



# DESAFIO DE BARREIRAS

## Maccaferri

Os sistemas de proteção contra quedas de rochas e desastres naturais são essenciais para garantir a segurança de estradas, ferrovias, operações de mineração e demais redes de infraestrutura. Seu principal objetivo, no entanto, é preservar vidas — protegendo transeuntes, usuários e habitantes de áreas suscetíveis a esses eventos.

Mesmo eventos de menor escala, como quedas isoladas de rochas ou fluxos de detritos, podem provocar obstruções significativas e gerar impactos severos. Por isso, esses sistemas também têm aplicação estratégica na proteção de edificações e instalações vulneráveis a danos causados por processos geodinâmicos, como avalanches, deslizamentos ou corridas de massa.

As barreiras contra quedas, em especial, são projetadas para conter e redirecionar os blocos rochosos ou detritos para áreas seguras. O modelo ideal deve equilibrar resistência e leveza, garantindo máxima contenção com o menor peso estrutural possível.

Uma competição técnica universitária tem como objetivo principal **estimular a inovação, aplicar conhecimentos teóricos em situações práticas e desenvolver soluções eficazes para problemas reais da engenharia geotécnica.**

O GEGEO convida todos os estudantes e entusiastas da engenharia geotécnica a participarem do **Desafio de Barreiras**, uma competição técnica que une inovação, conhecimento aplicado e colaboração em equipe.

## Programação

Datas	Atividade
22/10/2025 a 14/11/2025	Inscrição via Formulário online
14/11/2025	Divulgação oficial das equipes através de e-mail ou redes sociais
A definir	Treinamento – Controle de Quedas: Segurança para Encostas Rochosas
14/11/2025	Prazo de entrega dos projetos via e-mail
17/11/2025	Dia de preparação e avaliação presencial da barreira
A definir	Divulgação e resultados da premiação



## Programação do evento no dia 17 de novembro

Duração	Atividade
15 minutos	Introdução: Boas-vindas ao evento e Apresentação da Comissão Organizadora e do Júri.
10 minutos	Lista de presença dos participantes e entrega de material
2 horas	Desenvolvimento de modelo de defesa com base no projeto
15 minutos	Peso das barreiras por equipe
10 minutos (por equipe)	Justificativa da barreira perante o júri com Perguntas e respostas
-	Teste de barreira
30 minutos	Revisão da comissão organizadora das avaliações e júri
15 minutos	Premiação à equipe vencedora e Encerramento

## Participação

Podem participar estudantes que estejam matriculados no curso de Engenharia Civil, Geologia ou Engenharia de Minas, de qualquer instituição de ensino superior, independentemente do período em que se encontrem. Além disso, estudantes de pós-graduação, profissionais e entusiastas nessas áreas também são elegíveis para participar. É proibida a participação de qualquer membro da comissão organizadora e avaliadora do concurso, incluindo integrantes do Grupo de Estudos em Geotecnia da UFPR, professores e demais responsáveis pelo Desafio.

Os competidores devem formar equipes de até 4 membros (opcionalmente é permitida a presença de um orientador que NÃO poderá participar da construção do sistema). A composição das equipes poderá ser modificada até o final do período de inscrições, desde que mantido o número de integrantes. Não serão aceitas alterações na composição das equipes após o encerramento das inscrições, exceto por motivos de saúde (com justificativa).

## Inscrições

As inscrições para a 3º Desafio de Barreiras de Rochas serão realizadas de forma online. As equipes interessadas em participar da competição deverão preencher o formulário disponível em <https://forms.gle/bzeN8gah3zMfGKyX7> durante o período



definido para realizar a inscrição. No ato da inscrição, a equipe deverá ter em posse os dados de todos os membros da equipe (nome completo, celular, CPF, e-mail e foto da equipe).

Serão aceitas até 06 equipes compostas por 4 integrantes e as vagas serão preenchidas por ordem de chegada, uma por universidade. As equipes que se inscreverem receberão um e-mail de confirmação com sua posição na lista de equipes inscritas. As 06 primeiras equipes inscritas terão vaga garantida, as demais ficarão em lista de espera. Caso não complete as vagas, serão permitidas as inscrições da mesma Universidade de acordo com a lista de espera e a ordem de inscrição. A divulgação pública da lista com todas as equipes participantes será feita por e-mail e no Instagram do GEGEO UFPR (@gegeotecnia) no dia 01/09/2025.

## Desqualificação

Todas as equipes que:

- Plagiarem o trabalho teórico;
- Fizerem uso de ferramentas ou instrumentos que não estão listados neste documento ou que não tenham sido aprovados pelo comitê.

Qualquer outro evento que porventura venha interferir no bom andamento do desafio, bem como, decisões que não estão explícitas neste edital, serão votadas pelos membros da equipe organizadora.

## Cerimônia de premiação

O resultado será divulgado no dia do evento com base na decisão emitida pelo júri e comissão organizadora.

A premiação será oferecida pela Maccaferri, patrocinadora do evento, aos 3 primeiros colocados.

## Prêmios

As premiações dos três primeiros colocados serão anunciadas durante o evento e oferecidas pela empresa patrocinadora Maccaferri.

