG/IME. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, mariana.poubel@geobrugg.com

Adoniram Coelho 5

Engenheiro, Vale, Belo Horizonte, MG, Brasil, adoniran.coelho@vale.com

RESUMO: O terminal rodoviário do Funil é localizado em Ouro Preto, no estado de Minas Gerais, e funciona como um ponto intermodal para transporte de minério de ferro, que são carregados nas composições ferroviárias e transportados para o destino final, possuindo assim uma grande importância como ativo da Estrada de Ferro Vitória Minas. Este terminal intermodal possui uma série de prédios e estruturas de manutenção que acomodam os times operacionais e administrativos, sendo um ponto estratégico para as operações da concessionária. Um destes prédios foi atingido por quedas de rochas em 2021, felizmente causando apenas danos materiais. Foi desenvolvido o diagnóstico geotécnico, estudo de alternativas e por fim o projeto executivo da solução de mitigação. A solução empregada foram barreiras dinâmicas contra queda de rochas. Este artigo apresenta as simulações de quedas de rochas geradas no diagnóstico, bem como todas as etapas de desenvolvimento do projeto e implantação da obra.

PALAVRAS-CHAVE: Barreiras dinâmicas, queda de rocha, terminal ferroviário

ABSTRACT: The Funil bus terminal is located in Ouro Preto, in the state of Minas Gerais, and functions as an intermodal point for the transportation of iron ore, which is loaded onto railroad trains and transported to its final destination, thus having great importance as an asset of the Vitória Minas Railroad. This intermodal terminal has a series of buildings and maintenance structures that accommodate the operational and administrative teams, making it a strategic point for the concessionaire's operations. One of these buildings was hit by falling rocks in 2021, fortunately causing only material damage. A geotechnical diagnosis was carried out, along with a study of alternatives and, finally, the executive project for the mitigation solution. The solution used was dynamic rockfall barriers. This article presents the rockfall simulations generated in the diagnosis, as well as all the stages in the development of the project and implementation of the work.

KEYWORDS: Dynamic barriers, rockfall, railway terminal

1. INTRODUÇÃO

O Terminal Ferroviário do Funil fica localizado no município de Ouro Preto, no estado de Minas Gerais, localizado no Km 79 da Rodovia dos Inconfidentes (MG-356). Neste pátio ferroviário é realizada a integração intermodal de transportes de ferro gusa, material que é carregado nas composições ferroviárias e transportada até seu destino final. Além de promover a integração intermodal, no terminal fica localizado um conjunto de edificações e estruturas de manutenção, que abrigam parte da equipe de operação da ferrovia bem como equipes de administração local, sendo um ponto estratégico para as operações da concessionária. Como pode ser observado na fotografia aérea, margeando o terminal existe uma grande encosta natural, onde blocos de rocha com diferentes dimensões estão presentes. Um bloco de rocha com raio e massa estimadas em 0,35 m e 500 kg, impactou a extremidade de uma edificação do terminal, causando danos apenas materiais, e teve como resposta a interdição da mesma, estando ilustrado a abaixo a condição geral do talude.



Figura 1-1: Configuração geral do terminal pátio funil

Foi constatada a necessidade de uma intervenção neste talude para que as operações na edificação impactada e nas áreas de operação sejam realizadas de maneira segura. Para determinar as intervenções foi realizado um trabalho de mapeamento de campo, a fim de coletar as informações necessárias para o projeto, etapa subsequente às visitas de campo.

Como solução foram propostas diferentes intervenções no local, tendo se optado pela utilização de barreiras dinâmicas contra queda de rochas ao longo do trecho de maior risco para as operações, a montante das edificações.

O presente artigo se destina a apresentar o mapeamento de campo, principais características do local bem como a obra que foi implantada na região.

2. LOCALIZAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DA REGIÃO DE PROJETO

2.1. Localização da região de estudo, geologia básica e materiais ocorrentes

A região alvo do projeto fica localizada na área do município de Ouro Preto, distante cerca de 15 km da sede municipal, as margens da rodovia MG-365, a Rodovia dos Inconfidentes. As coordenadas médias do terminal ferroviário são 643.547 E e 7.747.009 S (UTM WGS84). A área abrangida pelo Terminal de Integração Funil está localizada na região do município de Ouro Preto e inserida na parte leste da província mineral do Quadrilátero Ferrífero (Dorr, 1969; Baltazar *et al.* 2005; Dopico *et al.*, 2017). A estratigrafia da encosta é apresentada esquematicamente na figura a seguir. A área de interesse encontra-se em uma região limítrofe entre duas unidades geológicas: a Formação Cauê (PP1mic) e a Formação Nova Lima (A4rnvs).

