

Estudo de Estabilidade e Proposta de Retaludamento para o Escorregamento do Bairro Vila Isabel em Itajubá-MG

Regiane Vieira Pinto

Mestranda do MPEH, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Brasil, d2021100834@unifei.edu.br

Ana Paula Moni Silva

Professora Associada, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Brasil, anamoni@unifei.edu.br

Nívea Adriana Dias Pons

Professora Titular, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Brasil, npons@unifei.edu.br

Adinele Gomes Guimarães

Professora Associada, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Brasil, adinele@unifei.edu.br

RESUMO: As chuvas estão se tornando cada vez mais intensas e recorrentes, fatores esses que potencializam a ocorrência de movimentos de terra. Portanto, é fundamental o planejamento de estabilização de encostas, juntamente com um sistema de drenagem eficiente, na gestão de riscos de acidentes. Neste contexto, este trabalho tem por objetivo propor uma solução técnica e economicamente viável para a estabilização de um talude, localizado no bairro Vila Isabel da cidade de Itajubá/MG, que sofreu escorregamento. Para a formulação do projeto de estabilização do talude, após a caracterização topográfica do local e identificação dos parâmetros do solo, foram realizadas análises com o auxílio do software Slope/W, avaliando-se os fatores de segurança para diferentes alternativas. A solução pelo retaludamento, que consistiu em alterar a geometria do talude com a intenção de diminuir o momento, apresentou resultados satisfatórios, uma vez que dentre as propostas de redução dos ângulos e escalonamento, foi alcançada uma alternativa com fator de segurança acima do mínimo recomendado nas normas técnicas, considerando o nível de segurança desejável contra perdas humanas e danos materiais e ambientais. Então, um orçamento estimativo para essa solução foi realizado, utilizando-se valores presentes em sistemas de referência de custos de obras e serviços de engenharia.

PALAVRAS-CHAVE: recuperação de taludes; segurança de encostas, estabilização de taludes, retaludamento.

ABSTRACT: Rains are becoming increasingly intense and recurrent, factors that increase the occurrence of earth movements. Therefore, slope stabilization planning, together with an efficient drainage system, is essential in managing accident risks. In this context, this work aims to propose a technically and economically viable solution for the stabilization of a slope, located in the Vila Isabel neighborhood of the city of Itajubá/MG, which suffered landslides. To formulate the slope stabilization project, after the topographic characterization of the site and identification of soil parameters, analyzes were carried out with the aid of the Slope/W software, evaluating the safety factors for different alternatives. The solution through upgrading, which consisted of changing the geometry of the slope with the intention of reducing the moment, presented satisfactory results, since among the proposals for reducing angles and scaling, an alternative was achieved with a safety factor above the recommended minimum. in technical standards, considering the desirable level of safety against human loss and material and environmental damage. Then, an estimated budget for this solution was created, using values present in reference systems for the costs of works and engineering services.

KEYWORDS: slope recovery; slope safety, slope stabilization, resloping.

1 INTRODUÇÃO

As ocorrências de deslizamento de terra estão cada vez mais frequentes em áreas que apresentam um conjunto de fatores favoráveis ao desmoronamento de encosta, como a declividade do terreno, a degradação do solo em decorrência do seu uso e ocupação, alinhados com eventos extremos de chuva. As mudanças climáticas globais vêm causando impactos no ciclo hidrológico, trazendo como consequência o aumento da frequência e da intensidade das precipitações, fatores estes que potencializam o desencadear de desastres naturais catastróficos (GARIANO; GUZZETTI, 2016).

No Brasil, os deslizamentos de terra representam uma das principais causas de perdas humanas, em razão da ocupação desordenada das áreas de encostas suscetíveis a desmoronamento, devido ao rápido crescimento urbano em conjunto com a falta de planejamento adequado (IBGE, 2019). Anualmente, os casos de deslizamentos têm provocado diversos impactos socioambientais e prejuízos econômicos, tais como destruição de edificações e desastres ambientais, caracterizando-se como questão de ordem pública. Por isso é de extrema importância o planejamento de soluções viáveis para estabilização de taludes, que busquem a recuperação das áreas degradadas, bem como a criação de sistemas de gestão de riscos de acidentes. As técnicas de estabilização de taludes podem ser aplicadas na conservação de obras já existentes ou na concepção de obras futuras, como também, na prevenção de acidentes que englobam movimentos de massa (CARVALHO, 1991).

As obras civis são complexas e estão sujeitas a uma série de variáveis, cada uma apresentando cenários únicos e em constante mudança (MATTOS, 2019). Por isso, o planejamento de soluções para a estabilização de taludes requer uma análise cuidadosa das condições impostas pelo ambiente físico, assim como uma avaliação das características geológico-técnicas. Isso permite compreender as variações espaço-temporais que ocorrem em diferentes condições de carga (GUIDICINI; NIEBLE, 1984), fundamentais para a tomada de decisões acertadas quanto aos métodos de estabilização de taludes.

Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar as condições de estabilidade e propor uma solução de estabilização para um talude localizado no bairro Vila Isabel, na cidade de Itajubá-MG, que sofreu movimentação de massa e apresenta risco iminente de desmoronamento, representando uma ameaça à população local.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Talude e o Movimento de Massa

Queiroz (2016) define talude como qualquer superfície inclinada de um terreno natural, escavado ou de aterro, cuja inclinação é expressa por ângulo da superfície inclinada com a horizontal.

Segundo Kazeev; Postoev (2017), o movimento de massa é um processo de mudança no estado de tensão-deformação de um maciço, sob a ação de fatores naturais ou antrópicos, que causa uma separação de massa, mantendo um contato contínuo entre a massa deslizante e o solo subjacente imobilizado. Os autores ainda afirmam que os mecanismos de falha do talude possuem características particulares, com configurações geológicas específicas e variedade de fatores condicionantes, podendo esses processos, serem classificados pelo tipo de materiais envolvidos e pela forma de movimento.

Existem várias propostas de sistema de classificação dos movimentos de massa, nacionais e internacionais, que combinam diferentes características relacionadas ao movimento como a velocidade de deformação, natureza do material, geometria do talude e as condições ambientais (FERNANDES, 2016).

De acordo com Gerscovich (2016), a instabilidade do talude é atingida quando as tensões cisalhantes atuantes (τ_{mob}) se igualam às tensões de resistência ao cisalhamento do solo (τ_f). A relação entre esses dois fatores define um fator de segurança ($FS = \tau_f / \tau_{mob}$) para uma superfície de ruptura. Quanto aos valores de fator de segurança, admite-se que: se $FS > 1$ o talude é considerado estável; para $FS = 1$ o talude está em estado crítico de ruptura e não há significado físico quando $FS < 1$.

Em geral, os taludes naturais apresentam um fator de segurança próximo de 1, pois existe uma tendência natural à peneplanização, ou seja, o solo do talude tende a descer até o nível de sua base, devido a ação da força gravitacional. Sendo assim, uma chuva atípica ou uma pequena intervenção antrópica, podem desencadear um movimento de massa (MASSAD, 2010). A condição de fator de segurança menor que 1 é

induzida por fatores deflagradores de ruptura, que podem causar um aumento das tensões cisalhantes mobilizadas ou a redução da resistência ao cisalhamento do solo (GERSCOVICH, 2016).

2.2 Análise de Estabilidade de Taludes

No Brasil, o estudo de estabilidade de taludes é regulamentado pela norma técnica NBR 11682 (ABNT, 2009). Essa norma estabelece os requisitos que devem ser seguidos para a realização de estudos e controle da estabilidade de encostas, fornecendo orientações específicas para a elaboração de projetos, execução e manutenção de obras ou serviços relacionados.

De acordo com essa norma, um estudo de análise de estabilidade requer a realização de procedimentos preliminares. Isso inclui a investigação detalhada do terreno, que envolve o levantamento das características topográficas, geológicas e geotécnicas do talude. É essencial ressaltar a importância da estratigrafia do perfil, bem como a determinação das propriedades físicas e mecânicas do solo.

Após a conclusão desses estudos detalhados, torna-se possível realizar a análise da estabilidade do talude por meio de diferentes métodos. Esses métodos são selecionados com base nas características específicas do talude em questão e podem incluir análises determinísticas ou probabilísticas, levando em consideração fatores como a geometria do talude, as características do solo e as condições de carga aplicadas.

Seguindo as diretrizes da NBR 11682 (ABNT, 2009), o estudo de estabilidade de taludes visa garantir a segurança e a eficiência das obras e serviços relacionados a encostas, fornecendo uma base sólida para a tomada de decisões e a adoção de medidas adequadas de mitigação de riscos. A norma estabelece valores para fatores de segurança admissíveis, ou seja, o valor mínimo do FS a ser atingido em um projeto, definidos com base nos níveis de segurança para danos materiais e ambientais, associados aos riscos de perdas humanas, que a movimentação de massa do talude pode proporcionar, como resumido na Tabela 1.

Tabela 1. Fatores de segurança mínimo para deslizamentos. Fonte: ABNT (2009).

Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais	Nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	1,5	1,5	1,4
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

Embora existam vários métodos disponíveis, neste estudo foi dado destaque apenas em dois, os quais suas premissas foram descritas a seguir.

