

Estruturas De CONTENÇÃO Aplicadas A Um Talude Instável Na Cidade De Areia - PB

Thanyle Maria Silva de Siqueira

Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil, mariathanyle@gmail.com

Josenildo Medeiros de Oliveira Junior

Engenheiro Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil, jnrmdrs1001@gmail.com

Alisson do Nascimento Lima

Doutorando em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil, alissonnascimento@lim@gmail.com

Pedro Raimundo Santana Junior

Mestrando em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil, engpejota@gmail.com

Carina Silvani

Professora na Unidade Acadêmica de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil, carinasilvani@gmail.com

RESUMO: A instabilidade de taludes urbanos é um problema recorrente na região do brejo Paraibano. Portanto, este estudo tem como objetivo avaliar a solução mais adequada para a estabilização de um talude instável localizado na cidade de Areia -PB. Para isso, foram avaliadas alternativas como: alteração da geometria e a utilização de um muro de gravidade com gabiões ou concreto ciclópico. As análises das alternativas expostas foram realizadas por meio dos softwares SLOPE/W (versão estudante) e GAWAC 3.0, ambos baseados na Teoria do Equilíbrio Limite. Foi utilizado um terreno modelo para verificar as implicações das soluções adotadas. Os resultados mostraram que o retaludamento não foi eficaz na obtenção da estabilidade do talude, visto que o aumento da base do talude em 16 m resultou apenas em um Fator de Segurança de 0,61. Ambos os muros de gravidade conseguiram estabilizar o solo, tendo o muro de gravidade em gabiões um volume, uma utilização de área do terreno e um custo, respectivamente, 1,52 vezes, 3,45% e 2,09 vezes maior do que a solução em concreto ciclópico. Dessa forma, com base nos resultados obtidos, a solução otimizada, entre as estudadas, é o muro de arrimo em concreto ciclópico.

PALAVRAS-CHAVE: Movimento de massa, muros de gravidade de concreto ciclópico, muro de gravidade de gabião, retaludamento.

ABSTRACT: Urban slope instability represents a recurrent issue in the Brejo Paraibano region. This study, therefore, aims to assess the most appropriate solution for stabilizing an unstable slope located in the city of Areia-PB. To this end, alternatives were evaluated, including geometric alteration (re-sloping) and the implementation of a gravity wall using either gabions or cyclopean concrete. The analysis of these alternatives was conducted with SLOPE/W (student version) and GAWAC 3.0 software, which are based on Limit Equilibrium Theory. A site model was employed to assess the implications of each solution. The findings indicated that re-sloping was ineffective for achieving stability, as a 16-meter expansion of the slope's base yielded a Factor of Safety of just 0.61. While both gravity walls were capable of stabilizing the soil, the gabion wall required 1.52 times the volume, occupied 3.45% more land area, and incurred a cost 2.09 times higher than the cyclopean concrete alternative. Consequently, based on the obtained results, the cyclopean concrete retaining wall is identified as the optimal solution.



KEYWORDS: Mass movements, cyclopean concrete gravity retaining wall, gabion gravity retaining wall, re-sloping.

1. INTRODUÇÃO

Conforme Ferlisi e De Chiara (2016), as instabilidades em taludes são capazes de provocar uma movimentação de massa, o que coloca em situação de risco vários elementos que estão sob a influência desse maciço, podendo afetar pessoas, propriedades, ativos ambientais, atividades econômicas, patrimônio cultural, entre outros. Segundo Gerscovich (2010), esses movimentos são decorrentes da formação de uma superfície cisalhante contínua no maciço de solo, o que culmina na perda da resistência do talude.

Os movimentos de massa podem causar grandes danos socioeconômicos, a ponto de poderem ser considerados como uma ameaça para o desenvolvimento socioeconômico da região Nordeste do Brasil. Conforme Assis Dias (2018), nos últimos anos, houve uma grande elevação no número de desastres ligados a instabilidades de taludes, ocorrendo principalmente pelo aumento da densidade populacional em áreas que estão expostas a esse desastre e à intensificação das ocorrências de eventos geodinâmicos e climáticos.

Conforme Assis Dias (2018), grande parte dos deslizamentos que ocorrem na Paraíba estão localizados dentro da área urbana das cidades, como por exemplo, no município de Areia. A cidade está localizada na microrregião do Brejo Paraibano, sobre a Serra da Borborema, ocupando uma área territorial de aproximadamente 266 km² (IBGE, 2021). Conforme Costa (2012), do ponto de vista geológico o município encontra-se, em sua maior parte, localizado sobre rochas graníticas e gnáissicas, e uma pequena ocorrência de áreas de residuais da Formação Barreiras (encostas).

