XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.4/104

Projeto de Estrutura de Contenção em Gabiões Para Um Talude de Corte em Viçosa – MG

Elisa de Oliveira Almeida
Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, Brasil, elisa.o.almeida@ufv.br

Darlane Ilvênia Ferreira
Mestranda em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, Brasil, darlane.ferreira@ufv.br

Nilo de Oliveira
Engenheiro Civil, Universidade Federal de Viçosa, Nova Venécia - ES, Brasil, nilo.ess@gmail.com

Klaus Henrique de Paula Rodrigues
Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, Brasil, klaus@ufv.br

RESUMO: O Brasil é um país de topografia predominantemente acidentada que favorece a presença de encostas e a formação de taludes, bem como a ocorrência de acidentes associados à ruptura de maciços de solos. O presente trabalho busca projetar um muro de gabiões para contenção de um talude de corte em uma rodovia localizada em Viçosa, Minas Gerais, considerando a coesão do solo a ser contido. Para desenvolver o projeto, foram empregadas duas metodologias de dimensionamento para fins de comparação. O primeiro método foi baseado no cálculo, via planilha eletrônica, dos empuxos derivados do maciço de solo e outras cargas externas, além das condições de estabilidade externa e interna do muro de gabiões. A análise de estabilidade externa global, no primeiro método, foi realizada através do *software* SLOPE/W, do pacote GeoStudio. O segundo método consistiu no dimensionamento através do *software* GawacWin, da empresa Maccaferri. Ao final do projeto foi verificado que o muro de gabiões atendeu aos requisitos de segurança mínimos tanto para a estabilidade externa quanto para a estabilidade interna. A análise comparativa entre os métodos de dimensionamento utilizados evidenciou que o ponto de aplicação do empuxo ativo utilizado no *software* é deslocado para baixo em relação ao cálculo via planilha eletrônica, uma vez que o *software* não considera a coesão do solo no momento da execução dos cálculos, gerando fatores de segurança maiores do que o dimensionamento na planilha eletrônica.

PALAVRAS-CHAVE: Estruturas de Contenção, Gabiões, GawacWin.

ABSTRACT: Brazil is a country with a predominantly rugged topography that favors the presence of hillsides and the formation of slopes, as well as the occurrence of accidents associated with soil mass failure. This study aims to design a gabion wall for the containment of a cut slope on a highway located in Viçosa-MG. To develop the project, two design methodologies were employed for comparative purposes. The first method was based on calculations, via electronic spreadsheet, of the earth pressures derived from the soil mass and other external loads, in addition to the external and internal stability conditions of the gabion wall. The global external stability analysis was performed using the SLOPE/W *software*, from the GeoStudio suite. The second process consisted of designing through the GawacWin *software*, developed by Maccaferri. At the conclusion of the project, it was verified that the gabion wall met the minimum safety requirements for both external and internal stability. The comparative analysis between the design methods evidenced that the point of application of the active thrust used in the *software* is shifted downwards compared to the spreadsheet calculation, since the *software* does not consider soil cohesion during calculations. In verifications where this thrust point showed relevance, the safety factor values obtained by the spreadsheet were lower than those obtained through the GawacWin *software,* generating safety factors greater than those calculated in the spreadsheet.

KEYWORDS: Retaining Structures, Gabions, GawacWin.

1 INTRODUÇÃO

O cenário geológico-geotécnico brasileiro, caracterizado por seu clima tropical e uma topografia predominantemente acidentada, favorece a ocorrência de movimentos de massa, especialmente em períodos chuvosos (IBGE, 2019). Eventos catastróficos recentes — como as inundações e os deslizamentos observados no Rio Grande do Sul em 2024, considerados o maior episódio de movimentos de massa da história do país (ANDRADE et al., 2024) — reafirmam a vulnerabilidade da infraestrutura nacional frente à intensificação de eventos climáticos extremos. Nesse contexto, a implementação de estruturas de contenção torna-se uma intervenção crítica para garantir a estabilidade de maciços e a segurança de infraestruturas rodoviárias.