2.2.1 Método de Fellenius

Conhecido também como método das fatias, se caracteriza por adotar uma superfície de ruptura circular e dividir o maciço de solo em várias lamelas verticais de igual comprimento horizontal. Este método é bastante simples, decompondo o peso em forças tangenciais e normais em relação à base de cada fatia. O cálculo do fator de segurança é baseado no equilíbrio de momentos em torno do centro do círculo de ruptura, onde as forças são equilibradas na direção perpendicular à superfície.

Pressupõe-se também que não há interação entre as lamelas, o que implica que as resultantes das forças laterais em cada lado das fatias sejam colineares e de magnitude igual, permitindo desconsiderar os efeitos dessas forças. Entretanto, de acordo com Guidicini e Nieble (1984), essa suposição é precisa apenas em superfícies mais planas e em materiais com ângulo de atrito constante.

2.2.2 Método de Morgenstern e Price

O método de Morgenstern e Price se destaca pela sua abordagem mais rigorosa na análise de estabilidade de taludes. Ao contrário de outro método mencionado, ele é aplicável a qualquer superfície de ruptura e atende a todas as condições de equilíbrio de forças e momento. Neste método, o maciço instável é dividido em fatias

infinitesimais, resultando em uma análise mais detalhada que requer o uso de ferramentas computacionais para o processamento dos cálculos.

2.3 Estabilização de Taludes

As técnicas de estabilização de taludes podem ser aplicadas na conservação de obras já existentes ou na concepção de obras futuras, como também, na prevenção de acidentes que englobam movimentos de massa. Inicialmente, as técnicas de estabilização devem ser de caráter preventivo, que buscam resolver a instabilidade em sua fase inicial mediante soluções simples e econômicas, evitando o avanço de problemas mais graves, os quais requerem soluções mais complexas e onerosas (CARVALHO, 1991).

O processo de estabilização pode ser feito por meio de uma simples correção na inclinação dos taludes até o uso de estruturas de concreto protendidas. Portanto as alternativas de projeto deverão sempre partir das soluções mais simples para as mais complexas, conforme fluxograma exposto na Figura 1, evitando a execução de obras desnecessárias (CARVALHO, 1991).

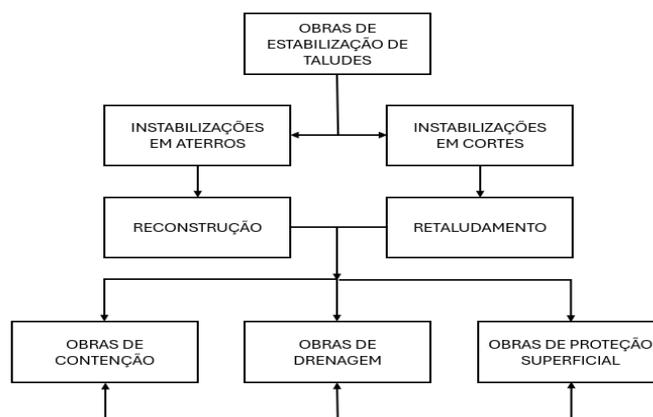


Figura 1. Fluxograma dos tipos de obras de estabilização de taludes. Fonte: Adaptado de Carvalho (1991).

O retaludamento é a técnica de estabilização de talude mais utilizada, por ser um método simplificado, de fácil execução e econômico, justamente por utilizar como material o próprio terreno e não exigir uma mão de obra especializada (GERSCOVICH, 2016). Em geral, o retaludamento é a primeira solução a ser proposta para estabilizar qualquer tipo de solo ou rocha, pois sempre haverá uma geometria do talude que garantirá a sua estabilidade, sob quaisquer condições de solicitação (CARVALHO, 1991).

O retaludamento consiste em alterar a geometria do talude, através de um processo de terraplanagem, visando a redução do ângulo médio da superfície e/ou a redução da altura do talude, alterando o estado de tensões atuantes no maciço (CARVALHO, 1991). A técnica é efetuada por equipamento mecânico apropriado, realizando-se cortes feitos junto à crista do talude, com a intenção de diminuir o momento atuante, e fazendo-se um contrapeso junto ao pé do talude através da execução de bernas (MASSAD, 2010). Os cortes podem ser contínuos, quando a altura do talude for inferior a 5 metros, ou escalonados, em caso de altura superior a 5 metros (ALHEIROS et al., 2004). Quanto à geometria do talude, Caputo (2008) recomenda que a altura do escalonamento esteja entre 9 a 10 m, para que a energia do escoamento seja dissipada.

De acordo com Gerscovich (2013), é necessário associar a técnica de retaludamento a um sistema de drenagem e de proteção superficial, para diminuir a infiltração de águas pluviais, prevenindo assim, os processos de erosão e o aumento da solicitação por sobrepeso.