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, em 2015, realizou um estudo que identificou 4 áreas de risco de deslizamentos de massa em área urbana no município de Areia/PB. Os dados finais desta pesquisa alimentam o banco nacional de dados do CEMADEN - Centro de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, criado pelo Governo Federal em 2011. O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), em 2017, incluiu o município como zona de perigo de alagamentos, deslizamentos de encostas e transbordamento de rios devido à ação das chuvas. Logo, o estudo da estabilidade dos taludes da cidade de Areia-PB faz-se necessário.

Dentre estas 4 áreas mapeadas pela CPRM, optou-se por estudar o talude localizado na Rua Enfermeira Maria Madalena, pois este apresenta disponibilidade de acesso e habitações em sua base que seriam impactadas em caso de movimento de massa na região. Conforme estudos de Lira et al. (2024) esse talude se apresenta instável na presença de água. Além disso, há relatos da população residente no local do talude que ocorrem deslizamentos no talude em épocas chuvosas.

Nesse sentido, uma vez identificados como instáveis, os taludes necessitam de mecanismos que possam promover a sua estabilidade. Essa estabilidade pode ser obtida de forma mais comum por meio de estruturas de contenção. Dessa forma, o estudo visa identificar uma solução para um talude instável que contemple três pontos principais: promova a estabilidade do talude, ocupe o menor espaço possível e seja economicamente viável.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

A área estudada corresponde à região da R. Enfermeira Maria Madalena, em Areia, onde Araújo et al. (2024) e Lira et al. (2024) confirmaram a instabilidade do talude e o risco para residências próximas. A Figura 1(a) mostra a localização do talude e áreas afetadas; a Figura 1(b) exhibe um terreno modelo de 15 m x 28 m usado na análise de possíveis soluções para a área.

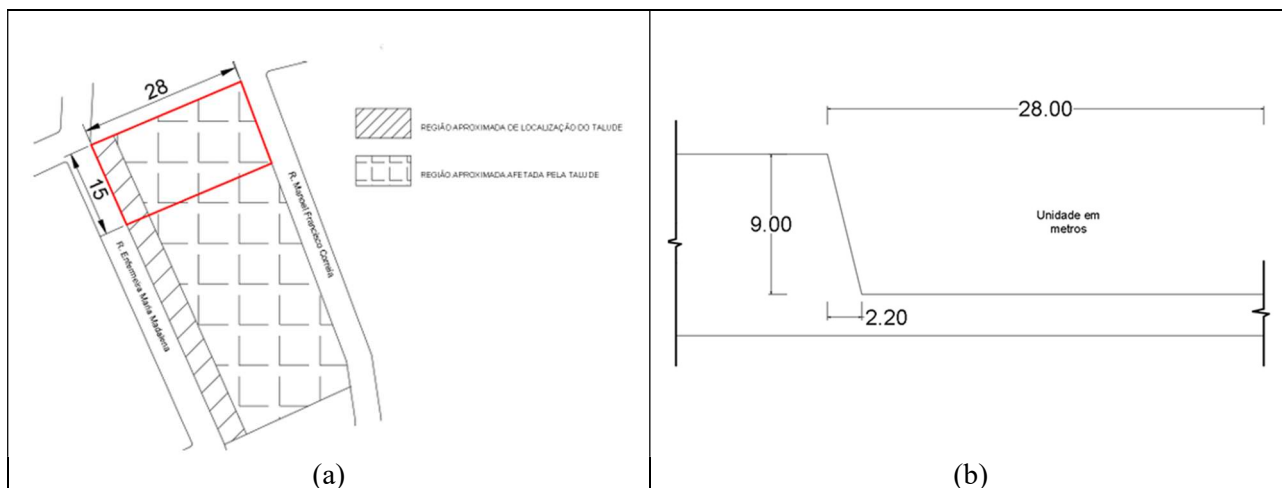


Figura 1. (a) Área de estudo (b) Perfil simplificado do Talude avaliado.

Com base na área de estudo (Figura 1(a)) e no perfil do talude obtido por Oliveira Júnior e Silvani (2021) foi feita a geometria de um talude base, que serviu como apoio para realização das análises (Figura 1(b)).

