

Soluções para Estabilidade de Taludes em Comunidades Vulneráveis: A Engenharia Geotécnica como Ferramenta Social

Murillo Vinícius Bednarczuk

Discente de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, murillobednarczuk@ufpr.br

Raphael Ribas Cramer de Moraes

Discente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, raphael.cramer@ufpr.br

Vitória Becker de Toledo Piza

Discente de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, vitoria.becker@ufpr.br

Lucas Oliveira de Moraes

Discente de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, lucasmoraes@ufpr.br

Roberta Bomfim Boszczowski

Docente do Departamento de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, roberta.bomfim@ufpr.br

RESUMO: A presença de comunidades em áreas suscetíveis à instabilidade de taludes aumenta a exposição a deslizamentos e processos erosivos, especialmente em regiões de ocupação irregular onde o risco já era pré-existente. Neste contexto, a engenharia geotécnica aplicada no ambiente acadêmico pode contribuir para a compreensão dos processos de instabilidade e auxiliar na definição de diretrizes para mitigação de riscos em áreas vulneráveis. A metodologia incluiu levantamentos de campo na área estudada, onde se identificou um quadro de instabilidade afetando edificações já inseridas na face suscetível ao deslizamento. Sem a possibilidade de coletas diretas de solo devido à precariedade do terreno, a análise baseou-se em observações de campo e retroanálises. A avaliação do risco foi realizada considerando a ameaça associada aos mecanismos potenciais de ruptura e a vulnerabilidade das edificações expostas, analisando fatores como tipologia construtiva e impacto social na comunidade afetada. A partir dessa abordagem, foram discutidas diferentes estratégias para mitigação do risco, considerando critérios de viabilidade técnica e socioeconômica. O estudo também reforça o papel da universidade no desenvolvimento de soluções acessíveis, demonstrando como a engenharia geotécnica pode atuar como ferramenta social na melhoria das condições de segurança e estabilidade em áreas vulneráveis.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilidade de Taludes, Engenharia Geotécnica Social, Comunidades Vulneráveis, Mitigação de Riscos, Vulnerabilidade Social.

ABSTRACT: The presence of communities in areas susceptible to slope instability increases exposure to landslides and erosional processes, especially in regions of irregular occupation where the risk was pre-existing. In this context, geotechnical engineering applied in an academic environment can contribute to the understanding of instability processes and assist in defining guidelines for risk mitigation in vulnerable areas. The methodology included field surveys in the studied area, where a situation of instability affecting buildings already located on the landslide-susceptible slope was identified. Without the possibility of direct soil sampling due to the precariousness of the terrain, the analysis was based on field observations and back-analyses. The risk assessment was carried out considering the threat associated with potential failure mechanisms and the vulnerability of the exposed buildings, analyzing factors such as construction typology and social impact on the affected community. Based on this approach, different strategies for risk mitigation were discussed, considering technical and socioeconomic viability criteria. The study also reinforces the university's role in developing accessible solutions, demonstrating how geotechnical engineering can act as a social tool in improving safety and stability conditions in vulnerable areas.



KEYWORDS: Slope Stability, Social Geotechnical Engineering, Vulnerable Communities, Risk Mitigation, Social Vulnerability.

1 INTRODUÇÃO

Os deslizamentos de terra estão entre os processos geodinâmicos que mais provocam perdas humanas e materiais no Brasil. De acordo com o Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2014), centenas de municípios apresentam áreas de risco mapeadas, muitas delas associadas à combinação de encostas íngremes, solos instáveis e intensa pluviosidade. A estabilidade dessas encostas, conforme destacado por Terzaghi, Peck & Mesri (1996), resulta de um delicado equilíbrio entre fatores geológicos, hidrológicos e antrópicos.