3 METODOLOGIA

O presente estudo avalia o caso em uma encosta que sofreu movimentação de massa e apresenta risco de desmoronamento, localizada na cidade de Itajubá, em Minas Gerais. Primeiramente, foi realizada uma caracterização da área de estudo, incluindo a análise da topografia, estratigrafia e parametrização do solo. Com base na caracterização do talude, foi modelado o eixo central no programa Slope/W, atribuindo os parâmetros

de resistência retroanalizados para cada camada que compõe o talude. Em seguida, foi feito um diagnóstico das condições atuais de estabilidade, avaliando o fator de segurança crítico.

Neste estudo, foram realizadas análises de estabilidade de talude utilizando métodos determinísticos de equilíbrio-limite amplamente utilizados na geotecnia: o método Morgenstern e Price e o método de Felinius, aplicados para efeito de comparação dos resultados obtidos. Inicialmente, procedeu-se à análise de estabilidade do talude em suas condições atuais, para confirmar a necessidade de obras de estabilização. Posteriormente, para formular uma proposta de estabilização foram propostas diferentes alternativas da técnica de retaludamento. Foram estudadas três variações de inclinações de cortes escalonados, submetendo os perfis modificados à análise de estabilidade, a fim de encontrar uma proposta de atendimento às condições de segurança.

Conforme recomendação da NBR 11.682 (ABNT, 2009), nas análises de estabilidade deste estudo, considerou-se seguro quando o fator de segurança mínimo era superior a 1,4, adotando-se um grau de segurança alto no quesito danos a vidas humanas (área urbana com edificações residenciais) e baixo em danos materiais e ambientais (local próximo a propriedades de valor reduzido e com baixa suscetibilidade a acidentes ambientais).

Para a elaboração do orçamento e cronograma da solução de estabilização, foram utilizadas as planilhas de referência SINAPI (09 /2023) e SETOP (08 /2023) específicas para o estado de Minas Gerais. Essas tabelas fornecem os valores de referência para os diversos serviços de construção civil, considerando os preços praticados no mercado em determinado período, que permite a estimativa dos quantitativos necessários para a execução da obra. É importante ressaltar que foram adotados os valores não desonerados, ou seja, os custos de mão de obra consideram encargos sociais complementares.

3.1 Área de Estudo

A área de estudo trata-se de uma encosta com uma amplitude de aproximadamente 70 metros e uma inclinação variando entre 35 e 50 graus, formada por um espesso solo argiloso vermelho, compactado sobre um solo saprófito fofo e friável derivado de um Ortognaisse porfiroblástico migmatítico. Possui cobertura vegetal predominante de tipo rasteiro e sistema de drenagem de águas pluviais precário e danificado (CPRM, 2014). A encosta sofreu ruptura em uma parte considerável de sua extensão. O plano de ruptura tem aproximadamente 270 metros de comprimento e apresenta um abatimento de cerca de 8 metros em relação ao nível original. Foram identificadas evidências de movimentos gravitacionais no terreno, incluindo trincas, degraus de abatimento, cicatrizes de deslizamento e feições erosivas superficiais em forma de sulcos e ravinas. A Figura 2 apresenta a encosta em suas condições atuais.



Figura 2. Imagem da área de estudo. Fonte: Google Earth (2022).

A encosta anteriormente era utilizada como uma jazida de terras para fins de aterro. Após um período de várias obras de terraplanagem realizadas no local, a encosta começou a apresentar trincas e rupturas devido à perda de sustentação na base removida do talude, juntamente com a ineficácia do sistema de drenagem (CPRM, 2014).

O levantamento topográfico foi utilizado para reproduzir os perfis transversais das seções consideradas mais críticas, correspondentes às rupturas ocorridas na área de estudo, conforme os eixos mostrados na Figura 3. A seção principal corresponde ao eixo central da ruptura do maciço, abrangendo desde a crista da ruptura até a sua base, enquanto as seções secundárias são os eixos traçados nas extremidades laterais da ruptura de referência do maciço. No presente trabalho será dado ênfase ao eixo central para as análises de estabilidade da condição atual e para as alternativas de retaludamento estudadas.