Dentre as soluções técnicas disponíveis, os muros de gravidade destacam-se pela simplicidade executiva e eficiência no suporte de desníveis médios. Em particular, as estruturas em gabiões oferecem vantagens significativas como flexibilidade, autodrenagem e baixo impacto ambiental (CRUZ; BRAGHIN, 2016). Tais características permitem que a estrutura se acomode a recalques diferenciais e alivie pressões hidrostáticas, sendo amplamente aplicadas em taludes rodoviários.

Este trabalho apresenta o projeto de uma estrutura de contenção em gabiões para um talude de corte localizado em Viçosa-MG. O objetivo central foi realizar uma análise comparativa entre o dimensionamento via planilha eletrônica, fundamentado no Método de Coulomb, e os resultados obtidos pelo *software* GawacWin considerando a coesão do solo a ser contido. Buscou-se avaliar o impacto da consideração de fendas de tração e da coesão do solo nos fatores de segurança (FS) e no ponto de aplicação do empuxo ativo resultante.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

O estudo foi realizado em um talude de corte localizado no *campus* da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa-MG. Amostras de solo do talude foram coletadas conforme a NBR 9604. As amostras foram transportadas para o laboratório de engenharia civil da UFV e acondicionadas em bombonas hermeticamente vedadas. As amostras de solo foram preparadas conforme a norma NBR 6457 (ABNT, 2024). A Tabela 1 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização e desempenho da amostra de solo avaliada, bem como as classificações UCS, TRB e MCT.

Tabela 1: Caracterização e resultados da amostra de solo.

Parâmetro	Amostra de solo	Norma técnica
% argila ($\varphi < 0{,}002$ mm)	61	NBR 7181 (ABNT, 2025)
% silte ($0{,}002$ mm $< \varphi < 0{,}06$ mm)	14	
% areia ($0{,}06$ mm $< \varphi < 2$ mm)	25	
% pedregulho (2 mm $< \varphi < 60$ mm)	0	
LL (%)	78	NBR 6459 (ABNT, 2025)
LP (%)	43	NBR 7180 (ABNT, 2025)
IP (%)	35	
ρ_s (g/cm³)	2,869	NBR 6458 (ABNT, 2025)
γ_{nat} (kN/m³)	18,30	
$\gamma_{d,max}$ (kN/m³)	13,95	NBR 7182 (ABNT, 2025)
w_{ot} (%)	31,03	
TRB	A-7-5 (20)	M 145-91 (AASHTO, 2017)
USC	MH	D2487 (ASTM, 2017)
MCT	LG’	CLA 259 (DNIT, 2023)

2.2 Dimensionamento Analítico

O dimensionamento analítico foi fundamentado na Teoria de Coulomb para o cálculo do empuxo ativo (E_a). Nesse modelo, Gerscovich, Danziger, Saramago (2019) ressaltam que em solos coesivos há formação de fendas de profundidade z_0 em relação ao terrapleno, causadas pela tração interna no solo.

A determinação do empuxo ativo foi realizada de forma iterativa através da Equação (1)(1 , variando-se o ângulo de inclinação da superfície de ruptura (θ) até a convergência do valor máximo da reação da estrutura sobre a cunha. O ponto de aplicação do empuxo ativo resultante foi determinado pela composição dos centros de gravidade de cada parcela de pressão, garantindo que o braço de alavanca para os cálculos de tombamento refletisse a realidade física de um solo coesivo.

$$E_{a,máx} = \frac{\gamma H^2}{2} \times \frac{\sin^2(\beta + \varphi')}{\sin^2(\beta)\sin(\beta - \delta)\left[\sqrt{\frac{\sin(\varphi' + \delta)\sin(\varphi' - i)}{\sin(\beta - \delta)\sin(\beta + i)}}\right]} \quad (1)$$

2.3 Dimensionamento Computacional (GawacWin)

O *software* GawacWin foi empregado como ferramenta para o pré-dimensionamento da estrutura do muro de gabião. O programa determina o empuxo ativo a partir de condições de equilíbrio limite, realizando o balanço de forças nas cunhas de solo de acordo com o método de Coulomb. Além das verificações de estabilidade externa e interna mencionadas, o *software* processa a análise de ruptura global através do método de Bishop, empregando o algoritmo Simplex para a determinação da superfície de ruptura crítica (Barros, 2015). A convergência entre esses métodos permitiu uma avaliação robusta da segurança do projeto, confrontando o rigor analítico com as soluções computacionais normatizadas. As análises foram executadas utilizando a coesão do solo a ser contido.

