

Análise de Estabilidade do Muro de Arrimo que Entrou em Colapso no Bairro Mangabeiras - BH

Luana Aparecida Silva

Estudante de Engenharia Civil, CEFET-MG, Curvelo, Brasil, luanasil412@gmail.com

Lucas de Freitas Souza

Estudante de Engenharia Civil, CEFET-MG, Varginha, Brasil, lucas.f.souza@hotmail.com

Marcos Tulio Fernandes

Professor, Engenharia Civil, CEFET-MG, Curvelo, Brasil, marcostfer@cefetmg.br

Murilo Henrique Ferreira

Professor, Engenharia Civil, CEFET-MG, Curvelo, Brasil, murillo@cefetmg.br

Thiago Bomjardim Porto

Professor, Engenharia Civil, CEFET-MG, Curvelo, Curvelo, Brasil, Thiago.porto@cefetmg.br

RESUMO: Este artigo apresenta uma análise estrutural de um muro de contenção que entrou em colapso no bairro Mangabeiras, região centro-sul de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. O muro foi construído com o objetivo de conter os esforços provenientes do talude situado entre a Rua João Camilo Torres e a Rua Engenho Bady Salum. A estrutura possui uma extensão de aproximadamente 53,00 metros, altura na ordem de 2,00 metros e contrafortes espaçados a cada 2 metros. Constatou-se que cerca de aproximadamente 7,00 metros da estrutura colapsaram no início de 2019. Esse colapso está associado ao movimento de massa de solo, ruptura do talude a montante do muro, que foi agravado pelo aumento do índice pluviométrico no período de ocorrência, além de possíveis erros de dimensionamento do muro. No dimensionamento desse tipo de estrutura, é fundamental a consideração dos esforços gerados pela massa de solo contida. Neste trabalho, analisou-se a estabilidade por meio da verificação do atendimento ao fator de segurança mínimo nas análises de tombamento, deslizamento e verificação das tensões transmitidas ao solo, avaliando-se estas permanecem abaixo da tensão admissível. Constatou-se que algumas dessas verificações não atingiram o fator de segurança mínimo normativo de 1,5. Além da verificação da estabilidade, foi proposto um novo dimensionamento compatível com as solicitações às quais a estrutura será submetida, visando garantir seu desempenho estrutural.

PALAVRAS-CHAVE: Ruptura de talude, análise de estabilidade, estrutura de contenção.

ABSTRACT: This article presents a structural analysis of a retaining wall that collapsed in the Mangabeiras neighborhood, located in the south-central region of Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil. The wall was built with the purpose of retaining the forces generated by the slope situated between João Camilo Torres Street and Engenho Bady Salum Street. The structure has an approximate length of 53.00 meters, a height of around 2.00 meters, and buttresses spaced every 2 meters. It was found that approximately 7.00 meters of the structure collapsed in early 2019. This collapse is associated with a mass movement of soil, due to slope failure upstream of the wall, which was worsened by an increase in rainfall during the period, in addition to possible design errors in the wall. In the design of this type of structure, it is essential to consider the forces generated by the retained soil mass. In this study, stability was analyzed by verifying compliance with the minimum safety factor in overturning, sliding, and bearing pressure analyses, ensuring that the transmitted stresses remain below the allowable soil bearing capacity. It was found that some of these checks did not meet the normative minimum safety factor of 1.5. In addition to the stability verification, a new structural design was proposed, compatible with the loads to which the structure will be subjected, aiming to ensure its structural performance.

KEYWORDS: Slope failure, stability analysis, retaining structure.

1 INTRODUÇÃO

Muros de arrimo são estruturas que exigem amplo conhecimento no que diz respeito às forças laterais, provocadas pela pressão exercida pela massa de solo contida (Das, 2011). As estruturas de contenção são dimensionadas com o objetivo de contrapor o empuxo horizontal ou as tensões exercidas pela massa de solo, de modo a promover a condição de equilíbrio, a qual pode ser perturbada por atividades de escavação, aterro ou deslizamentos de massa.

O dimensionamento estrutural de um muro de arrimo está intrinsecamente associado às propriedades da massa de solo contida, o que influencia diretamente o desempenho da estrutura. Para garantir seu desempenho e durabilidade, devem ser estabelecidos critérios mínimos de segurança, principalmente considerando a variabilidade dos parâmetros do solo. Para isso, emprega-se a utilização de valores médios desses parâmetros e a majoração dos coeficientes de segurança (Machado et al., 2006).