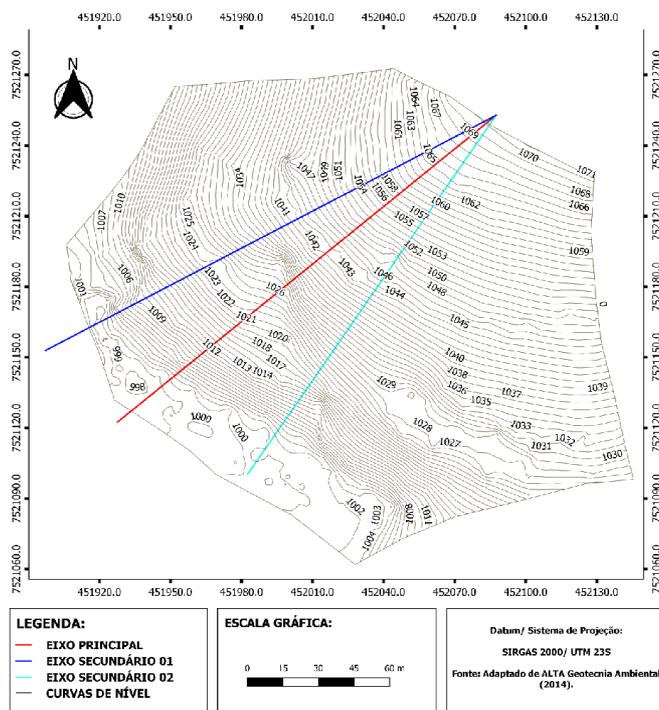


Figura 3. Eixos das seções de estudo. Fonte: Manfredini; Santos (2021).

As informações estratigráficas do talude foram obtidas a partir do relatório de sondagem à percussão SPT (Standard Penetration Test), fornecido pela empresa Alta Geotecnia Ambiental (2014), onde foram analisadas amostras coletadas em nove pontos de investigação, localizadas no entorno do escorregamento, ou seja, na região adjacente ao material colapsado, sem que sejam conduzidas sondagens na área afetada. De acordo com a Alta Geotecnia Ambiental (2014), durante as sondagens e observações de campo, não foi encontrado nenhum nível d'água no interior do maciço.

Manfredini e Santos (2021), realizaram uma interpolação dos pontos de sondagem, identificando assim, um perfil de solo residual com quatro camadas distintas, com resistência crescente conforme aumento da profundidade (Tabela 2)

Tabela 2. Definição das camadas de solo. Fonte: Adaptado de Manfredini e Santos (2021).

Camada	Tipo de Solo	Profundidade (m)	NSPT
Mica	Biotina	0,5	-
Rocha alterada	-	*	-
Solo A	Argila siltosa vermelha	1	≤ 10
Solo B	Transição entre os solos da camada A e C	9	$10 < x \leq 20$
Solo C	Silte-arenoso cinza	10	> 20

*Preenchendo o restante da área

A empresa Alta Geotecnia Ambiental (2014), também determinou, com base nos resultados das sondagens, variáveis como: o peso específico, a coesão do solo e o ângulo de atrito. Entretanto, no ano de 2017, ocorreu um segundo rompimento, tornando tais dados incompatíveis para a realização da análise de estabilidade do cenário atual, principalmente pela quantidade de material mobilizado, referente à porção do

maciço que sofreu o escorregamento parcial. Diante deste contexto, foram utilizados neste estudo os parâmetros readequados por meio de retroanálises de cenários (Tabela 3), trabalho realizado por Manfredini e Santos (2021), tendo como referências as investigações já conhecidas nas investigações.

Tabela 3. Parâmetros retroanalizados. Fonte: Manfredini e Santos (2021).

Camada	Peso específico [kN/m ³]	Coesão [kPa]	Ângulo de atrito [°]
Material mobilizado	16	4	22
Mica	18	4	14
Rocha alterada	23	35	30
Solo A	17	10	15
Solo B	18	15	21
Solo C	20	15	25

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente, o talude foi analisado na sua condição atual, considerando os eventos de escorregamentos sofridos, para a determinação do coeficiente de segurança crítico do eixo principal (seção central), tendo sido realizadas análises pelos métodos de Fellenius e Morgenstern e Price para fins de comparação (Figura 4). Observa-se que ambos os métodos apresentaram fator de segurança muito próximo de 1,00. Isso sugere que estão em equilíbrio limite, porém muito próximo de atingir o estado crítico de ruptura. Destaca-se que as superfícies de ruptura são superficiais, devido às condições da camada de material mobilizado, que teve seus parâmetros de resistência reduzidos durante o evento de movimentação.