## Desenvolvimento do modelo

As equipes deverão desenvolver presencialmente um modelo de barreira contra quedas de rochas, com tempo de construção do sistema de 2 horas, com os seguintes materiais fornecidos pela comissão organizadora:

- 500 gramas de jornal
- 2 pedaços de cartolina tamanho carta
- 9 palitos de madeira de 30 cm
- 30 fechos de arame (amarelo)
- 1 fita adesiva Durex 12mm x 30m – 3M
- 300 g de arame galvanizado n.º22



## PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS E FÍSICAS DO MODELO EM ESCALA DO SIMULADOR DE TALUDES

As rochas (Pilhas tipo D) se desprenderão do topo do simulador do talude, a uma altura de 1500 mm verticalmente, até a base onde a barreira será colocada. A base é encapada por uma lixa. Modelo em escala do simulador, indicado na Figura 1, demonstra a inclinação; essas dimensões deverão ser analisadas para o projeto do modelo.

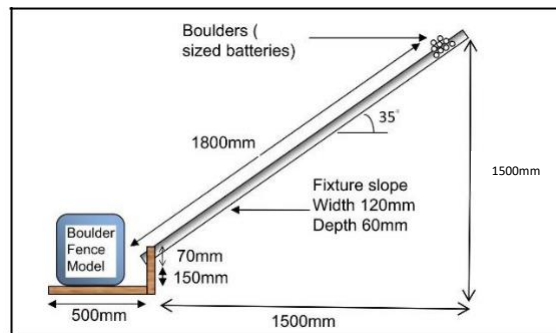
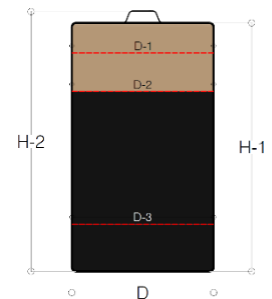


Figura 1 - Dimensões geométricas do modelo em escala do simulador.

## PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS E FÍSICAS DAS QUEDAS

Para a avaliação do sistema, serão simuladas quedas que representarão os impactos das rochas, estas serão representadas por esferas e pilhas alcalinas não recarregáveis tipo D-2. Serão realizadas três liberações, entre pilhas ou esferas. Sendo importante ressaltar que fica a cargo da comissão organizadora os lançamentos.

	BATERIA A 1	BATERIA 2	BATERIA 3	ESFERA 1	ESFERA 2	ESFERA 3	ESFERA 4
DIÂMETRO	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
D-1	33.00	33.04	33.06	33.32	31.76	31.76	31.76
D-2	32.95	33.05	33.00	33.32	31.75	31.75	31.75
D-3	33.03	32.90	33.02	33.32	31.76	31.76	31.76
MÉDIA	32.99	33.00	33.03	33.32	31.76	31.76	31.76
ALTURA	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
H-1	58.07	58.84	57.50	33.32	31.76	31.76	31.76



PESO	g	g	g	g	g	g	g
W-1	135	139	138	152	131	132	131



## Dinâmica do concurso

### FASE I - PROJETO TEÓRICO E GEOMÉTRICO DA BARREIRA

Antes do evento, cada equipe inscrita deve enviar ao comitê organizador seu projeto de defesa contra queda de rochas, em formato PDF para o e-mail [gegeotecnia@ufpr.br](mailto:gegeotecnia@ufpr.br) com cópia para [marketing@maccaferri.com](mailto:marketing@maccaferri.com) até 14 de novembro de 2025 – vide Anexo II.

Para auxiliar na execução do projeto do modelo reduzido da barreira contra queda de rochas, será realizado um treinamento on-line prévio para todos os participantes - SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA QUEDA DE ROCHAS - ministrado pela Maccaferri, em dia a definir.

Para a concepção desta barreira, pode-se ter como referência o Anexo I - Concepção da Barreira (Cálculo) e Anexo II – Sobre a Entrega, que se encontra no presente documento.

### FASE II - CONSTRUÇÃO

Cada equipe deve fabricar a defesa contra quedas com todos os seus elementos previamente calculados em um tempo máximo de 2 horas. A confecção da barreira será composta apenas com os componentes e materiais fornecidos pela comissão organizadora – vide desenvolvimento de modelos.

As ferramentas permitidas e **recomendadas** aos participantes consistirão no seguinte:

- Tesoura e/ou estilete (no caso da segunda opção, cada equipe deverá trazer uma base para corte sob pena de não permissão de uso do estilete)
- Régua, esquadro, escalímetro ou algum elemento similar para obtenção de dimensões
- Material para anotação (papel, lápis e caneta)
- Alicates
- Tesoura
- Canetas marcadoras
- Calculadora

Caso seja necessário adicionar alguma ferramenta extra à lista mencionada, esta deverá ser previamente aprovada pela comissão organizadora.

A elaboração da barreira contra quedas deverá ser realizada no tempo estipulado, podendo variar devido às condições adversas no evento. As equipes receberão o material no local e poderão montar sua barreira em uma mesa de apoio, com supervisão da comissão organizadora. Após o término do tempo as equipes devem apresentar o modelo nas condições que forem encontradas, não sendo permitida qualquer alteração.

Uma vez que todos os elementos forem montados, a massa da barreira contra quedas será determinada em balança na presença da equipe e comitê organizador.