Segundo Nunes (1975), os colapsos de estruturas de arrimo estão relacionados a deslocamentos excessivos, aumento de sobrecarga no terreno e, conseqüentemente, na estrutura de contenção, além de uma visão otimista das condições de resistência das encostas, frequentemente considerada na elaboração de projetos de contenção. Outros fatores que contribuem para o colapso dessas estruturas estão associados à ocupação inadequada do solo, causada pelo crescimento acelerado e desordenado das áreas urbanas, bem como pela ocupação de terrenos íngremes, mais suscetíveis a deslizamentos (Parizzi, 2011).

O dimensionamento de um muro de arrimo exige, assim como as demais estruturas de contenção, a verificação quanto as condições de estabilidade ao tombamento, deslizamento da base, a capacidade de carga da fundação e ruptura global (Gerscovich, 2010). Para garantir a estabilidade da estrutura, são realizadas verificações baseadas nas condições de equilíbrio estático e elástico. Dessa forma, assegura-se tanto a estabilidade global do conjunto, quanto a estabilidade local nas seções intermediárias ao longo do muro e da fundação (Moliterno, 1994).

Para avaliar as condições geotécnicas relacionadas ao colapso da estrutura de contenção localizada no bairro Mangabeiras, em Belo Horizonte, foram consideradas as condições de estabilidade e a ruptura do talude a montante da estrutura. O incidente demonstrado pela Figura 1, no qual foi caracterizado como uma ruptura de grande magnitude, com aproximadamente 7,0 metros de colapso da contenção, movimentação da massa de solo proveniente do talude, e conseqüentemente comprometimento de parte da Rua João Camilo de Oliveiras Torres.

Este artigo apresenta uma análise da ruptura da estrutura de contenção em concreto armado, considerando a movimentação do solo no talude e sua influência no dimensionamento do muro e no atendimento aos requisitos mínimos de segurança exigidos pela NBR 8681 (ABNT, 2004) e pelas diretrizes da NBR 6118 (ABNT, 2023). Ademais, é proposta uma nova seção estrutural dimensionada de acordo com as normas acima mencionadas, visando assegurar o desempenho e a segurança da estrutura.



(a) Vista sentida Praça do Papa .



(b) Vista sentida Mirante Mangabeiras.

Figura 1. Estrutura de arrimo que entrou em colapso no bairro Mangabeiras-BH.

2 ESTUDO DE CASO

2.1 Descrição da Estrutura de Contenção

O talude considerado nas análises está localizado entre a Rua João Camilo Torres, onde ocorreu a ruptura da estrutura de contenção, e a Rua Engenho Bady Salum, no bairro Mangabeiras, região Centro-Sul de Belo Horizonte (Figura 2). A estrutura possui aproximadamente 53,0 metros de extensão, com contrafortes espaçados a cada 2,00 metros. Cerca de 7,00 metros da contenção sofreram colapso no início de 2019, sendo que moradores da região já haviam observado sinais de instabilidade antes do ocorrido. Ressalta-se ainda que, no período em que se registrou o colapso, a cidade enfrentava um aumento no índice pluviométrico. Tal aspecto não será aprofundado neste trabalho, mas foi considerado na determinação dos parâmetros de resistência do solo.



Figura 2. Mapa de localização do muro de arrimo que entrou em colapso.

Fonte: Earth, 2025.

2.2 Levantamento de dados

Para o reconhecimento da área de estudo, foi realizado um aerolevantamento topográfico por meio de VANT (drone). O equipamento sobrevoou a área de interesse seguindo uma rota previamente planejada, capturando centenas de imagens sobrepostas do terreno, o que permitiu a obtenção da ortofoto e a caracterização detalhada da superfície topográfica. Essa metodologia mostrou-se adequada para o mapeamento da área de risco com segurança e precisão, considerando os desníveis, as irregularidades do terreno e o risco de instabilidade.

A partir do levantamento, foi elaborada uma planta topográfica detalhada da região afetada, utilizada para a definição do perfil longitudinal da área de colapso. A Figura 3 apresenta a ortofoto obtida no levantamento realizado em setembro de 2024, bem como as curvas de nível do terreno, que possibilitaram a elaboração do perfil do talude na condição atual, mostrado na Figura 4.



Figura 3. Ortofoto da área de estudo.
Fonte: Autores, 2025.