Contudo, esse equilíbrio se rompe com frequência em áreas de ocupação urbana informal, onde a ausência de planejamento urbano e de políticas habitacionais empurra populações vulneráveis para zonas de risco, como margens de rios e taludes naturais. Essa dinâmica, além de agravar o risco geotécnico, transforma um problema técnico em uma questão social e territorial, como aponta Lefebvre (2001): a ocupação precária reflete uma violação ao “direito à cidade”, ao negar acesso equitativo à moradia segura e à infraestrutura urbana. É nesse contexto que a engenharia geotécnica, tradicionalmente vinculada a grandes obras, precisa se reconfigurar como ferramenta de transformação social. O presente estudo foi desenvolvido no âmbito do projeto de extensão GeoProjetos Sociais, iniciativa vinculada ao programa de extensão Grupo de Estudos em Geotecnia (GEGEO) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), que visa oferecer assistência técnica gratuita a comunidades em situação de vulnerabilidade, ao mesmo tempo que promove a formação crítica de estudantes e futuros engenheiros.

A comunidade Portelinha, situada em Curitiba/PR, foi o cenário analisado neste trabalho. Trata-se de uma área de ocupação informal instalada sobre uma encosta com sinais evidentes de instabilidade, onde edificações já apresentavam trincas, recalques e risco de colapso. Diante da impossibilidade de realizar ensaios convencionais de campo e laboratório, adotou-se uma metodologia adaptativa, fundamentada em observações diretas, levantamentos topográficos com aerofotogrametria e retroanálises de estabilidade com base em dados da literatura. Inspirado na pedagogia crítica de Paulo Freire (1979), este trabalho não buscou transferir decisões técnicas à comunidade, mas sim desenvolver soluções a partir da escuta ativa de sua realidade material. Ao respeitar os limites estruturais e sociais do território, a engenharia assume aqui um papel ético e propositivo, atuando não como imposição técnica, mas como práxis transformadora: uma ferramenta para garantir permanência segura, dignidade habitacional e justiça territorial.

2 METODOLOGIA

A metodologia adotada seguiu uma abordagem qualitativa adaptada ao contexto de risco em área de ocupação informal, conforme diretrizes do Ministério das Cidades (2007). Diante da impossibilidade de realizar investigações geotécnicas convencionais, as análises foram conduzidas com base em observações de campo, levantamento topográfico por aerofotogrametria, retroanálise com parâmetros estimados da literatura e avaliação da viabilidade técnica e social das soluções propostas.

2.1 Levantamento e Caracterização da Área

A área de estudo corresponde à comunidade conhecida como Portelinha, situada na região sul do município de Curitiba/PR, em uma faixa de transição entre áreas urbanizadas e o leito de um curso d'água. A Figura 1 apresenta a vulnerabilidade de algumas residências da área de estudo e a Figura 2 o mapa de localização da comunidade e limite da área de estudo. A ocupação é marcada por construções informais, sobre aterros de materiais diversos sem compactação e com forte declividade. Os dados iniciais foram obtidos por meio de visitas técnicas realizadas por equipes de alunos e professores orientadores do GEGEO. Foram realizados registros fotográficos, identificação de processos e vulnerabilidades e coletados relatos dos

moradores, que permitiram compreender não apenas as condições físicas do solo e da encosta, mas também aspectos do histórico de instabilidade e impactos sociais associados.

A análise preliminar indicou declividades acentuadas e presença de um aterro (com camadas de entulho, isopor e resíduos), ausência de sistemas de drenagem superficial, além de muros improvisados e recalques visíveis nas edificações. A base topográfica do estudo foi obtida por meio de um levantamento aerofotogramétrico com drone, as imagens coletadas foram processadas no software Agisoft Metashape para a geração do modelo digital de terreno, e a subsequente análise dos dados e elaboração de mapas foram conduzidas no ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) do programa QGIS.



Figura 1. Local da área de estudo.