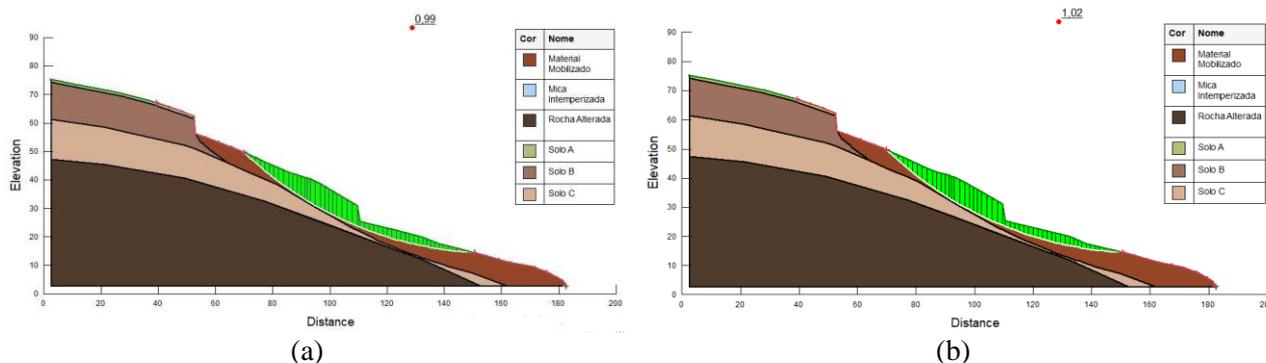


Figura 4. Análise de estabilidade eixo principal pelos métodos de Fellenius (a) e Morgenstern e Price (b).

Diante do cenário encontrado, foi proposto o retaludamento por corte escalonado, alterando a geometria do talude para suavizar sua inclinação e aumentar seu fator de segurança. Foram construídas bermas com largura entre 2 e 4 metros e altura de escalonamento não superior a 10 metros, com o objetivo de controlar a velocidade de escoamento superficial da água. Quanto à inclinação, foram adotadas as proporções entre a distância vertical e a horizontal: 1V:3H, 1V:2H e 2V:3H.

Inicialmente, foi proposto um perfil de retaludamento com uma inclinação na proporção de 2V:3H, com o objetivo de alinhar o escalonamento ao contorno natural do talude, onde a inclinação é praticamente mantida, o que resultaria em menor movimentação de terra, como mostrado na Figura 5(a).

Após a submissão da proposta do novo perfil à análise de estabilidade, foram obtidos fatores de segurança de 0,89 pelo método de Fellenius (Figura 5(b)) e 0,91 pelo método de Mongester Price (Figura 5(c)). Estes valores evidenciam que a estabilidade do talude não foi garantida para esse novo perfil. Além disso, observa-se novamente que a superfície de ruptura está localizada na camada de material mobilizado.

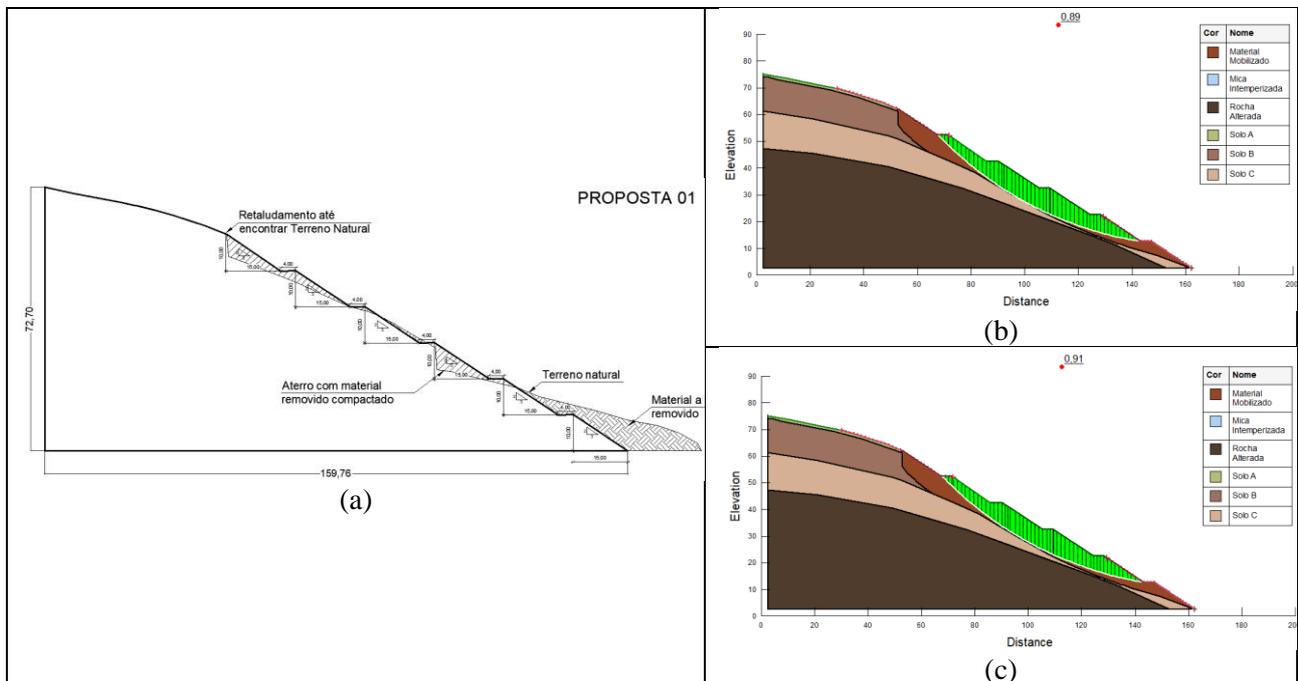


Figura 5. Primeira proposta de retaludamento: perfil dos cortes (a) e análise pelos métodos de Fellenius (b) e Morgenstern e Price (c).