2.2. Caracterização geotécnica

Os locais de coleta do solo no talude estão indicados na Figura 2, sendo designados como topo (MMT), centro (MMC) e base (MMB).

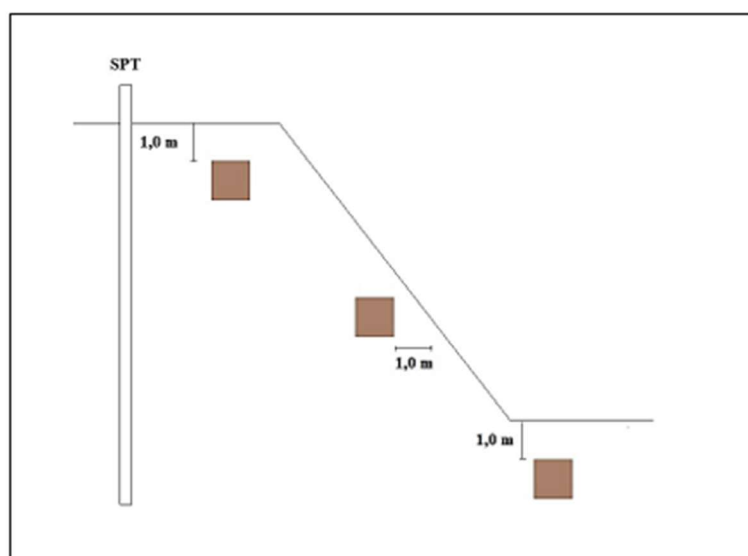


Figura 2. Localização da coleta das amostras.

2.3. Parâmetros geotécnicos

Os parâmetros geotécnicos foram obtidos por Sousa (2020), autora realizou ensaios de caracterização física das amostras coletadas e ensaios de cisalhamento direto inundados do solo do talude Maria Madalena (MM), conforme a Tabela 1. A Sousa (2020) coletou amostras do topo de talude (MMT), do centro do talude (MMC) e da base do talude (MMB). Os estudos de Sousa (2020) mostraram também que o solo que compõe o talude apresentou índice de plasticidade entre 9 e 15, limites de liquidez variaram entre 39 e 47 e os limites de plasticidade variaram entre 30 e 32.

Tabela 1. Parâmetros geotécnicos do talude estudado.

Parâmetro	MMB	MMC	MMT
Coesão para condição inundada (kPa)	0	0	0
Ângulo de atrito (Φ)(°)	28,3	29,2	29
Massa específica aparente natural (ρ) (g/cm ³)	1,562	1,294	1,505
Índice de vazios (e)	1,06	1,47	1,08
Classificação granulométrica	Areia argilosa / Argila arenosa	Areia siltosa	Areia siltosa
Classificação SUCS	ML	ML	SM
Peso específico saturado (γ_{sat}) (kN/m ³)	17,80	16,96	17,88

2.4. Análise da estabilidade

Para analisar a estabilidade do talude em estudo foram avaliadas algumas alternativas para estabilizar o maciço de solo. Entre as soluções analisadas incluíram-se: alterar a geometria da talude através do processo de retaludamento e usar um muro de arrimo de gravidade composto por gabiões ou concreto ciclópico. Nesse sentido, depois de verificadas as possíveis soluções para tornar o talude estável, foi escolhida a alternativa que se apresentou mais viável em termos econômicos, de complexidade de execução e que afete da menor forma possível a população já residente no local.

2.4.1. Retaludamento

A primeira análise realizada deu-se pela alteração da geometria do talude, simulando um processo de retaludamento. Nesse processo foi alterada a geometria do taludes, com redução da inclinação e consequente aumento progressivo da base e verificaram-se os coeficientes de segurança da superfície crítica para as diferentes dimensões. A análise foi realizada por meio da ferramenta SLOPE/W do pacote da Geostudio, em sua versão estudante.

2.4.2. Muro de gravidade com gabiões

A segunda solução analisada foi a construção de um muro de gravidade utilizando gabiões. Nesse caso foram analisadas as condições de segurança ao tombamento, deslizamento, perda da capacidade de suporte do solo e ruptura global. Essa análise foi realizada através do software GAWAC 3.0. O software utiliza como base as teorias do Equilíbrio Limite, de Rankine e Coulomb.