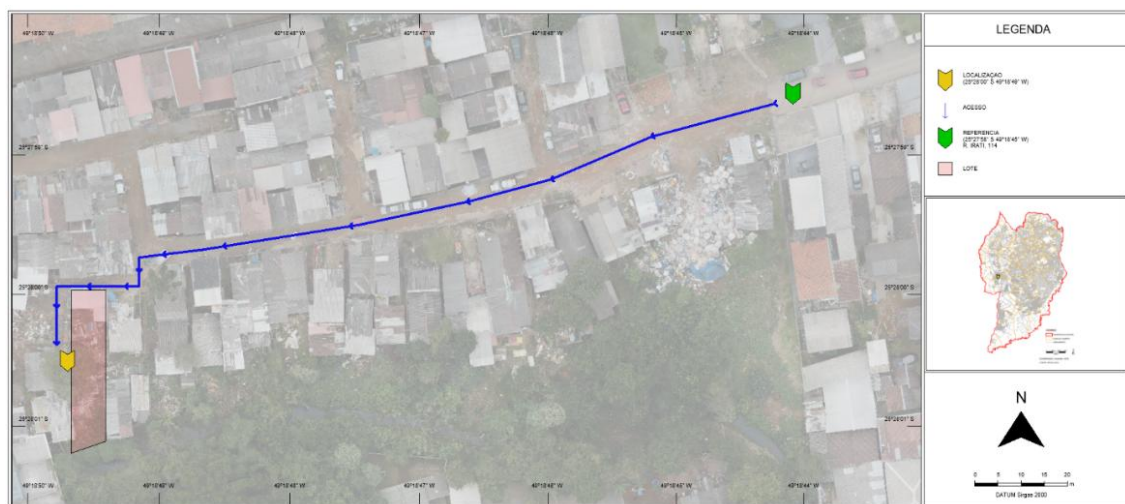


Figura 2. Mapa de localização da comunidade e limites da área de estudo.

2.2 Avaliação do Risco Geotécnico

Com base nas observações de campo e na caracterização apresentada na seção anterior, foi realizada a avaliação do risco geotécnico por meio de abordagem qualitativa, seguindo o referencial metodológico proposto pelo Ministério das Cidades (2007). O risco foi interpretado como a interação entre três componentes principais: ameaça (condições do terreno e mecanismos de ruptura), vulnerabilidade (condição das construções) e exposição (nível de ocupação da área instável). A ameaça foi confirmada pela presença de feições típicas de instabilidade, como escorregamentos superficiais, movimentações recentes e ausência de

medidas de contenção ou drenagem. A vulnerabilidade das edificações foi considerada alta, com construções precárias sobre aterros não compactados, estrutura comprometida e sem fundações contínuas, além da presença de crianças e idosos. Já a exposição se mostrou crítica, pois as moradias encontram-se implantadas diretamente sobre ou imediatamente abaixo das porções mais inclinadas da encosta e com as residências ocupadas em tempo integral. Considerando a manifestação concreta de instabilidade, com danos estruturais e desabamento parcial de elementos construtivos, a situação foi classificada como de risco alto. Esta classificação fundamentou a adoção de estratégias emergenciais de mitigação, priorizando medidas corretivas de estabilização e drenagem.

2.3 Retroanálise e Modelagem da Estabilidade

Considerando o caráter emergencial e as restrições do local, que impediram a realização de sondagens ou ensaios laboratoriais para a caracterização detalhada dos solos, optou-se pela metodologia de retroanálise. O procedimento foi conduzido com base na geometria do talude obtida pelo levantamento aerofotogramétrico, considerando a seção crítica onde se verificou o colapso parcial de uma moradia (Figura 3). O objetivo foi calibrar os parâmetros de resistência dos materiais para reproduzir a condição de campo, ou seja, atingir um Fator de Segurança (FS) próximo a 1,0, valor que representa o equilíbrio limite do maciço, ou a iminência de ruptura, segundo a ABNT NBR 11682 (2009).

Para o colúvio, em condição não drenada devido à proximidade do nível d'água, foram adotados $\phi = 0^\circ$, $c_u = 20 \text{ kPa}$, $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ e $\gamma_{\text{sat}} = 19 \text{ kN/m}^3$. Para o aterro, identificado em campo como material de baixa qualidade, com presença de entulho e baixa compactidade, adotaram-se parâmetros drenados representativos: $c' = 5 \text{ kPa}$, $\phi' = 16^\circ$, $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ e $\gamma_{\text{sat}} = 20 \text{ kN/m}^3$. No coroamento do talude foi aplicada uma sobrecarga de $3,0 \text{ kN/m}^2$, representando o peso da moradia de madeira existente no local.