### FASE III - AVALIAÇÃO PRESENCIAL DO DESENHO DA BARREIRA

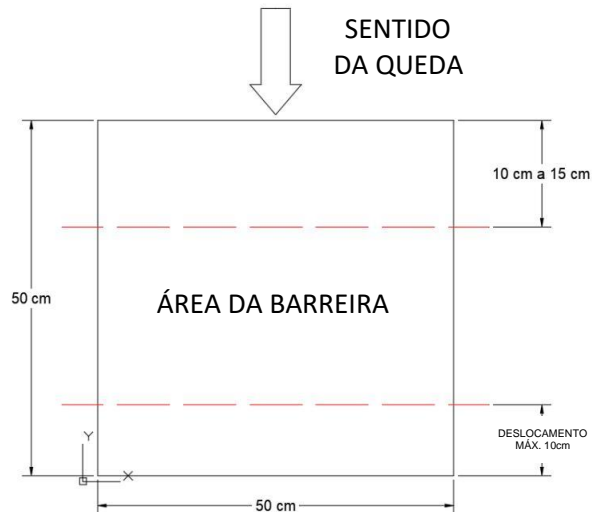
Um membro de cada equipe deverá justificar o projeto do seu modelo de barreira contra queda de rochas, abordando a análise teórica + dimensionamento geométrico. Essa justificativa será expressa verbalmente para os jurados da competição que a tomarão como critério de avaliação. A justificativa deve ter duração máxima de 5 minutos para cada equipe + 5 minutos para perguntas e respostas do júri. Essa avaliação será realizada apenas com a presença do júri, da comissão organizadora e membros da equipe atual, não será permitida a presença de membros de outras equipes.

### FASE IV - ENSAIO DE BARREIRA

Um membro da equipe fará o posicionamento do modelo construído na base, na posição optada em projeto. O modelo deve estar localizado entre 10 a 15 cm do início da base.

O **deslocamento máximo permitido** da barreira contra quedas após o impacto das baterias e/ou esferas é de **10 centímetros**, e esse valor será um critério de avaliação.

Abaixo, na Figura 2, uma vista de cima da área que a barreira será testada.



O modelo deve ter uma dimensão máxima de 30 centímetros, contudo, essa dimensão máxima dependerá da posição inicial, ou seja, a barreira projetada deve caber na base teste, alguns exemplos de dimensões são indicados na Figura 3.

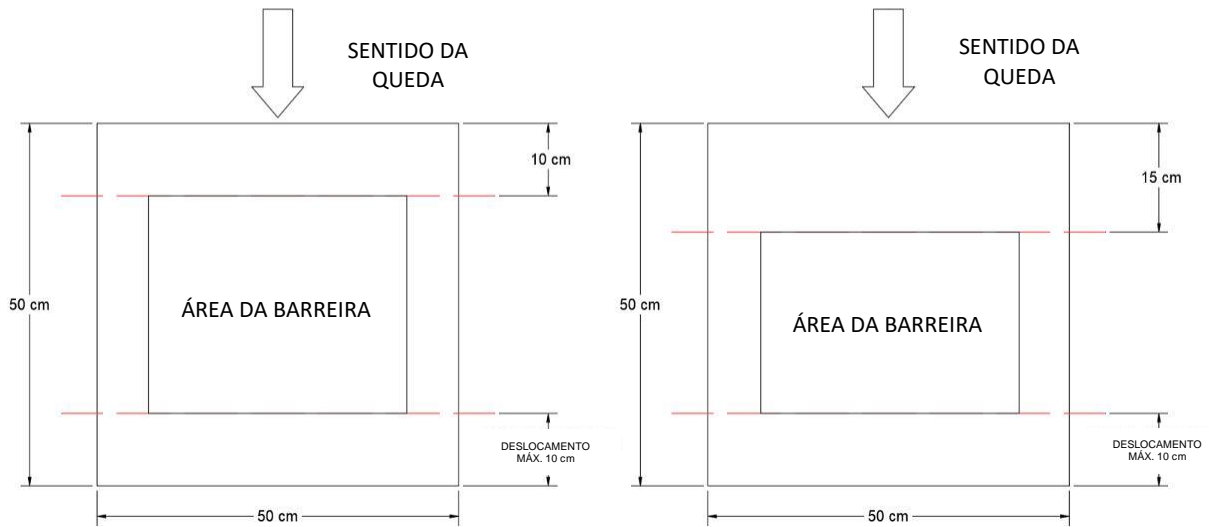
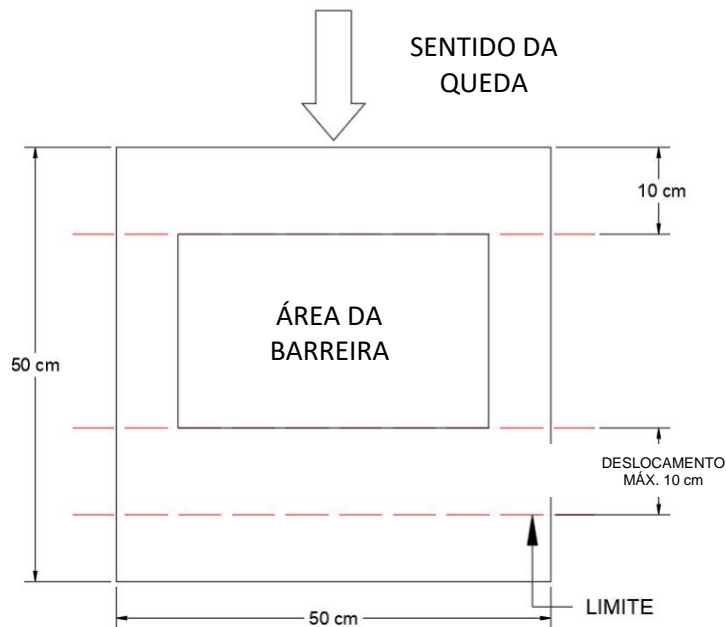
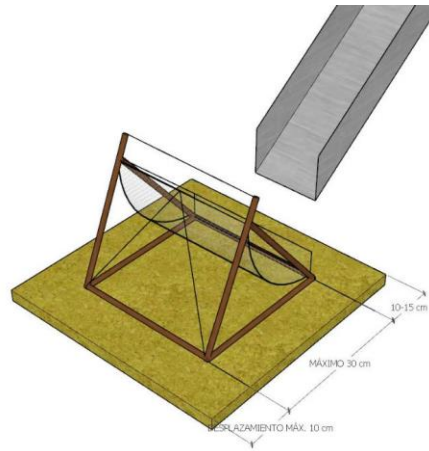