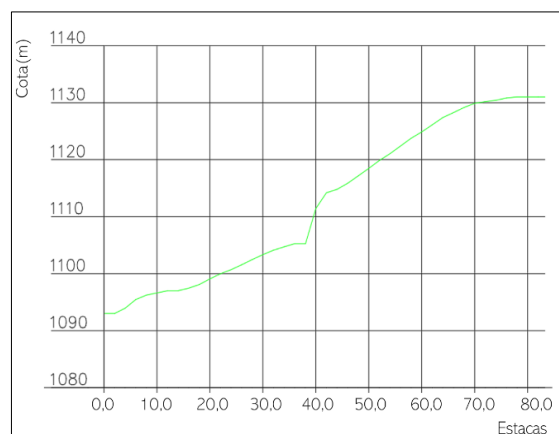


Figura 4. Seção A-A do talude.
Fonte: Autores, 2025.

Os parâmetros de resistência dos materiais que compõem o talude, bem como a seção transversal do talude antes do colapso, foram obtidos por meio do Ofício de Pendências de 2023, o qual registra a execução de dois furos de sondagem. Ressalta-se que, para os parâmetros de resistência do solo, foi realizada uma análise de sensibilidade dos parâmetros do aterro, de modo a representar as condições da massa de solo na iminência de ruptura, considerando que, no documento de referência mencionado, os valores adotados foram obtidos a partir da literatura. O Quadro 1 apresenta os parâmetros de resistência dos materiais, e a Figura 5 apresenta a seção transversal do talude.

Quadro 1. Parâmetros de resistência dos materiais obtidos na análise de sensibilidade.

Cor	Descrição	Peso Específico (kN/m ³)	Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito (°)
	Aterro	21	3,0	28,6
	Saprólito de Filito	19	5,0	44
	Rocha Alterada	19	10,0	48

Fonte: Autores, 2025.

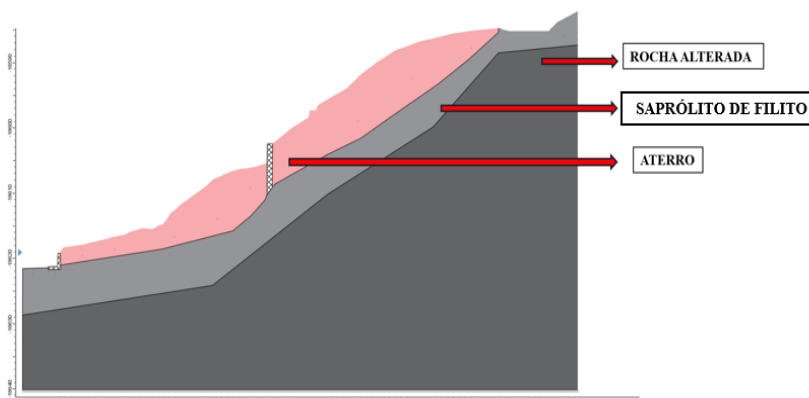


Figura 5. Seção transversal do talude analisado.

Fonte: Adaptado do Ofício de Pendências, 2023.

3 METODOLOGIA

3.1 Avaliação da estabilidade

A análise da estabilidade da estrutura de contenção que entrou em colapso será realizada por meio da verificação de três principais mecanismos de instabilidade. Primeiramente, será avaliada a resistência ao tombamento, verificando se o empuxo exercido pela massa de solo contida gera momento capaz de fazer o muro girar em torno de sua base. Em seguida, será analisada a resistência ao escorregamento, verificando se as forças horizontais atuantes superam o atrito entre a base do muro e o solo de apoio. Por fim, será verificada a capacidade de carga da fundação, a fim de determinar se o solo de apoio é capaz de resistir às tensões impostas pela estrutura e pelas cargas atuantes.

Todas as verificações foram realizadas com base nos coeficientes mínimos de segurança estabelecidos por normas técnicas, como a NBR 11682 (Estabilidade de Encostas) e a NBR 8681 (Ações e Segurança nas Estruturas). Para a verificação do tombamento, adotou-se fator de segurança mínimo de 2,0; para o escorregamento, fator mínimo de 1,5; e, para a avaliação da capacidade de carga da fundação, considerou-se a tensão admissível do solo como parâmetro limite para a estabilidade da estrutura.