2.4.3. Muro de gravidade com concreto ciclópico

A solução com concreto ciclópico considerou as verificações de segurança ao tombamento, deslizamento e perda da capacidade de suporte do solo. Inicialmente, foram adotadas as dimensões e a geometria e depois verificaram-se os coeficientes de segurança. A geometria adotada foi a que atendeu todos os fatores de segurança.

3. RESULTADOS

3.1. Retaludamento

Procedeu-se a avaliação do retaludamento aumentando o comprimento da base do talude de 1 em 1 m. Com os resultados encontrados dos coeficientes de segurança referentes a superfícies críticas (Figura 3(a)), observa-se que esse processo é inviável, visto que com um aumento total de 16 metros da base do talude (Figura 3(b)) se alcançou apenas um Fator de Segurança menor que 0,70 na superfície crítica. Deste modo, essa solução não pode ser utilizada por não apresentar estabilidade, dentro do cenário e parâmetros obtidos por Sousa (2020). Ainda é relevante salientar que uma eventual ruptura do talude analisado causaria danos a residências próximas.

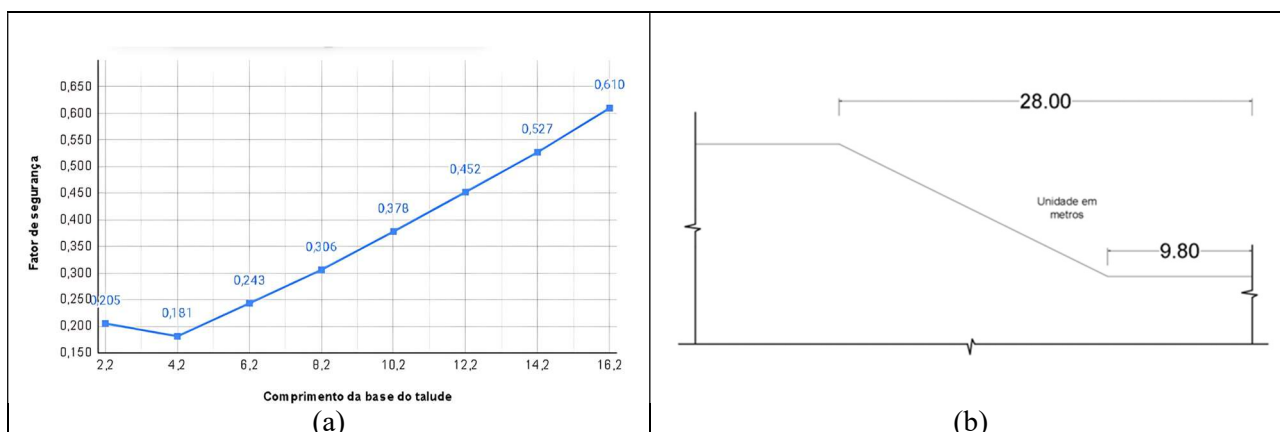


Figura 3. Talude: (a) Coeficientes de segurança das superfícies críticas. (b) Geometria do talude estudado com aumento de 16 metros na base.

3.2. Muro de gravidade com gabiões

A Figura 4(a) apresenta a solução em muro de gravidade com gabiões adotada. A geometria da Figura 4(b) foi adicionada no terreno com uma inclinação de 6° em sua base, mesma inclinação utilizada por Endlich (2019). O objetivo da adição da inclinação no sentido de montante é aumentar a resistência da estrutura.