Figura 3 - Exemplos de posicionamento e dimensões de modelos na base de teste.

Para medir o deslocamento da barreira contra quedas, será considerado o final da barreira, sem a necessidade de atingir o limite, exemplo: a posição inicial de nossa barreira contra quedas de rochas está em 10 cm, e essa barreira mede 20 cm, então o limite de deslocamento será a 30 cm da posição inicial da defesa (Figura 4).





*Figura 4 - Exemplos de posicionamento e dimensão de barreira.*

O deslocamento deve ser medido após cada ensaio. Se a estrutura contra quedas exceder o deslocamento máximo em mais de  $1/3$  do comprimento da barreira ou não conter as pilhas e/ou esferas na área segura, esse ensaio deve ser invalidado. A área segura é considerada a área à frente da barreira.

Por fim, é importante ressaltar que a equipe poderá posicionar a barreira apenas antes dos lançamentos iniciarem, não sendo possível uma reposição após qualquer queda.





## Avaliação e classificação

A pontuação final será dada pela soma das pontuações parciais, avaliadas pelo júri. A equipe com mais pontos será a vencedora.

A avaliação será composta pelos seguintes critérios:

<b>Critérios</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Quantidade/medida</b>
<b>Desenho teórico</b> da barreira contra quedas <ul style="list-style-type: none"><li>Cumpriu e prosseguiu com os parâmetros estabelecidos no Anexo I.</li><li>Representa a energia da barreira após impacto, descolamento e peso da defesa.</li></ul>	15%	0% - 15%
<b>Projeto geométrico</b> da barreira <ul style="list-style-type: none"><li>O desenho geométrico da barreira (corresponde ao projeto previamente enviado pela equipe).</li><li>A justificativa escrita (relação de uma barreira real com a barreira proposta no desafio).</li><li>A defesa realizada pela equipe.</li></ul>	15%	0% - 15%
<b>Peso da barreira</b> <ul style="list-style-type: none"><li>O menor peso receberá a maior pontuação nesse critério, a qual será reduzida gradativamente em 5% para cada equipe.</li></ul>	30%	Peso menor – 30% (cada equipe -5% progressivamente)
<b>Deslocamento da barreira*</b> <ul style="list-style-type: none"><li>O menor deslizamento da barreira em centímetros receberá a maior pontuação nesse critério, a qual será reduzida gradativamente em 5% para cada equipe.</li><li>A pontuação será aferida a cada rodada de lançamento.</li></ul>	40%	Menor derrapagem – 40% (cada equipe – 5% progressivamente)

\*Todas as barreiras cujo deslizamento for superior a 10 centímetros serão classificadas com 0%.

\*Todas as barreiras que não contiverem as esferas ou pilhas na área segura serão classificadas com 0% no quesito deslocamento da barreira.



## Anexo I- Cálculo

Este anexo é uma referência que pode ser utilizada para a concepção da barreira contra queda de rochas. É importante notar que a **principal análise** em projetos de barreira de queda de rochas envolve principalmente o **estudo da trajetória** e **quantidade de energia de impacto** do impacto em questão.

### COMPARAÇÃO ENTRE AS FORÇAS ATUANTE NAS BARREIRAS DINÂMICAS E NO TERRENO

A Tabela 1 indica quais forças atuam em uma barreira dinâmica e no terreno em que esta está instalada e quais as forças que devem ser consideradas no projeto do modelo.