A modelagem da estabilidade (Figura 4) foi realizada com o auxílio do software *Slide2*, da Rocscience, utilizando o método de Morgenstern-Price (1965) e admitindo ruptura não circular, coerente e ajustada de modo a reproduzir a instabilidade observada na área. Nessa configuração, obteve-se um fator de segurança próximo a 1,0, o que confirma a condição crítica de equilíbrio e valida a compatibilidade entre os parâmetros assumidos e o comportamento observado.



Figura 3. Mapa de localização ampliado com a seção utilizada para a retroanálise.

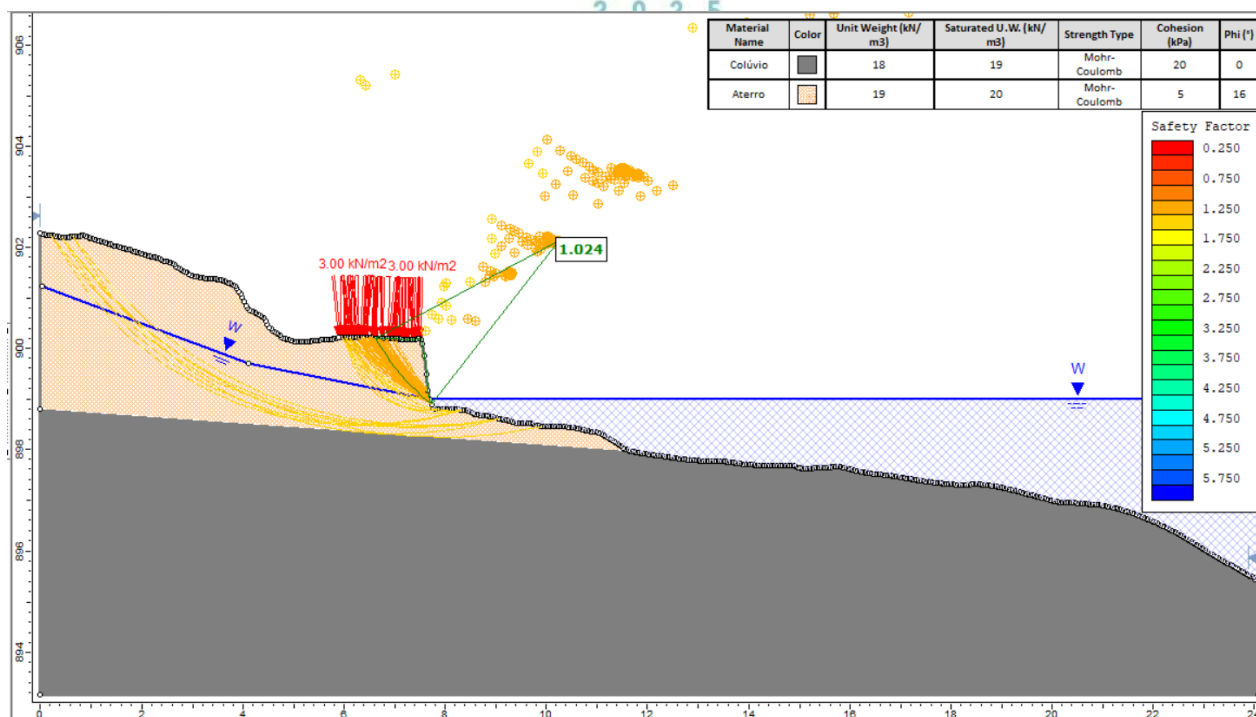


Figura 4. Modelagem da retroanálise na situação crítica do talude.

3 SOLUÇÕES PROPOSTAS E DISCUSSÃO TÉCNICA-SOCIAL

A definição das alternativas de contenção foi orientada não apenas pelos aspectos geotécnicos diagnosticados, mas também pelas restrições físicas e socioeconômicas observadas no local. A encosta em questão apresentava não só elevada declividade e sinais de instabilidade, como também uma condição de ocupação informal, com moradias implantadas diretamente sobre aterros sem compactação, estruturas em madeira sem fundação contínua e ausência de qualquer sistema de drenagem ou contenção. Diante desse quadro, soluções convencionais, como cortinas atirantadas ou muros de concreto armado com fundações profundas, mostraram-se impraticáveis, tanto pelas limitações técnicas (espaço de implantação, sobrecargas adjacentes, acesso difícil) quanto pela inviabilidade econômica e operacional para os moradores.