2.4 Seção do Muro

A estrutura foi projetada para vencer um desnível total de 4,00 metros, sendo apresentada na Figura 1.

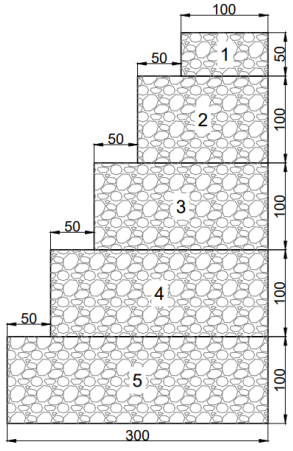


Figura 1 - Seção transversal do muro.

O projeto especifica um embutimento de 1,00 metro em relação ao nível do terreno a jusante, garantindo a estabilidade contra o deslizamento e a correta distribuição de tensões na fundação. No tardoz da estrutura, foi aplicado um geotêxtil não tecido, cuja função é atuar como elemento de filtragem e separação entre o solo do maciço e o preenchimento pétreo das gaiolas de gabião, prevenindo o carreamento de finos.

O solo de aterro e o maciço natural apresentam um ângulo de atrito interno (ϕ') de 26° e uma coesão (c) de 15 kPa. Para o peso específico das pedras do gabião foi adotado o valor de γ_m =24,20 kN/m³ e para a

porosidade foi adotado o valor de $\eta = 30\%$. Para a malha do arame foram adotadas as dimensões de 8x10 cm e para o diâmetro do arame foi adotado o valor de 2,4 mm.

2.5 Estabilidade das Estruturas de Contenção

A análise da estabilidade de obras de contenção é fundamentada na investigação do equilíbrio entre as forças que tendem a causar o movimento da massa de solo e as forças resistentes à tal tendência. Para quantificar essa condição de equilíbrio, utiliza-se o conceito de Fator de Segurança (FS), que Pinto (2006) define como a razão entre a resistência disponível do solo e a tensão mobilizada pelas cargas atuantes. Para o contexto específico de projetos de muros de gabião, a análise de segurança deve obrigatoriamente contemplar três domínios de estabilidade: a estabilidade externa, interna e global.

No que compete à estabilidade externa, o foco concentra-se no comportamento da estrutura de contenção como elemento resistente aos empuxos gerados pelo maciço. Segundo as diretrizes da NBR 11682 (ABNT, 2009), a viabilidade do projeto é verificada quanto ao tombamento e à capacidade de carga do solo de fundação; já para a determinação das pressões laterais, o método analítico empregado baseia-se na Teoria de Coulomb.

Quanto a estabilidade interna, as recomendações do Indian Roads Congress (2018), afirmam que as tensões internas não devem ultrapassar a resistência à tração da malha metálica de dupla torção nem provocar o cisalhamento entre as camadas sobrepostas de gabião.

Por fim, a análise da estabilidade global foi conduzida aplicando os conceitos do método de equilíbrio limite de Morgenstern-Price e processado com o *software* SLOPE/W. A premissa de Morgenstern-Price permite considerar funções variadas para as forças entre as fatias, o que proporciona resultados de Fator de Segurança mais rigorosos para geometrias complexas.

3 RESULTADOS

3.1 Ensaio de compressão triaxial

A partir do ensaio trixial do tipo não drenado (CIU) foram traçados os círculos de Mohr equivalentes e obtidos os parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo associados a eles constam na Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros de resistência do solo.