*Tabela 1 - Forças atuantes na barreira dinâmica.*

Recurso de revisão	Barreira Dinâmica	Terreno	Modelo
<b>REVISÕES MECÂNICAS</b>			
Deformação após impacto	SIM	NÃO	NÃO
Deslocamento "local" da estrutura	SIM	NÃO	NÃO
Propensão a deslizamento geral ao apresentar um impacto (movimento translacional)	NÃO	SIM	SIM
Propensão a virar com o impacto (movimento rotacional)	NÃO	SIM	SIM
Resistência ao impacto múltiplo	CAPACIDADE REDUZIDA	SIM	SIM
Altura Residual do impacto	SIM	PROJETÁVEL	NÃO
Análise de fixação dos postes e ancoras do terreno natural	SIM	SEM POSTES	SEM POSTES
<b>REVISÕES ESTRUTURAIS</b>			
Estabilidade interna	SIM	SIM	SIM
<b>REVISÕES DA ABORDAGEM GEOMÉTRICA</b>			
Dimensionamento de altura, inclinação e posição da barreira	SIM	SIM	SIM

Como pode ser observado na tabela anterior, o modelo de "defesa contra queda de rochas" pode falhar em quesitos mecânicos, como deslizamento e tombamento. Neste



caso específico, tais movimentos – tanto de translação quanto de rotação – podem fazer com que a barreira e os pilares saiam de uma área estabelecida como estável.

Do ponto de vista geométrico, é necessário estudar a trajetória da rocha e, com base nisso, definir a altura e o posicionamento da barreira, garantindo que ela consiga conter o bloco e seja verdadeiramente funcional. Se a rocha não impactar a defesa, isso pode ser considerado uma grave falha de projeto. Por fim, é crucial assegurar uma estruturação interna adequada dos materiais que compõem a barreira, de modo que ela resista mecanicamente e não sofra falhas internas.

A Tabela 2 apresenta os mecanismos responsáveis por absorver e dissipar a energia de impacto da "rocha" e que devemos levar em conta para o projeto.

*Tabela 2 - Mecanismos responsáveis por "absorver" energia.*

Dissipação de energia de impacto de rocha		
Barreira dinâmica	Terreno	Modelo
Energia dissipada por deformação plástica;	Energia dissipada por deformação plástica;	Peso próprio da Defesa (Impacto Semi Elastico)
Energia dissipada por deslocamento elástico;	Energia dissipada por deslocamento elástica;	
	Energia dissipada por atrito;	

## DIMENSIONAMENTO MECÂNICO (DINÂMICO) DO MODELO "DEFESA CONTRA QUEDAS DE ROCHAS"

### ETAPA 1: CÁLCULO DE VELOCIDADE DE IMPACTO E ENERGIA

Uma das coisas mais relevantes e a primeira que tem de ser determinada é a **energia de impacto** da bateria com o modelo de "barreira de quedas". A dedução desta energia será feita a seguir. Para isso, iniciamos com o cálculo da **velocidade final** aproximada da pilha ao impactar a barreira, por meio da **lei de conservação de energia**, e assumindo que se trata de um cilindro sólido que rola sem escorregar (somente o coeficiente de atrito estático será necessário para iniciar o movimento):

Expressão da **conservação de energia**, abaixo, considera a energia potencial e a energia cinética no início do movimento (no alto da rampa) e no final (quando a bateria atinge a barreira):

$$E_{P1} + E_{C1} = E_{P2} + E_{C2}$$

Desenvolvendo a expressão anterior, obtemos,

$$mgh + 0 = 0 + \left(\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I_o\omega^2\right)$$



Onde:

$m$  = Massa da(s) pilha(s) expressa em kg

$g$  = Aceleração da gravidade, considerada como  $9,81 \frac{m}{s^2}$

$v$  = Velocidade final, expressada em m/s

$I_o$  = Momento de inercia de um cilindro  $= \frac{1}{2}mr^2$

$r$  = Raio do cilindro (pilha)

$\omega$  = Velocidade angular  $= \frac{v}{r}$

A expressão considera que no início do movimento analisado a bateria está parada, com velocidade zero, e no final ela está na altura de referência,  $h = 0$  m.

É relevante destacar que, ao realizar cálculos para projetos de barreiras dinâmicas, o nível de energia da barreira é determinado sem levar em consideração a velocidade de rotação da queda. Isso se deve ao fato de que uma rocha real não segue um comportamento ideal; além da possibilidade de rotação, ela pode apresentar deslizamento no solo e impulsos de restituição, conforme definido na expressão descrita na norma UNI 11211, na Figura I.1.

A **energia de projeto** ( $E_{sd}$ ) é definida com a equação clássica da energia cinética, multiplicada por um coeficiente de segurança ( $\gamma_R$ )

$$E_{sd} \geq \left( \frac{1}{2} m_d v_d^2 + \frac{1}{2} I_d \omega_d^2 \right) \gamma_R$$