Assim, optou-se por alternativas adaptadas ao contexto da comunidade: o muro de blocos de concreto grauteado, com maior robustez e aplicável em pontos críticos com sobrecarga mais elevada, e o muro de sacaria de solo-cimento, indicado para trechos em que a execução manual e o baixo custo eram determinantes. O dimensionamento dessas soluções buscou atender ao Fator de Segurança global mínimo de 1,5, conforme preconiza a ABNT NBR 11682 (2009) para taludes de obras permanentes. Dessa forma, a análise e a classificação do risco permitiram verificar a adequação técnica e a compatibilidade prática de cada alternativa frente às condições críticas da área.

3.1 Muro de Blocos de Concreto Grauteado

O muro de blocos grauteado foi projetado como uma solução de maior robustez estrutural, recomendada para os trechos da encosta com maior sobrecarga e risco de movimentação profunda. A estrutura de gravidade foi dimensionada com blocos estruturais grauteados internamente (Figura 5), assentados sobre base com lastro de brita, e integrados a um sistema de drenagem composto por canaletas e barbacãs a cada metro linear. Nas análises realizadas por meio dos softwares RSWall e Slide2, ambos da Rocscience, a estrutura apresentou fatores de segurança superiores aos mínimos exigidos pela norma técnica:

- Tombamento: 3,11
- Deslizamento: 2,61
- Capacidade de carga da fundação: 6,02
- Estabilidade global: 1,56

A alternativa se mostrou especialmente indicada para trechos em que a proximidade com edificações impunha risco elevado e impossibilitava soluções com menor seção transversal. No entanto, seu custo mais elevado, a necessidade de controle de prumo e grauteamento, e a exigência de transporte de materiais mais pesados, são fatores que restringem sua aplicação a setores pontuais com suporte técnico-acadêmico contínuo.