ϕ (°)	c (kPa)	ϕ' (°)	c' (kPa)
15,73	24,55	28,19	17,17

3.2 Cálculo do Empuxo

3.2.1 Método Analítico

Os parâmetros utilizados para que o empuxo pudesse ser calculado pelo método analíco são apresentados na Tabela 3 incluindo uma sobrecarga acidental de 20 kPa como determina a NBR 11682 (ABNT, 2009). A Tabela 4 resume os cálculos e os valores de empuxo ativo (E_a) para cada valor do ângulo de inclinação da superfície de ruptura (θ).

Tabela 3 -Parâmetros utilizados para o cálculo do empuxo ativo

Parâmetro	Valor
Ângulo de atrito interno efetivo do solo (ϕ')	28,19°
Coesão efetiva do solo (c')	17,17kPa
Peso específico do solo (γ)	28,14kN/m³
Sobrecarga acidental no terrapleno (q_d)	20kN/m²
Ângulo de atrito entre o solo e o muro (δ)	28,19°
Inclinação da parede do muro (β)	90°
Altura do talude (H)	4,5m
Inclinação do terrapleno (i)	18°
Profundidade da fenda de tração (z_0)	1,33m

Tabela 4 - Resumo dos cálculos para o empuxo ativo.

Cunha	θ (°)	A (m²)	W (kN/m)	q (kN/m²)	Ew (kN/m)	Fc (kN/m)	Ea (kN/m)
1	60,0	6,57	184,85	47,41	8,65	77,41	61,66
2	59,0	6,90	194,20	49,81	8,65	78,96	62,88
3	58,0	7,25	203,94	52,30	8,65	80,59	63,89
4	57,0	7,61	214,09	54,91	8,65	82,31	64,66
5	56,0	7,98	224,69	57,62	8,65	84,14	65,20
6	55,0	8,38	235,77	60,47	8,65	86,07	65,49
7	54,0	8,79	247,38	63,44	8,65	88,13	65,49
8	53,0	9,22	259,56	66,57	8,65	90,31	65,21
9	52,0	9,68	272,36	69,85	8,65	92,63	64,60
10	51,0	10,16	285,84	73,31	8,65	95,11	63,66
11	50,0	10,66	300,07	76,96	8,65	97,75	62,33

A fim de calcular o ponto de aplicação do empuxo ativo foram calculados separadamente os pontos de aplicação de cada parcela do empuxo atuante. O ponto de aplicação do empuxo devido ao solo foi determinado de acordo com o método descrito por Gerscovich, Danziger e Saramago (2019), sendo o ponto de aplicação aquele que representa a interseção entre o paramento do muro e uma linha paralela à superfície de ruptura crítica passando pelo centro de gravidade da cunha (Figura 2).

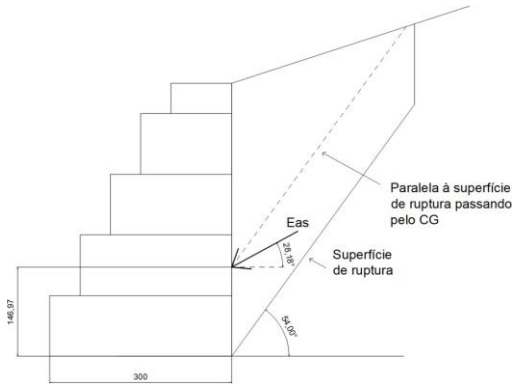


Figura 2 -Ponto de aplicação do empuxo devido ao solo.

Quanto ao empuxo hidrostático na fenda de tração, considerou-se que seu ponto de atuação está a um terço da altura da fenda, devido à sua distribuição triangular. Para o empuxo decorrente da sobrecarga, o ponto de aplicação foi posicionado na metade da altura do muro. Por fim, a Tabela 5 apresenta as coordenadas de

cada empuxo individualmente, bem como as do empuxo ativo total, obtidas pelo cálculo do centro de gravidade.

Tabela 5 - Ponto de aplicação do empuxo ativo resultante via planilha.