$\gamma_R$  : Fator de segurança relacionado ao risco para as pessoas

1,00 – Consequências econômicas moderadas e danos fáceis de reparar

1,05 – Consequências econômicas relevantes, mas danos fáceis de reparar

1,10 – Consequências econômicas relevantes e danos difíceis de reparar

1,20 – Consequências econômicas relevantes e danos impossíveis de reparar

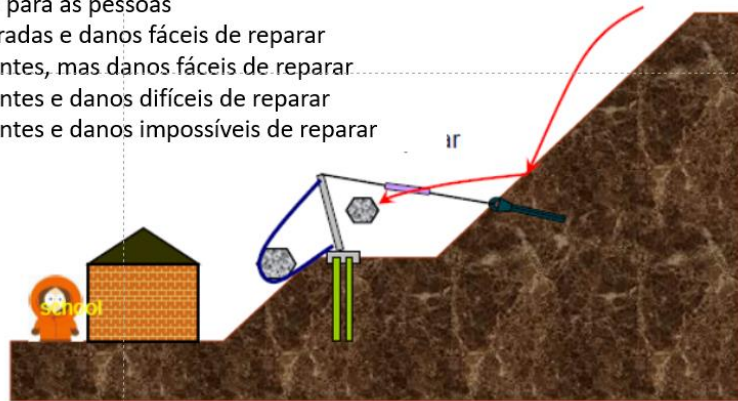


Figura I.1 - Equação de energia de projeto e fatores de segurança.

Continuando com os cálculos relativos velocidade alcançada pela bateria, é possível simplificar e desenvolver a expressão de conservação de energia:



$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}mr^2\right)\frac{v^2}{r^2}$$

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{4}mv^2$$

$$mgh = \frac{3}{4}mv^2$$

$$v^2 = \frac{4}{3}gh$$

$$v = \sqrt{\frac{4}{3}gh}$$

Agora, considerando que a altura do modelo em escala é de 1,1 m temos que a velocidade aproximada que a bateria sai da rampa e se aproxima do impacto com a barreira é:

$$v = \sqrt{\frac{4}{3}(9,81) \cdot 1,1}$$

$$v = 3,8 \text{ m/s}$$

Com esse resultado aplicado na equação de energia de projeto, é possível saber as diferentes energias de impacto, possíveis para o modelo de barreira, variando a massa das rochas (número de baterias), resultado nos valores a seguir:

*Tabela 3 - Relação entre baterias, massa e energia de impacto.*

# de Pilhas	Massa (kg)	Energia de impacto (J)
1	0.135	1.457
2	0.274	2.957
3	0.412	4.446
4	0.564	6.086
5	0.695	7.500
6	0.826	8.913

É por meio da energia de impacto que pode se estimar o peso necessário para a barreira conter as massas no impacto.



## ETAPA 2: ESCOLHA DO TIPO DE IMPACTO.

Existem geralmente 2 tipos de impacto, o chamado *impacto central* que ocorre quando a direção de movimento dos centros de massa das duas "partículas" (considerando totalmente uma análise da mecânica do corpo rígido e simplificando a barreira como partícula) vai ao longo de uma linha que passa pelos centros de massa das partículas. Essa linha é chamada de *linha de impacto*, que é perpendicular ao plano de contato. Quando o movimento de uma ou ambas as partículas formam um ângulo em relação à linha de impacto, o impacto é dito oblíquo. Para determinar o tipo de impacto a que nos referimos, temos a Figura 1.2 como exemplificação.

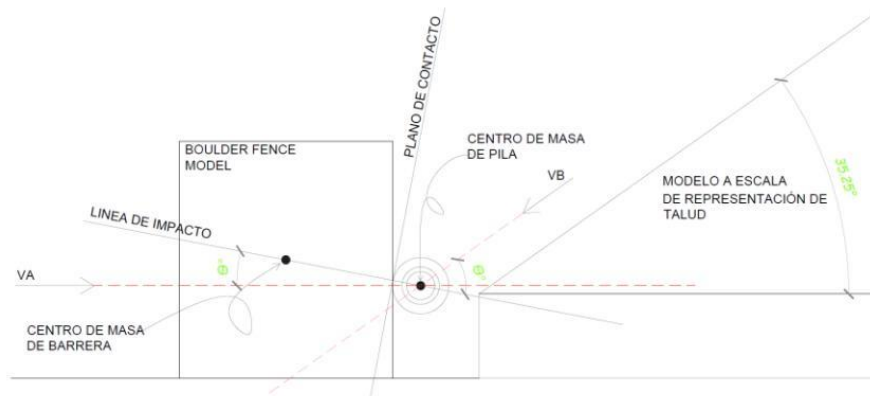


Figura 1.2 - Representação do impacto oblíquo.

Pode-se deduzir com a imagem anterior que sempre (para este modelo de teste) apresentaremos um impacto do **tipo oblíquo**, independente da altura da barreira escolhida, as linhas de movimento ( $V_a$  e  $V_b$ ) nunca coincidirão com a linha de impacto.

## ETAPA 3: DECOMPOSIÇÃO DA VELOCIDADE.

Para o bom dimensionamento da barreira é necessário obter sua velocidade final, com o objetivo de calcular seu deslocamento final.

Para isso, primeiramente, decompõem-se cada uma das velocidades iniciais, instantes antes de ser atingida pela "rocha", em componentes x e y, considerando que o centro de massa da barreira está acima do centro de massa da bateria no início do movimento:

$$(V_{Ax})_1 = 0$$

$$(V_{Bx})_1 = -V_{B1} \cdot \cos(\theta + 35,25^\circ)$$

$$(V_{Ay})_1 = 0$$

$$(V_{By})_1 = -V_{B1} \cdot \sin(\theta + 35,25^\circ)$$

A partícula identificada com a letra "A" corresponde à barreira e a identificada com a letra "B" é a que corresponde à rocha (baterias).