A *Formação Cauê*, compreende itabiritos silicosos a carbonáticos, alterados até grandes profundidades em produtos friáveis. Associado a estes itabiritos, ocorre lentes de hematita, filitos e dolomitos. A *Formação Nova Lima*, abrange xistos e filitos diversos de origem vulcanossedimentar e sedimentar com proporções variáveis de quartzo, clorita, biotita, muscovita, carbonato, plagioclásio e feldspato, podendo apresentar feições sedimentares preservadas (estratificações plano paralelas e cruzadas) e formações ferríferas (BIFs). Na análise do mapa geológico verifica-se a presença de uma falha indiscriminada. Em campo não foi possível

mapear assertivamente a falha verificada no mapa, entretanto a ocorrência da mesma justifica a presença de descontinuidades verticalizadas com espaçamentos variáveis ao longo do talude.

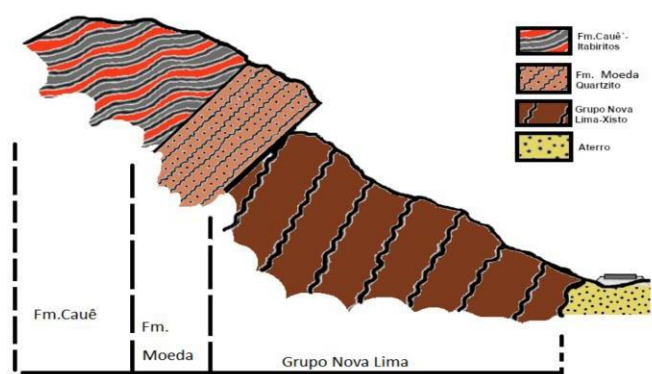


Figura 2-1: Perfil geológico esquemático.

2.2. Inspeção de campo e diagnóstico das instabilidades

O talude em questão pode ser descrito como sendo uma encosta natural, sendo que tem um comprimento total aproximado de 500 metros na região de interesse do estudo, com uma altura total entre 100 no ponto mais baixo até 220 metros na região de maior elevação. Na inspeção de campo realizada no local, foi possível avaliar a totalidade do trecho, e com base no que foi verificado em campo, se observaram trechos com características homogêneas, geometria, materiais ocorrentes, características das rocha. Partindo destas definições, foi possível traçar diferentes mecanismos e comportamentos do talude, que foram agrupados em 5 regiões homogêneas, que são definidas em função da semelhança observada em campo. Abaixo uma figura apreseta a figura com a setorização talude.

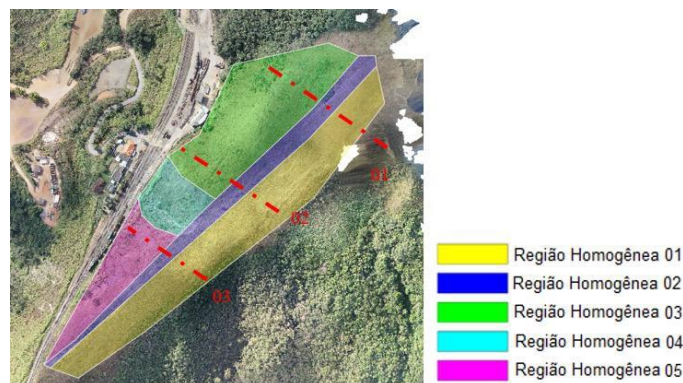


Figura 2-2: Regiões homogêneas e alinhamentos de inspeção

Na região 01 os blocos de rocha contidos nesta região são de pequenas dimensões, massas centimétricas, com volumes inferiores à $0,50 \text{ m}^3$, e estão simplesmente depositados sobre o terreno natural. A região 02 consiste em um afloramento verticalizado de rocha, com mesma condição estrutural ao longo do trecho. A região 03 é trecho revestido em solo, onde se verificam afloramentos isolados e grande quantidade de blocos de rocha depositados sobre a face. Na região 4 se identificou a presença de uma ruptura antiga, com deposição de grande quantidade de blocos. A região 05 é se assemelha à região 03, revestimento em solo sobre a face rochosa.

Com base no que foi observado em campo as principais instabilidades que podem se manifestar no talude são a queda de blocos de rocha, das massas depositadas no trecho de encosta natural, com a ativação em função de processos erosivos de sua base de apoio. Já nas faces rochosas foi identificada a possibilidade de tombamento de blocos com dimensões variadas, a depender da frequência e persistência das fraturas.