Ponto de aplicação	E_{as} (m)	E_w (m)	E_q (m)	CG E_a (m)
x	3,00	3,00	3,00	3,00
y	1,47	3,61	2,25	2,10

3.2.2Metodologia do software GawacWin

Os valores referentes ao empuxo ativo calculados pelo *software* GawcWin são apresentados na Tabela 6. Embora o valor do empuxo seja o mesmo que calculado anteriormente pela planilha eletrônica, o ponto de aplicação é diferente. Isso se deve ao fato de que o *software* faz o cálculo da altura de aplicação da mesma forma que faria para um solo não coesivo. Como os solos não coesivos não apresentam fendas de tração, a cunha de ruptura possui formato triangular e, portanto, uma linha que passa pelo CG paralela à superfície de ruptura se distancia da base 1/3 da altura.

Tabela 6 - Ponto de aplicação do empuxo ativo resultante no GawacWin.

Ea (kN/m)	X_{Ea} (m)	Y_{Ea} (m)	δ (°)
65,48	3,00	1,50	28,19

3.3ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA ESTRUTURA DE CONTENÇÃO

3.3.1Estabilidade Externa e Global

Na análise de estabilidade externa do talude de contenção os 4 principais potenciais tipos de ruptura enquanto os FS apresentados pelo método analítico e computacional foram avaliados e comparados conforme apresentados na Tabela 7. Para a verificação da estabilidade global foi utilizado o *software* SLOPE/W e o traçado do muro com a superfície de ruptura no *software* está apresentado na Figura 3.

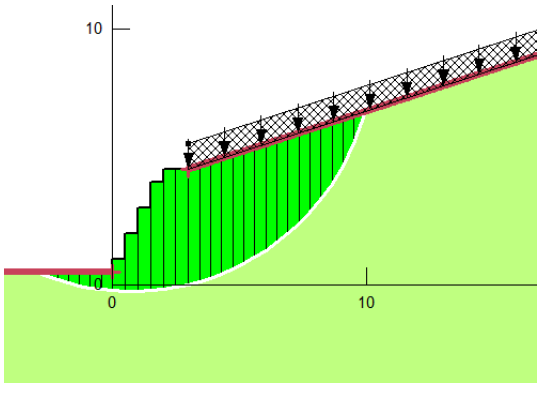


Figura 3 - Superfície de ruptura global do *software* SLOPE/W.

Tabela 7 - Comparativo do FS entre metodologias.

Ruptura	Critério	Planilhas	GawacWin
Deslizamento na base;	$FS_d > 2$	2,23	2,23
Tombamento;	$FS_t \geq 2$	3,21	4,25
Ruptura do solo de fundação;	$FS_{esquerda} \geq 1$	21,3	19,96
	$FS_{direita} \geq 1$	14,02	14,6
Ruptura global.	$FS_{global} \geq 1,5$	1,82	1,75

3.3.2Estabilidade interna

Para a análise da estabilidade interna, primeiramente, foram determinados novos valores de empuxo para as parcelas correspondente a cada bloco do muro. Em seguida, foi realizada a verificação do deslizamento e da tensão normal máxima entre os blocos. Os cálculos dos empuxos e verificações de segurança foram realizados de maneira análoga aos já apresentados (Tabela 8).

Tabela 8 - Comparativo dos fatores de segurança internos entre metodologias.

	Seção	H (m)	N (kN/m²)	τ_{max} (kN/m²)	τ_{adm} (kN/m²)	σ_{max} (kN/m²)	σ_{adm} (kN/m²)	FS_{di}	FS_{ci}
Planilha	1	0,5	8,47	0	33,59	8,47	552,79	-	65,26
	2	1	37,36	4,33	34,48	24,5	552,79	7,96	22,57
	3	1	74,72	6,49	42,62	35,35	552,79	6,56	15,64
	4	1	126,15	11,97	51,19	47,89	552,79	4,28	11,54
GawacWin	1	1	8,47	0	35,35	8,47	552,79	-	65,26
	2	1,5	35,71	2,28	35,38	22,32	552,79	15,52	24,77
	3	2	74,63	6,41	44,21	34,21	552,79	6,9	16,16
	4	2,5	126,38	12,14	52,87	46,86	552,79	4,36	11,8