Agora fazemos uso da expressão de **conservação da quantidade de movimento** na direção "x":

$$m_a(V_{Ax})_1 + m_B(V_{Bx})_1 = m_a(V_{Ax})_2 + m_B(V_{Bx})_2$$
$$0 + m_B(-V_{B1} \cdot \cos(\theta + 35,25^\circ)) = m_a(V_{Ax})_2 + m_B(V_{Bx})_2$$

Com as equações, tem-se as variáveis das 2 velocidades finais após o impacto. Quanto à **massa da partícula B**, esta corresponde à rocha sendo conhecida uma vez que é a que irá variar em termos do número de **baterias**. A **massa da partícula "A"**, que também é variável, trata-se da massa decidida pela equipe, por meio de estimativas justificadas, tendo como limite o peso máximo do material disponível para a criação da **barreira**.

Cabe a equipe também decidir e justificar o ângulo em que a bateria atingirá a barreira, o **ângulo  $\theta$** .

#### ETAPA 4: ESCOLHA DO COEFICIENTE DE RESTITUIÇÃO E COEFICIENTE DE ATRITO.

Neste ponto do processo de cálculo entra uma relação muito importante tanto no projeto de um projeto real de barreira contra queda de rocha como também para este modelo em escala, que é o coeficiente de restituição. Este valor refere-se à relação da velocidade relativa da separação das partículas logo após o impacto, com as velocidades de aproximação das partículas pouco antes do impacto. De acordo com a abordagem de projeto, em projetos reais de engenharia de queda de rochas existem 2 métodos para determinar este coeficiente, o primeiro através de uma retroanálise e o segundo e mais utilizado é definido através de dados da literatura.

Tabela 4 refere-se aos valores dos coeficientes de restituição encontrados na literatura.

*Tabela 4 - Relação entre os coeficientes de restituição e os tipos de terreno*

Tipo de terreno	Coeficiente de restituição	
Nome	Rn	Rt
Rocha	0,4	0,8
Solo	0,2	0,45
Madeira	0,31	0,60
Via Férrea	0,20	0,20

A Figura 3.I indica um diagrama com o passo a passo para o dimensionamento de barreira.

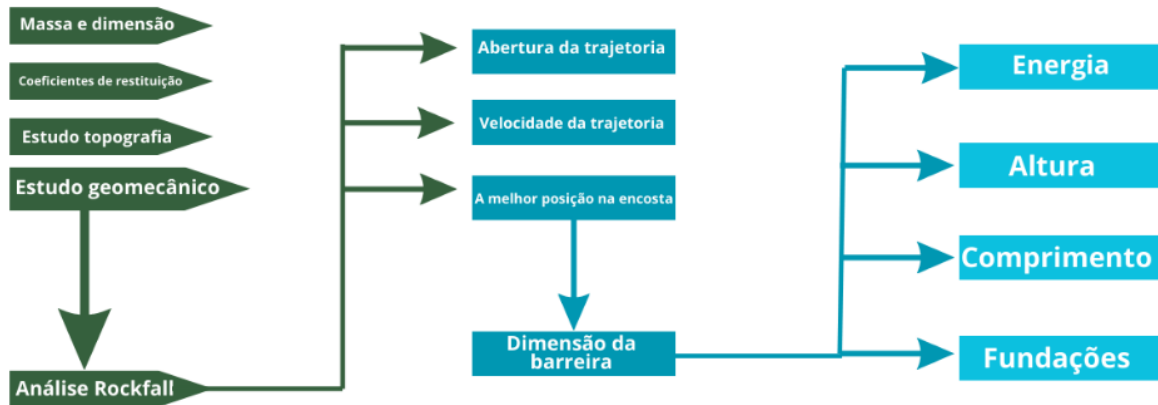


Figura 3.1 - Diagrama com o procedimento de dimensionamento de barreira.

Para o modelo "Barreiras de quedas" podemos utilizar um valor de coeficiente de restituição teórico obtido do livro "Engenharia Mecânica Dinâmica" 12ª edição do R.C. Hibbeler:

$$e = \frac{(V_{Bx2}) - (V_{Ax2})}{(V_{Ax1}) - (V_{Bx1})} = 0,2$$

Onde:

$e$  = coeficiente de restituição.

É importante comentar que esse valor pode ser ajustado empiricamente por meio de testes práticos, mas para iniciar a análise, o valor obtido na literatura é um bom ponto de partida.

É necessário também determinar um coeficiente de atrito entre a barreira e sua superfície de contato. Da mesma forma que o coeficiente de restituição, existem alguns valores teóricos que podem ser adotados. Este valor, também, pode ser ajustado com testes práticos, a decisão e justificativa cabem aos projetistas.

Tabela 4 - Relação entre os coeficientes de atrito e os materiais.

Materiais	Coeficiente de atrito estático	Coeficiente de atrito dinâmico
Aço - Aço	0,74	0,57
Alumínio - Aço	0,61	0,47
Cobre - Aço	0,53	0,36
Latão - Aço	0,51	0,44
Borracha - Concreto	1	0,8
Madeira - Madeira	0,3	0,2

Fonte: Serway. Física para Cientistas e Engenheiros Sears, Z & Y. Física Universitaria.