Na segunda proposta, o objetivo foi eliminar completamente a camada de material mobilizado, cujos parâmetros de resistência foram reduzidos durante o episódio de movimentação. Para este novo perfil, foram adotadas declividades intercaladas nas proporções de 1V:3H, 1V:2H e 2V:3H, conforme ilustrado na Figura 6(a). Essa abordagem visa fortalecer a estabilidade do talude ao distribuir de forma mais equilibrada as cargas e reduzir as áreas suscetíveis a rupturas.

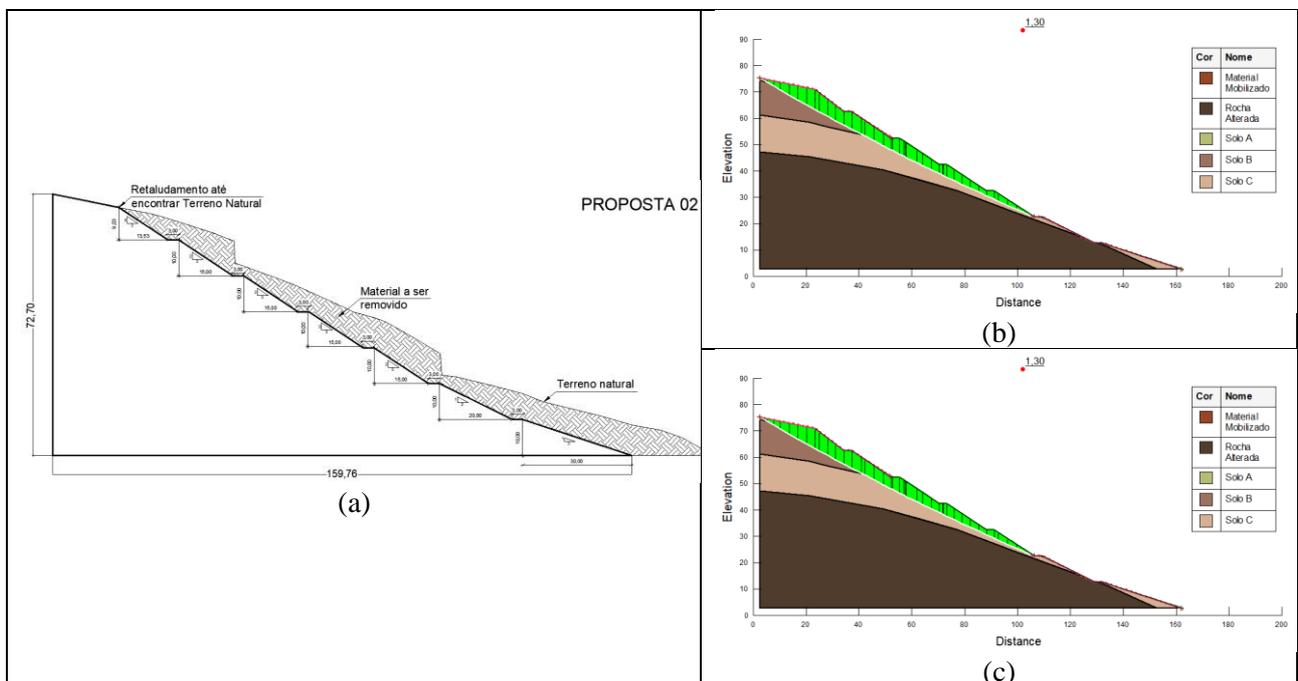


Figura 6. Segunda proposta de retaludamento: perfil dos cortes (a) e análise pelos métodos de Fellenius (b) e Morgenstern e Price (c).

Esta segunda proposta atingiu um fator de segurança de 1,30 para ambos os métodos de análise, um valor superior ao obtido na primeira proposta. No entanto, ainda não alcançou o fator de segurança desejado

de pelo menos 1,4. Como apresentado nas Figuras 6(B) e 6(C), a superfície de ruptura atingiu as camadas dos solos B e C, indicando que a inclinação de 2V:3H não foi adequada para os parâmetros de resistência desses solos. Essa constatação ressalta a importância de uma abordagem mais criteriosa na seleção das declividades do talude, levando em consideração as características específicas das diferentes camadas de solo presentes no talude.