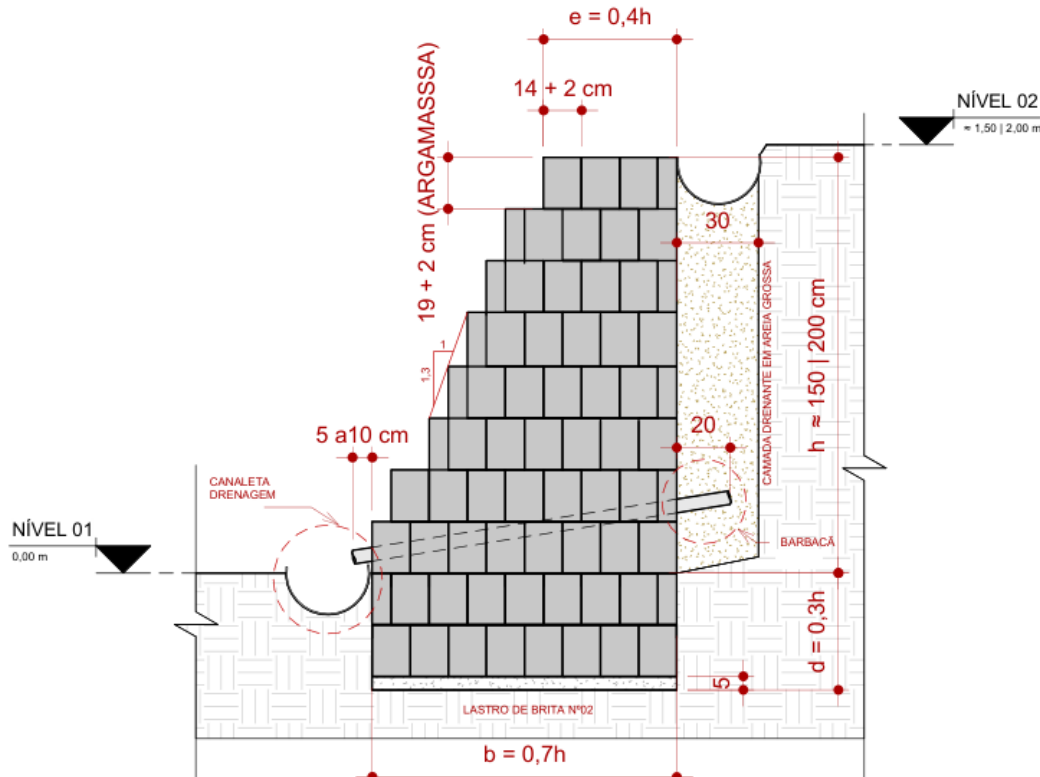


Figura 5. Detalhes construtivos da solução de muro de blocos de concreto grauteado.

3.2 Muro de Solo-cimento

A segunda alternativa consistiu em uma solução de contenção de baixo custo, executada com sacos de rafia preenchidos com mistura solo-cimento (Figura 6). A estrutura, empilhada manualmente e assentada diretamente sobre base nivelada com brita, apresenta comportamento de muro de gravidade intertravado e depende diretamente da integridade da sacaria e da boa execução do sistema de drenagem. Nas simulações com os mesmos softwares da solução anterior, os fatores de segurança obtidos foram:

- Tombamento: 2,89
- Deslizamento: 2,15
- Capacidade de carga da fundação: 6,78
- Estabilidade global: 1,53

A alternativa apresenta vantagens importantes como o uso de solo local, mão de obra comunitária, logística simplificada e adaptabilidade à geometria do terreno, fatores decisivos para aplicação em trechos mais extensos ou em áreas sem apoio técnico constante. Por outro lado, destaca-se a limitação de durabilidade da estrutura, especialmente se a drenagem não for corretamente mantida, além da sensibilidade a impactos e intempéries ao longo do tempo. O uso dessa solução exige maior comprometimento com a manutenção comunitária, o que pode ser desafiador dependendo do grau de organização local.