Além dessas verificações, foi realizada uma análise de estabilidade global utilizando o programa *Slide2* (Rocscience), por meio de uma análise determinística de equilíbrio limite, empregando o método de Morgenstern-Price (1965), o qual permite que a superfície de ruptura assumam qualquer forma (Gerscovich, 2016). Para esta análise, foi adotado fator mínimo de segurança de 1,5, conforme estabelecido pela normativa citada.

Para a realização das verificações, foram calculadas as forças laterais geradas pela pressão ativa da massa de solo. Utilizou-se a Teoria de Rankine (1857), comumente aplicada em análises geotécnicas, que considera o solo em estado de equilíbrio plástico para a determinação das pressões de empuxo atuantes sobre estruturas de contenção. Ressalta-se que essa pressão varia conforme a inclinação do terrapleno, sendo necessário considerar também as sobrecargas atuantes, como foi feito neste trabalho. A ruptura do talude a montante provocou movimentação de massa, que passou a exercer acréscimo de esforços sobre a estrutura de contenção, culminando em seu colapso.

Os esforços atuantes no muro de arrimo foram analisados para verificar se a estrutura apresentava capacidade resistente compatível com os esforços solicitantes provenientes da massa de solo. Para tal, foi considerada a seção transversal apresentada na Figura 6.

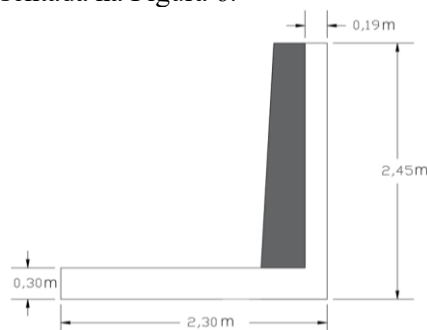


Figura 6. Seção Transversal do muro de arrimo.

3.2 Solução proposta

Após a verificação das condições de estabilidade, realizada para compreender o colapso da estrutura de contenção frente aos esforços atuantes, foi proposto um novo dimensionamento estrutural. Nesse dimensionamento, os esforços que atuaram na estrutura colapsada foram considerados como valores mínimos de referência, de modo que a nova seção seja projetada para resistir adequadamente a essas solicitações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, foi conduzida a análise dos esforços gerados pelo solo, considerando-se a massa proveniente da ruptura do talude como uma sobrecarga atuante sobre a estrutura de contenção. Para o material depositado foi considerado um ângulo de repouso de 18°, baseado no intervalo de 12° a 24° reportado por

Hungr et al. (2002, apud Fernandes; Fernandes; Thá, 2024). Com base na análise da superfície de ruptura e no fator de segurança obtido, foi possível identificar a massa instabilizada mobilizada até os limites da estrutura de contenção, conforme ilustrado na Figura 7.

No cenário apresentado na Figura 7, constata-se um acréscimo das tensões laterais na face do muro em contato com o solo, afetando de maneira significativa os coeficientes de segurança obtidos nas verificações de estabilidade. A Tabela 1 apresenta os valores correspondentes aos esforços gerados pela massa de solo e pelas solicitações atuantes no muro de arrimo.

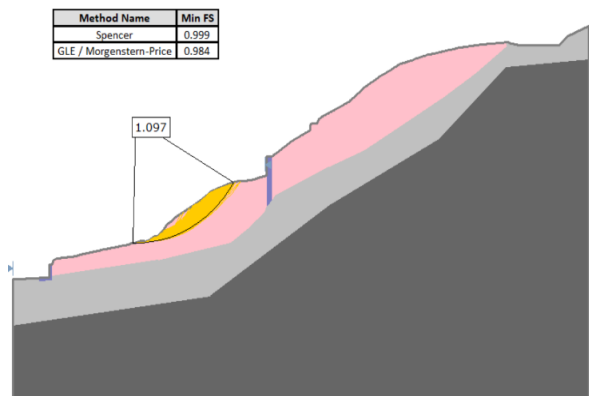


Figura 7. Análise de estabilidade.

Fonte: Autores, 2025.

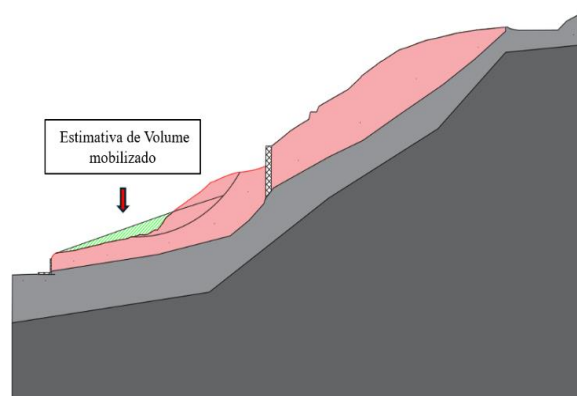


Figura 8. Massa mobilizada.