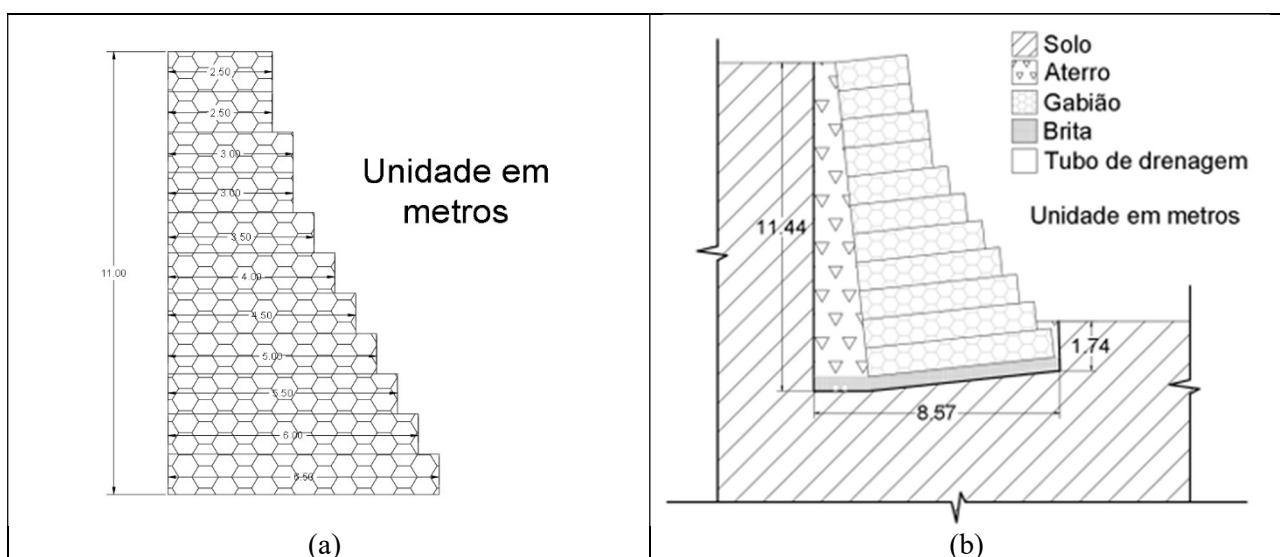


Figura 4. (a) Geometria do muro de arrimo em gabiões, (b) Muro de arrimo de gravidade com gabiões.

Ao que se refere às verificações, na Tabela 2, foi observado que o ponto crítico na análise se deu em função da estabilidade global do talude, pois foi a verificação que possuiu o menor fator de segurança. Dessa forma, as outras verificações ficaram com fatores de segurança acima do mínimo para que fosse obtido um coeficiente de segurança adequado no cisalhamento global.

Tabela 2. Resultados com muro de arrimo em gabião.

Verificação	Fator de segurança mínimo	Fator de Segurança
Deslizamento	1,50	2,21
Tombamento	1,50	5,09
Perda da capacidade de suporte	3,00	4,51
Cisalhamento global	1,50	1,59

3.3. Muro de gravidade de concreto ciclópico

O processo iterativo de dimensionamento do muro de gravidade de concreto ciclópico obteve como resultado otimizado a seção apresentada na Figura 5. A Tabela 3 apresenta os fatores de segurança para as diferentes condições de estabilidade analisadas.

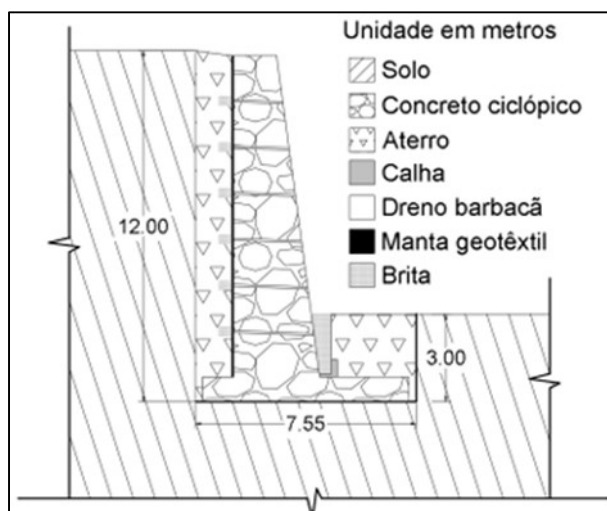


Figura 5. Geometria adotada para o muro de concreto ciclópico

Tabela 3. Valores dos fatores de segurança obtidos.

Parâmetro	Fator de segurança mínimo	Fator de segurança
FS (tombamento)	1,50	3,17
FS (deslizamento)	1,50	2,07
FS (capacidade de suporte)	3,00	3,02

3.4. Comparativo das soluções adotadas

Das soluções adotadas a com concreto ciclópico apresentou uma maior quantidade de itens que são necessários para sua execução, porém ainda ostentou um custo mais baixo do que a solução com gabiões. O principal motivo para esse fato se deu por, apesar do muro de gabiões necessitar de menos itens, os gabiões em si possuem um custo consideravelmente elevado. A Figura 6(a) mostra os volumes dos muros com concreto ciclópico e com gabiões, que foram, respectivamente, 453,90 m³ e 690,00 m³. Esses volumes foram necessários para a execução do muro ao longo do terreno modelo. Além disso, em termos de metro linear, os muros apresentaram, respectivamente, volumes de 30,26 m³ e 46 m³. Assim o volume para a solução em gabiões foi

1,52 vezes maior que o volume para a solução em concreto ciclópico. A Figura 6 mostra o comparativo entre (a) volume dos muros (b)% da área do terreno ocupada pela solução.