Figura 2-3: Condição geral das regiões dos 02, 01 e 04.

3. DIMENSIONAMENTO DA SOLUÇÃO PROJETADA PARA O LOCAL E ESTUDO DE ALTERNATIVAS

A solução implementada no local foi uma barreira dinâmica contra queda de rochas, e para o dimensionamento é necessário definir a energia e altura do impacto contra a estrutura bem como da massa do bloco a ser retido pelo paramento, determinados através da simulação da queda de centenas de blocos ao longo das seções transversais de interesse do projeto. As análises são desenvolvidas com o auxílio de ferramenta computacional, o programa Rockfall Dr. Spang 6.1, que realiza a simulação destes eventos, com as seções de cálculo abaixo indicadas.

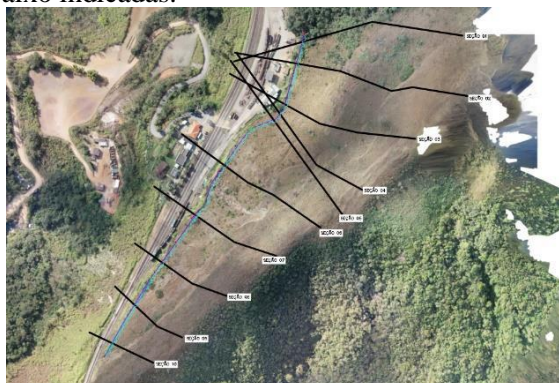


Figura 3-1: Posição das seções de cálculo.

Os parâmetros de superfície do terreno que são considerados pelo modelo de cálculo em questão são denominados como: coeficientes de restituição normal e tangencial, ângulo de atrito (dinâmico e estático) e a rugosidade do terreno que fisicamente representam a interação entre o impacto do bloco de rocha e o terreno. Os blocos foram simulados com volumes entre 0,50m³ e 3,00 m³, com peso específico de 27 kN/m³. No caso do talude do Funil estes parâmetros foram obtidos através de um ajuste de parâmetros bibliográficos a partir da retroanálise dos eventos de queda de blocos que foram registrados no local – impacto do bloco contra o prédio e queda de blocos durante a inspeção, os parâmetros estão sumarizados a seguir.]

Tabela 1: Parâmetros de cálculo considerados

Característica da superfície	Rg	Rh	Dn	Dt	Rw	Oa	Of
RESTO DE ROCHA COM SOLO SEM VEGETAÇÃO	15	35	0.040	0.850	0.150	0.10	1.00
ROCHA LISA COBERTA POR SOLO	15	30	0.040	0.800	0.100	.20	1.00

3.1. Análise dos resultados

Os resultados das seções transversais foram plotados em planta baixa, analisando o máximo alcance dos blocos, energia de impacto bem como a altura, informações que permitiram delinear um mapa de risco da

região quando analisados em conjunto com as características de utilização do terminal pátio funil. Abaixo é indicado o mapa de alcance dos blocos, o mapa de energias