Fonte: Autores, 2025.

Tabela 1. Valores de esforços atuantes no sistema de contenção.

Esforços gerados pelo solo		
MEmp.Ativo	14,71	kN.m
MEmp.Sobrecarga	18,36	kN.m
MEmp.Passivo	2,95	kN.m
Esforços gerados pelo muro		
Mmuro	27,46	kN,m

Com base na análise dos esforços atuantes sobre o sistema de contenção, determinaram-se os coeficientes de segurança referentes às verificações de estabilidade global, bem como às condições de tombamento, deslizamento e capacidade de carga da fundação, conforme apresentado no item anterior. Os resultados estão dispostos na Tabela 1, viabilizando a análise do atendimento aos critérios normativos e aos fatores mínimos de segurança exigidos para o desempenho estrutural da contenção. A tabela apresenta um comparativo dos fatores de segurança com a ação da sobrecarga do material depositado acima do muro, assim como os fatores de segurança sem ação da sobrecarga.

Tabela 2. Fatores de segurança.

Verificação	Condição do muro sem sobrecarga (FS)	Condição do muro com sobrecarga (FS)	FS MIN
Tombamento	3,11	1,37	2,00
Deslizamento	1,41	0,71	1,50
Verificação	Tensão solicitante (KN.m)	Tensão solicitante (KN.m)	Tensão admissível (kN.m)
Capacidade da fundação	20,28	139,65	431,49

Após as verificações realizadas, conclui-se que a estrutura não foi dimensionada adequadamente para resistir aos esforços gerados pela massa de solo atuante. A deposição de material a montante contribuiu significativamente para a instabilidade do muro, aumentando as solicitações sobre a contenção. Além disso, o aumento do índice pluviométrico no período em que ocorreu o colapso, embora não tenha sido aprofundado nesta análise, constitui um fator de relevante influência, uma vez que pode ter reduzido os parâmetros de resistência da massa de solo do talude, os quais, considerados nos parâmetros adotados, acabaram por sofrer ruptura.

5 PROPOSTA DE ESTRUTURA DE CONTENÇÃO

Para a proposta de uma nova seção transversal, foi realizado um dimensionamento considerando as solicitações mínimas decorrentes da massa de solo atuante, conforme identificado na estrutura de contenção anteriormente analisada. Com base nos valores observados, especialmente no que se refere à relação entre as dimensões da estrutura e sua contribuição para a instabilidade, verificou-se que a configuração anterior apresentava robustez insuficiente frente aos esforços rotacionais e horizontais atuantes no sistema.

Dessa forma, a nova seção, apresentada na Figura 9, foi projetada com foco no aumento da resistência a tais esforços, resultando em um desempenho estrutural mais estável e compatível com os coeficientes de segurança mínimos exigidos pelas normativas mencionadas.

Para a verificação da estabilidade da estrutura de contenção proposta, foram realizadas análises específicas quanto à segurança ao tombamento, ao deslizamento, à capacidade de carga da fundação e à estabilidade global. Esta última foi avaliada por meio de simulações no software Slide2. A Tabela 3 apresenta os valores obtidos nas respectivas verificações, juntamente com os coeficientes mínimos de segurança exigidos pelas normas técnicas vigentes. A Figura 10 ilustra a análise de estabilidade global, na qual foi obtido um FS de 2,64.

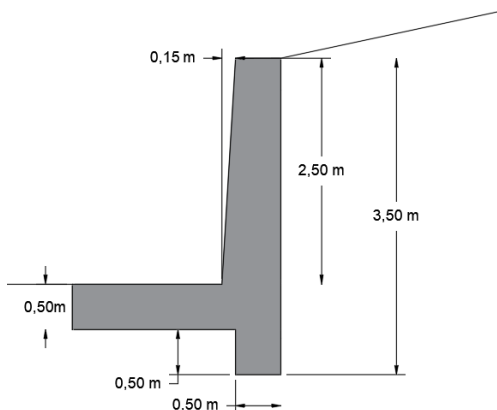


Figura 9. Seção transversal da solução proposta.
Fonte: Autores, 2025.