Com base no terreno modelo apresentado na Figura 1 foi verificada a porcentagem de utilização do terreno para cada uma das soluções adotadas, conforme apresentado na Figura 6(b). As utilizações do terreno para as soluções com concreto ciclópico e gabiões foram de, respectivamente, 26,96% e 30,43%. Dessa forma, a solução em gabiões ocupou 3,45% a mais o terreno modelo.

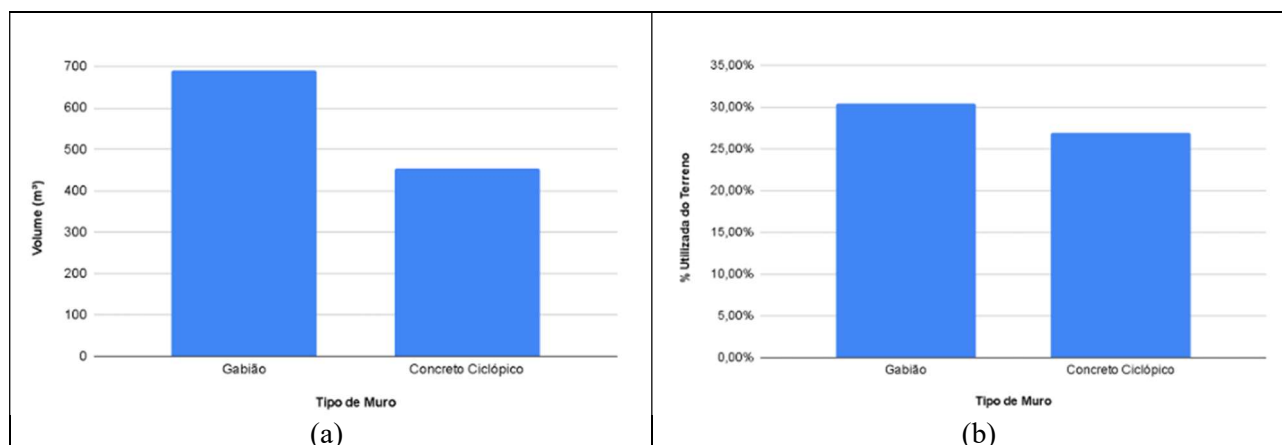


Figura 6. (a) Volumes dos muros, (b) Utilização do terreno.

Por fim, a Figura 7 mostra graficamente a grande diferença de custo para execução das soluções abordadas. A solução com gabiões foi orçada R\$ 676.178,22, sendo 2,09 vezes mais onerosa que a solução com concreto ciclópico, que foi orçada em 322.910,69.

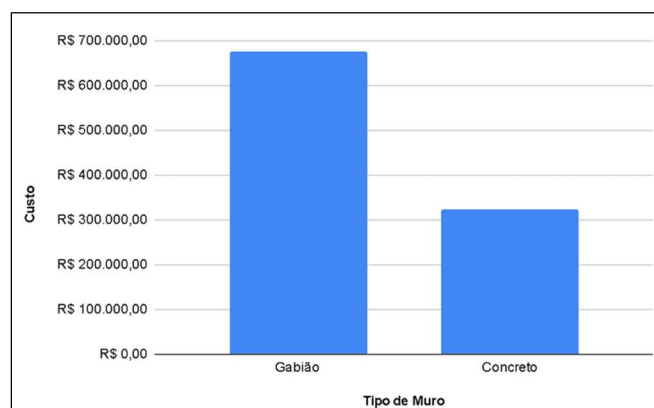


Figura 7. Custos de cada solução.

Conforme apresentado na Figura 6(a), Figura 6(b) e Figura 7, o muro em concreto ciclópico apresentou um menor volume, utilização do terreno e orçamento. Nesse sentido, observa-se que essa foi a solução mais viável, destacando-se a diferença de custo para a solução com gabiões, que apresentou um valor 2,09 vezes maior do que a solução com concreto ciclópico.