4 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo principal propor uma solução em muro de gabiões para a estabilização de um talude em Viçosa, Minas Gerais, comparando os valores obtidos pelo *software* GawacWin, fornecido gratuitamente pela Maccaferri, e os valores obtidos via planilha eletrônica. Tendo isso em vista, o dimensionamento atendeu todos os fatores de segurança exigidos mostrando ser uma proposta de estabilização viável do ponto de vista estrutural. No entanto, para a sua real implementação análises adicionais como viabilidade econômica são necessárias. As seguintes conclusões foram obtidas da comparação da análise realizada pelo GawacWin e por meio de planilha eletrônica:

- O GawacWin usa a mesma metodologia de cálculo utilizada na planilha eletrônica - adotada na maior parte da literatura - devido a isso, mesmo com algumas diferenças os valores obtidos são bem semelhantes.
- As divergências observadas decorrem, primordialmente, do fato de que o *software* GawacWin desconsidera a fenda de tração na determinação do ponto de aplicação do empuxo ativo. Tal simplificação desloca o vetor do empuxo para uma cota inferior, resultando na redução do momento de tombamento atuante. Consequentemente, as tensões na fundação são minoradas, gerando fatores de segurança superiores aos obtidos via planilha eletrônica.
- Analiticamente as fendas de tração são incluídas nos cálculos, sendo assim, para o caso de análises em que o solo a ser contido é coesivo, o *software* GawacWin mostrou ser menos preciso.

Uma vez que tal diferença é causada pelas fendas de tração, presentes apenas em solos coesivos, em caso de solos não coesivos o *software* e a planilha eletrônica apresentarão valores idênticos.

Assim, para esse estudo, a utilização de modelos computacionais pôde ser de grande ajuda visto que apresentaram valores condizentes com as teorias utilizadas, contudo, é necessário embasamento teórico para que as particularidades e limitações de cada *software* específico não causem impacto negativo no projeto a ser executado.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). AASHTO M145-91: Standard Specification for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes. Washington, DC: AASHTO, 2008.

American Society for Testing and Materials. ASTM D4767: Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils. Philadelphia, 2020.

ANDRADE, M. M. et al. The May 2024 floods and landslides in Rio Grande do Sul, Brazil: a geological and hydrological assessment. Nature Communications/Scientific Reports (ou Relatório Técnico Cemaden), 2024.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. . NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2019.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. . NBR 6458: Solos - Determinação da massa específica dos sólidos, da massa específica aparente e da absorção de água da fração retida na peneira com abertura de 2,0 mm. Rio de Janeiro, 2025.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. . NBR 6459: Solos — Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2025.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. . NBR 7180: Solos — Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2025.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. . NBR 7181: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2025.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. . NBR 7182: Solos - Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2025.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. . NBR 9604: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas — Procedimento. Rio de Janeiro, 2024.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11682: Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro, 2009.

ASTM International. ASTM D2487-17: Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). West Conshohocken, PA, 2017.

BARROS, P. L. DE A. Obras de Contenção: Manual Técnico. [s.l.] Maccaferri, 2015.

CRUZ, L. B. DA; BRAGHIN, M. F. L. Estudo da Utilização da Estrutura de Contenção Tipo Gabião. Colloquium Exactarum, v. 8, n. 4, 10 dez. 2016.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (Brasil). DNIT 259/2023–CLA: Solos – Classificação de solos finos tropicais para finalidades rodoviárias. Brasília: DNIT, 2023.

Indian Roads Congress. Guidelines for Design and Installation of Gabion Structures. 1. ed. Delhi: INDIAN ROADS CONGRESS, 2018.

Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística (IBGE). Suscetibilidade a deslizamentos do Brasil: primeira aproximação. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. 35 p. (Macrocaracterização dos Recursos Naturais do Brasil, v. 1). Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101684.pdf. Acesso em: 18 jan. 2026.

PINTO, C. DE S. Curso Básico de Mecânica dos Solos. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.