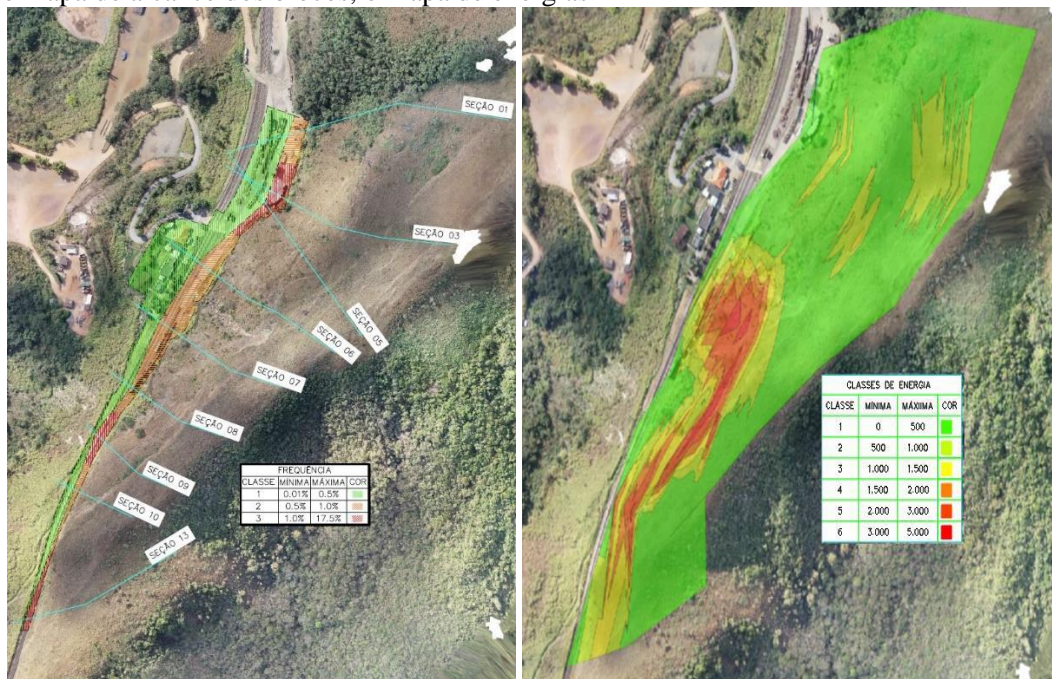


Figura 3-2: Mapa com o alcance dos blocos e mapa de energias de impacto

3.2. Alternativas propostas

Partindo dos mapas elaborados foram definidas possíveis alternativas de solução para o local prevendo intervenções com estruturas de barreiras dinâmicas intervenções com o tratamento dos blocos e ainda alternativas de convivência com a queda dos eventos, prevendo ainda diferentes sistemas para a massa dos blocos.

As barreiras foram definidas com base na energia de impacto, obtida através da simulação de queda de rocha, plotadas no mapa acima ilustrado. A seção típica de uma simulação é indicada abaixo, juntamente com a configuração proposta de solução para o trecho.



Figura 3-3: Configuração da solução proposta com barreiras dinâmicas, e seção de análise

Devido a longa extensão do trecho o tratamento completo da região teria um custo bastante elevado, e foi solicitada a avaliação no trecho da linha férrea sem presença de edificações as consequências do impacto nos vagões do trem. Deste modo foi determinado nas seções as velocidades de impacto, e realizada a

verificação do fator de segurança frente ao tombamento de um vagão carregado e um vagão vazio, através de uma análise simplificada de momentos. Com estas verificações chegou-se a conclusão de que para o vagão carregado, um impacto direto das massas simuladas, o fator de segurança ao tombamento é de 6, já o vagão vazio o FS é levemente superior a unidade, considerando um vagão isolado.

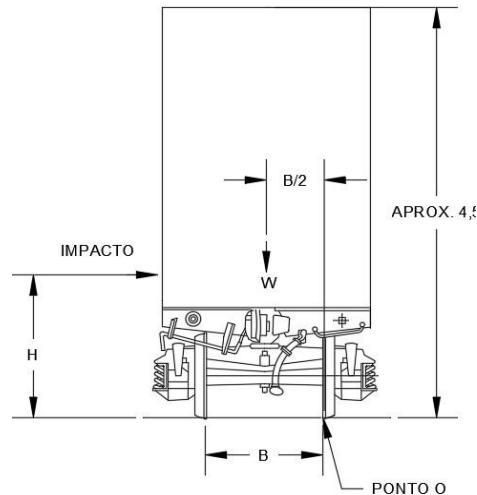


Figura 3-4: Configuração do modelo de cálculo para análise de tombamento

Com base nestes resultados, o risco para a composição ferroviária foi considerado mais baixo e aceitável pelas equipes, cenário que justificou a implantação da solução de barreira no trecho onde estão presentes as edificações, onde o risco é maior, devido a presença constante de equipes de manutenção no local.

4. Solução implementada

Sendo assim, a solução implementada no local foi a de barreiras dinâmicas, após avaliação detalhada do local e determinado o modelo de barreira necessário para contenção dos blocos instáveis as principais etapas de instalação do sistema são:

- Preparação do Local: Como limpeza da área, nivelamento do terreno, remoção de obstáculos e preparação das fundações para as barreiras;
- Instalação das Fundações: As fundações das barreiras dinâmicas são fundamentais para garantir sua estabilidade e eficácia. Dependendo das condições do solo e dos requisitos de carga, as fundações podem ser construídas utilizando diferentes técnicas, como bloco armado, estacas ou ancoragens.
- Montagem das Barreiras: Com as fundações no lugar, as barreiras dinâmicas são montadas de acordo com as especificações do fabricante e o projeto de engenharia. Sendo inicialmente instalados os postes da estrutura que são fixados com cabos de suporte superior, seguido da instalação de cabos de aço, colocação da tela metálica e fixação das manilhas e cliques. É importante observar a importância de ao final da instalação dos cabos de aço seja realizado o torqueamento de todos os cliques de aço com torque indicado pelo fabricante.
- Monitoramento e Manutenção: Uma vez instaladas, as barreiras dinâmicas devem ser monitoradas regularmente para detectar quaisquer sinais de desgaste, danos ou mau funcionamento. Além disso, é importante realizar manutenção preventiva, como inspeções periódicas, limpeza e substituição de componentes conforme necessário.