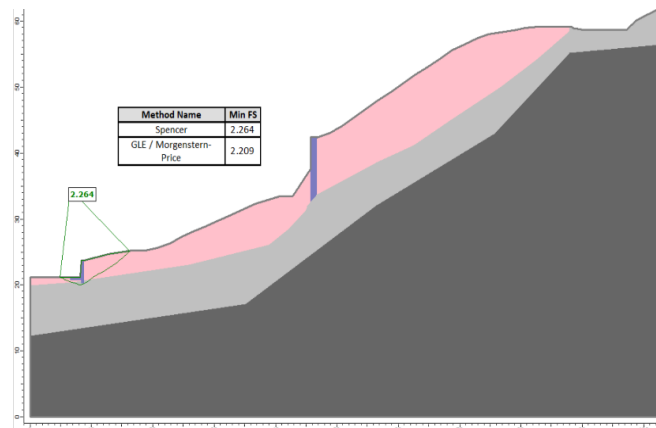


Figura 10. Análise de estabilidade da nova seção.
Fonte: Autores, 2025.

Tabela 3. Fatores de segurança das verificações da nova seção.

Verificação	Condição proposta (FS)	FS MIN
Tombamento	4,76	2,00
Deslizamento	1,83	1,50
Verificação	Tensão solicitante (KN.m)	Tensão admissível (kN.m)
Capacidade da fundação	151,56	431,49



6 CONCLUSÃO

As análises realizadas indicam que a estrutura de contenção não foi dimensionada para suportar os esforços gerados pela massa de solo contida, situação agravada pela sobrecarga de solo gerada pelo material depositado, proveniente da ruptura do talude. Os fatores de segurança mínimos relativos ao tombamento e ao deslizamento não foram atendidos, evidenciando vulnerabilidade à movimentação de massa do talude de aterro, que contribuiu para a instabilidade da estrutura.

A nova seção proposta incorpora ajustes geotécnicos e estruturais que visam melhorar o desempenho global do muro de arrimo, atendendo aos coeficientes de segurança mínimos das normas técnicas. Recomenda-se a realização de uma nova campanha de investigações no talude a montante da estrutura, considerando que a ausência de avaliação rigorosa durante a fase de projeto contribuiu significativamente para a falha da contenção.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET MG) na viabilização do presente artigo. Gostaríamos de agradecer também a *Rocscience* pela disponibilização do software e ao COBRAE pela oportunidade da publicação do presente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004). NBR 8681. *Ações e segurança nas estruturas - Procedimento*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR 11.682: *Estabilidade de Encosta*. Rio de Janeiro, ABNT, 2009.
- Belo Horizonte (MG). Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Ofício GELIN/EXTER nº 1341/23, de 26 de junho de 2023. Assunto: *Intervenção em Área de Relevância Ambiental* – Processo nº 55.043.562/22-91. Belo Horizonte, 2023. 1 p.
- Das, B. M.; Sobhan, K. *Fundamentos de Engenharia Geotécnica*. 8. Ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.
- Gerscovich, D. M. S. *Estruturas de contenção: muros de arrimo*. Rio de Janeiro: Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Departamento de Estruturas e Fundações, 2010. Disponível em: <http://www.eng.uerj.br/~denise/pdf/muros.pdf>.
- Fernandes, M. T. Fernandes, G. L.D.; THÁ, P. *Methods for evaluating stockpile runout: applicability and limitations*. In: SLOPE STABILITY 2024, 2024, Nova Lima. Nova Lima: Fundação Dom Cabral, 2024.
- Gerscovich, D. M. S. *Estabilidade de taludes*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.
- Machado, V. et al. Variabilidade espacial de algumas propriedades físicas em três solos para duas profundidades. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 5, n. 1, p. 44–52, 2006.
- Moliterno, A. *Muros de arrimo: estabilidade e dimensionamento*. 3. ed. São Paulo: PINI, 1994.
- Nunes, A. J. D. C. Acidentes em estruturas de arrimo. *Revista Técnica das Construções: Engenharia e Arquitetura*, São Paulo, edição 72, 1975.
- Parizzi, M. G. et al. (2011) Processos de movimentos de massa em Belo Horizonte, MG. GEOGRAFIAS (UFMG), v. 7, n.1, p. 58-87, 2011. DOI: <https://doi.org/10.35699/2237-549X..13309>.
- Rankine, W. J. M. *On the stability of loose earth*. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, n. 147, 1857.