4. CONCLUSÕES

Diante dos riscos à população causados pela instabilidade do talude, foram avaliadas alternativas como a mudança de geometria e a construção de muros de contenção. A alteração geométrica mostrou-se inviável, pois mesmo com o alargamento da base em 16 metros, o fator de segurança permaneceu abaixo de 0,61.

Foram então analisados muros de gravidade em gabiões e em concreto ciclópico. Embora o muro de gabiões apresentasse volume 1,52 vezes maior, a ocupação do terreno foi semelhante entre as soluções (30,43% para gabiões e 26,96% para concreto ciclópico). A diferença de volume concentrou-se na altura, não na base.

Quanto aos custos, os gabiões foram significativamente mais caros: R\$ 676.178,22 contra R\$

322.910,69 do muro em concreto ciclópico. Este último apresentou menor volume, menor custo e melhor desempenho estrutural, configurando-se como a alternativa tecnicamente mais viável.

Além dos aspectos técnicos e econômicos, destaca-se ainda a relevância socioeconômica da solução escolhida. O muro em concreto ciclópico possibilita execução relativamente simples, com menor demanda de mão de obra especializada e facilidade de adaptação às condições locais, o que favorece a empregabilidade de trabalhadores da própria comunidade. Além disso, por exigir menor área de implantação, reduz a necessidade de desapropriações ou deslocamento de moradores, minimizando conflitos sociais e impactos negativos sobre famílias em situação de vulnerabilidade.

Assim, a adoção do muro de concreto ciclópico não apenas atende aos requisitos de estabilidade e custo-benefício, mas também se apresenta como uma alternativa socialmente inclusiva e compatível com a realidade de áreas urbanas ocupadas no semiárido nordestino, promovendo maior segurança e qualidade de vida à população local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, B. H. B; Lima, D. A; Lira, B.; Santos Júnior, O. F. (2024) Mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massas na área urbana de Areia-PB. *Revista de geociências do nordeste*, v. 10, p. 1-18.
- Assis Dias, M. C; Saito, S.M; Alvalá, R. C. S; Stenner, C; Pinho, G; Nobre, C. A; Fonseca, M.R.S; Santos, C; Amadaeu, P; Silva, D; Lima, C.O; Ribeiro, J; Nascimento, F; Corrêa, C.O. (2018) Estimation of exposed population to landslides and floods risk areas in brazil, on an intra-urban scale. *International journal of disaster risk reduction*, v. 31, n. April, p. 449–459.
- Costa, O. Da S. (2012) *A ocupação urbana nas encostas do balneário “o quebra” - Areia - PB*. Trabalho de conclusão de curso – departamento de geografia, Universidade Estadual da Paraíba, Paraíba.
- Elldorf, B.; Melo, R.C. (2015) *Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Inundações e Movimentos de Massa: Areia—PB*; Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Departamento de Gestão Territorial: Brasília, Brasil.
- Endlich, A. O.; Da Silva, M. A. (2019) Utilização de muro de gabião para contenção de encostas. *Episteme transversalis*, v. 10, n. 3.
- Ferlisi, S. & de Chiara, G. *Risk analysis for rainfall-induced slope instabilities in coarse grained soils: practice and perspectives in Italy*. In: aversa, s., cascini, f., picarelli, l., scavia, c. (org.). (2016). *Landslides and engineered slopes. Experience, theory and practice*, pp.137-154.
- Gerscovich, D. M. S. (2010) *Estruturas de contenção*. UERJ. Disponível em: <https://ecivilufes.files.wordpress.com/2012/11/empuxos-de-terra-1.pdf>. Acesso em: 06 de mar de 2024.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2021) *Cidades e Estados*. IBGE. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pb/areia.html>. Acesso em: 06 de mar de 2024.
- Lira, B. S; dos Santos Junior, O. F; De Freitas Neto, O.; Sousa, M. N. M. (2024) Evaluation of the effects of rainwater infiltration on slope instability mechanisms. *Sustainability*, v. 16, p. 9530.
- Oliveira Júnior, J. M.; Silvani, C. (2021) Análise da resistência do solo de áreas com risco de deslizamento no município de Areia – PB. In: Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Campina Grande, XVIII, Campina Grande. *Anais...* UFCG, p. 1 – 19.
- Sousa, M. N. M. *Caracterização geotécnica dos solos de áreas de risco do município de Areia – PB*. 2020. Dissertação (mestrado em engenharia civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2020.