## ETAPA 5: CÁLCULO DAS VELOCIDADES FINAIS APÓS O IMPACTO; PERDA DE ENERGIA DA BARREIRA APÓS O IMPACTO E O DESLOCAMENTO

Obtém-se as **velocidades finais** em "x" de ambas as partículas após o impacto, resolvendo o sistema de equações de duas expressões e duas incógnitas, formado pela equação da **conservação da quantidade de movimento (a)** e do **coeficiente de restituição (b)**:

a) Conservação da quantidade de movimento:

$$m_a(V_{Ax})_1 + m_B(V_{Bx})_1 = m_a(V_{Ax})_2 + m_B(V_{Bx})_2$$

$$m_a(0) + m_B(V_{Bx})_1 = m_a(V_{Ax})_2 + m_B(V_{Bx})_2$$

$$m_B(-V_{B1} \cdot \cos(\theta + 35,25^\circ)) = m_a(V_{Ax})_2 + m_B(V_{Bx})_2$$

b) Coeficiente de restituição

$$e = \frac{(V_{Bx2}) - (V_{Ax2})}{(V_{Ax1}) - (V_{Bx1})} = 0,2$$

$$e = \frac{(V_{Bx2}) - (V_{Ax2})}{(0) - (V_{Bx1})} = 0,2$$

$$\frac{(V_{Bx2}) - (V_{Ax2})}{-(V_{Bx1})} = 0,2$$

Assim, com as equações se resolve um sistema de dois por dois, encontrando as velocidades finais.

Para os cálculos da energia dissipada, na forma de atrito, recomenda-se a utilização de um valor de coeficiente cinético de atrito ( $\mu$ ) conservador. A força de atrito ( $U$ ) a ser apresentada é expressa abaixo.

$$U = \mu \cdot N$$

$N$  = é a magnitude da força normal em quilogramas.

$\mu$  = coeficiente cinético de atrito;

Assim, para determinar o deslocamento da barreira que ocorrerá após o impacto entre A e B, temos a seguinte equação, baseada em conservação de energia entre o instante antes do impacto e o final do deslocamento da barreira, considerando as perdas por atrito:

$$T_1 + \sum U_{1-2} = T_2$$

Onde:

$T_1$  = Energia cinética inicial da bateria

$\sum U_{1-2}$  = somatório da energia perdidas no início e no fim do movimento



$T_2 = \text{Energia cinética final (quando o movimento cessa)}$

Com isso, desenvolvendo a igualdade, tem-se:

$$\frac{1}{2} m_B \cdot (V_{Bx2})^2 + (-U \cdot d) = \frac{1}{2} m_B \cdot (V_{Bx3})^2$$

Onde:

$V_{Bx3} = 0$ , pois é o fim do movimento

Continuando:

$$\frac{1}{2} m_B \cdot (V_{Bx2})^2 = U \cdot d$$
$$d = \frac{(V_{Bx2})^2}{2g}$$

Cabe aos projetistas perceber se o deslocamento é aceitável dentro da pontuação posposta a competição, indicando qual o resultado esperado no dimensionamento.

## PROJETO FÍSICO E GEOMÉTRICO DA BARREIRA BASEADO EM ANÁLISE TEÓRICA

Com base em todos os resultados obtidos, é importante fazer uma avaliação, para determinar a coerência dos seguintes dados: o peso da barreira; posicionamento no pé da rampa teste e se segue a forma ideais do modelo de "barreira de quedas.

Os pontos importantes que merecem destaque no procedimento de dimensionamento, citado acima, são:

### PONTO 1: CAMINHO DA BATERIA

Para traçar a trajetória dos blocos caídos no nosso modelo em escala, é possível utilizar um modelo simples de CAD. Com isso, determinar a zona de impacto.

### PONTO 2: PESO DA BARREIRA E CENTRO DE GRAVIDADE

Para o resultado do peso e do centro de gravidade da barreira, buscamos um equilíbrio, com o objetivo de utilizar a menor quantidade de material possível, garantindo um deslocamento aceitável. Isso assegura que nosso modelo de "defesa contra blocos caídos" permaneça no lugar e que as pilhas impactem dentro da zona indicada.

### PONTO 3: PROJETO GEOMÉTRICO DO MODELO DE BARREIRA DE QUEDAS E POSICIONAMENTO

A barreira deverá ter um projeto que atenda ao peso e ao deslocamento permitido para não ser desclassificada, considerando as incertezas de projeto e os fatores de segurança no dimensionamento.



## Anexo II - Sobre a Entrega

Este anexo apresenta as informações esperadas no projeto de defesa contra quedas, o qual deverá ser enviado previamente à data do evento. O material pode ser elaborado no formato que o grupo julgar mais adequado, porém deve ser enviado em formato PDF, contendo os seguintes itens (sem se limitar a eles):

- Memória de cálculo, descrevendo o dimensionamento realizado pela equipe, com os resultados encontrados ou arbitrados em destaque, para melhor compreensão;
- Desenho esquemático do projeto a ser construído no dia do evento;
- Comparação do modelo com uma estrutura real, inspirações e adaptações propostas pela equipe no projeto.