No local foi instalada uma linha de barreira dinâmica com 210 metros de comprimento, 4 metros de altura e capacidade de retenção de até 1000kJ de energia, na Figura 4-1, está indicada a planta baixa da barreira e na Figura 4-2, imagens da barreira já executada.

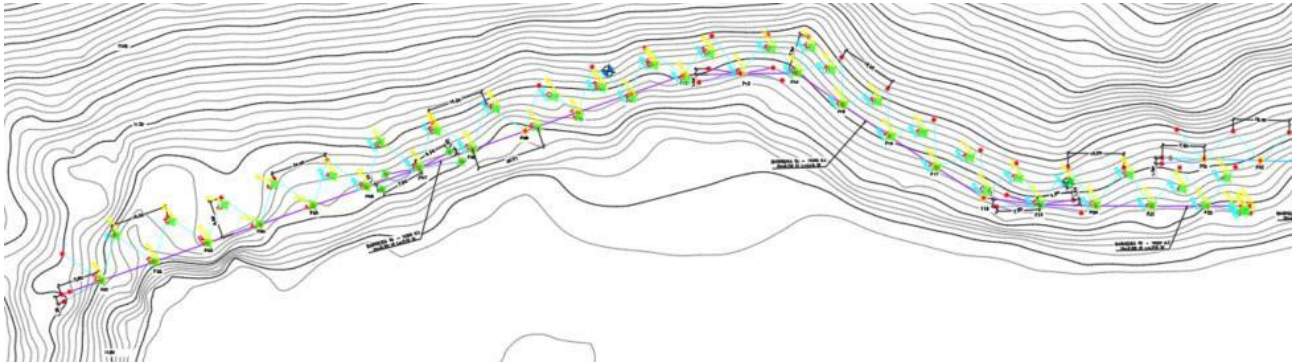


Figura 4-1: Planta Baixa da barreira instalada



Figura 4-2: Barreira instalada

Para barreiras contra queda de blocos, o quantitativo de perfuração por metro linear de barreira, considerando a barreira instalada no projeto que conta com 21 postes (2 grampos de 4 metros por poste) e 41 ancoragens de 6 metros, é de 2 metros/metro linear de barreira.

Durante a instalação da barreira observou-se em alguns pontos cujas irregularidades do terreno formavam um grande espaço aberto entre a parte inferior da barreira e o solo, nesses casos é necessária a instalação de gap fillings, pois estes podem comprometer a eficácia da barreira na proteção contra queda de material. O preenchimento desses vazios é essencial para garantir uma proteção adequada e mitigar os riscos associados a eventos como deslizamentos de terra, deslizamentos de rochas ou quedas de blocos.



Figura 4-3: Gapfillings para fechamento completo da barreira

5. CONCLUSÕES

Com base em um detalhado mapeamento de campo para identificação dos mecanismos de instabilidade e dados de entrada foi possível a realização de um conjunto de simulações para subsidiar uma análise de risco geotécnico para a área. Esta análise culminou em um estudo de alternativas para a garantia de segurança de operação deste terminal ferroviário.

A alternativa escolhida e implantada como projeto de mitigação de risco foi composta fundamentalmente por barreiras dinâmicas de proteção contra queda de rochas.

Após a implantação da solução a operação do terminal foi normalizada e as edificações voltaram a ser utilizadas em função da redução do risco geotécnico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à VALE pela disponibilização dos dados de projeto e implantação para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARNEIRO, M.A. O complexo metamórfico Bonfim setentrional (Quadrilátero Ferrífero), Minas Gerais: litoestratigrafia e evolução geológica de um segmento de crosta continental do Arqueano. 1992. 233 p. Tese. (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1992.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION – Micropile Design and Construction. Publication N° 05-039 IBC, International Building Code. 2006
- NOCE, C.M. Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos da região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. 1995. Tese. (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo/USP, 1995.
- SHINZATO, E., CARVALHO FILHO, A. Pedologia. In: Projeto APA Sul RMBH. Estudos do Meio Físico. Belo Horizonte: CPRM/SEMAD/CEMIG, 2005.v.5.
- Wendeler, C. Debris-Flow Protection Systems for Mountain Torrents. WSL Berichem 2016.