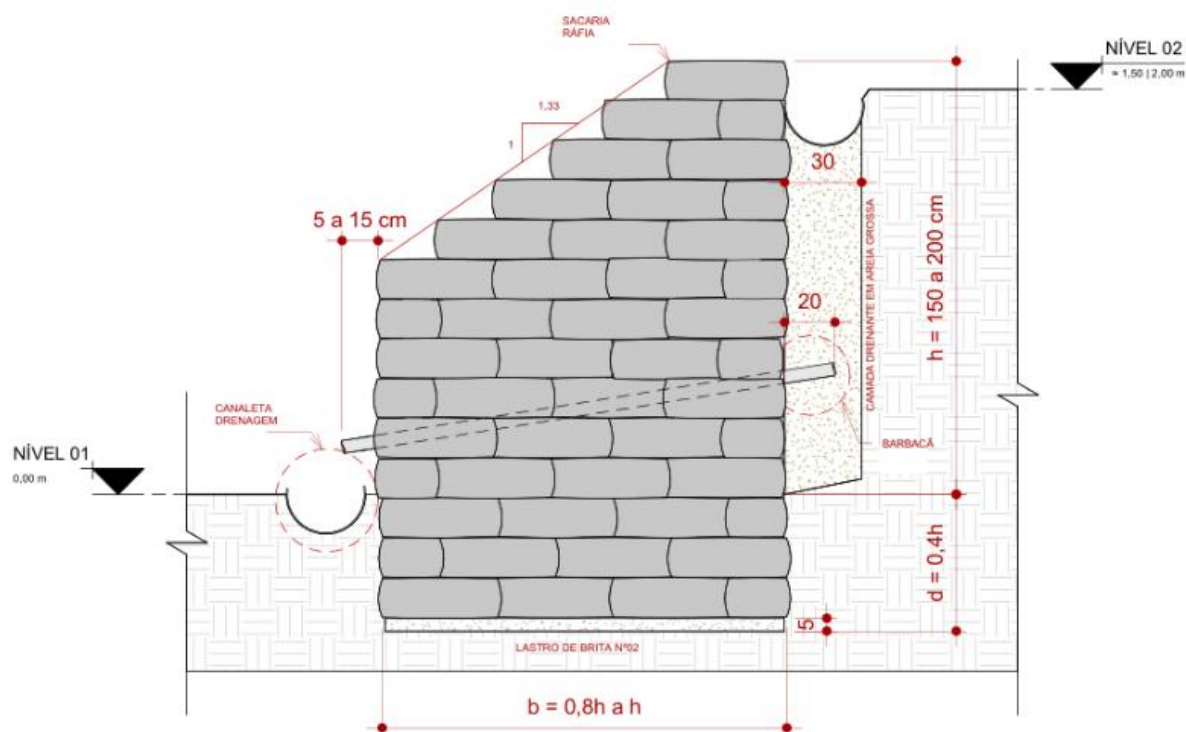


Figura 6. Detalhes construtivos da solução de muro de solo-cimento.

4 CONCLUSÃO

A análise realizada evidenciou um cenário de instabilidade crítica em área de ocupação informal, onde moradias já apresentavam sinais de comprometimento estrutural, como recalques e colapso de anexos. A impossibilidade de coleta de dados diretos foi superada por uma abordagem adaptativa, baseada em observações de campo, aerolevantamento, modelagem simplificada e retroanálise.

A partir dessa análise, foram propostas duas alternativas técnicas viáveis para estabilização do talude, considerando critérios de desempenho estrutural, viabilidade econômica e adequação à realidade da comunidade. As simulações indicaram fatores de segurança satisfatórios para ambas as soluções, permitindo sua aplicação conforme a viabilidade técnica ou econômica.

As soluções foram desenvolvidas no contexto acadêmico, como suporte técnico para futuras intervenções. Sua implementação prática dependerá da articulação com políticas públicas, apoio institucional ou mobilização comunitária. Mais do que resolver um problema pontual de contenção, este trabalho contribui para a reflexão sobre a atuação da engenharia geotécnica em territórios socialmente vulneráveis, nos quais o risco é resultado de processos históricos de exclusão urbana. Nesse sentido, a engenharia se afirmar como instrumento de permanência segura e qualificação do território, desde que orientada por critérios técnicos sólidos, sensibilidade ao contexto social e compromisso ético com a transformação da realidade.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho contou com o suporte da Rocscience Inc., através da cessão do pacote de softwares para fins acadêmicos, em especial os programas Slide2 e RSWall, ferramentas indispensáveis para as análises de estabilidade deste artigo. Os autores são gratos pela colaboração técnica dos professores Ednilson Roberto do Nascimento e Tony Vinícius Moreira Sampaio, da Universidade Federal do Paraná (UFPR), cujo auxílio foi fundamental para a execução do levantamento aerofotogramétrico. O reconhecimento é estendido aos demais membros do projeto de extensão GeoProjetos Sociais, vinculados ao GECEO, pelo apoio essencial nas atividades de campo e pelas valiosas contribuições nas discussões técnicas.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR 11682. *Estabilidade de encostas*. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil (2014). *Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações*. Brasília.
- Duncan, J. M., Wright, S. G. (2005). *Soil Strength and Slope Stability*. John Wiley & Sons, New Jersey, 309 p.
- Freire, P. (1979). *Educação e Mudança*. 5. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra.
- Gerscovich, D. M. S. (2012). *Estabilidade de Taludes*. Rio de Janeiro: Elsevier, 240 p.
- Lefebvre, H. (2001). *O Direito à Cidade*. São Paulo: Centauro.
- Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (2007). *Roteiro Metodológico para Mapeamento de Áreas de Risco em Assentamentos Precários*. Brasília: Secretaria Nacional de Programas Urbanos.
- Moliterno, C. A. (1998). *Encostas Urbanas: Estudo do Comportamento de Soluções com Solo-Cimento*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT.
- Morgenstern, N. R., Price, V. E. (1965). *The analysis of the stability of general slip surfaces*. Géotechnique, 15(1), p. 79–93.
- Terzaghi, K., Peck, R.B., Mesri, G. (1996) *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 3rd ed., John Wiley & Sons, New York, NY, USA, 664 p.