Por fim, na terceira proposta buscou-se um perfil com inclinação mais suave na proporção 1V2H. Conforme Figura 7, essa solução proporciona a remoção de grande quantidade de terra.

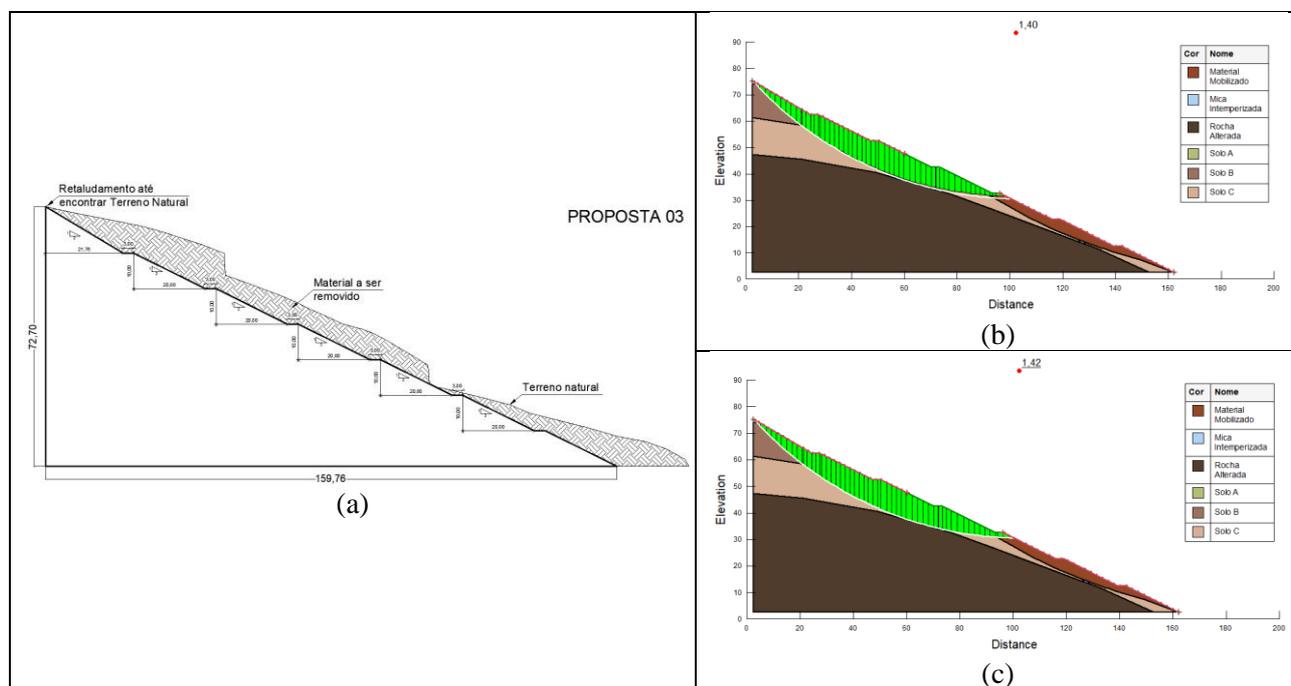


Figura 7. Terceira proposta de retaludamento: perfil dos cortes (a) e análise pelos métodos de Fellenius (b) e Morgenstern e Price (c).

A análise de estabilidade do perfil revelou uma superfície de ruptura com um fator de segurança de 1,40 pelo método de Fellenius (Figura 7(b)) e 1,42 pelo método de Mongester Price (Figura 7(c)). Esses resultados indicam que o retaludamento proposto é adequado para garantir a estabilidade do talude, uma vez que atingiu o fator de segurança mínimo de 1,4 recomendado pela NBR 11682 (ABNT, 2009). Portanto, este perfil foi adotado para a elaboração do projeto básico de recuperação da encosta. Essa decisão é baseada na confiança de que o perfil proposto oferece uma solução segura e eficaz para a estabilização da encosta, levando em consideração os resultados positivos obtidos na análise de estabilidade.

Em seguida, realizou-se o planejamento da terraplenagem para a execução do retaludamento da encosta, operação determinante para o levantamento da quantidade de terra a ser movimentada, na configuração dos taludes de corte e aterro, bem como na determinação das cotas necessárias para a execução das bermas. O cálculo do volume de terra necessário para a terraplenagem foi realizado utilizando uma modelagem tridimensional do terreno para o projeto básico mostrado na Figura 8. Os volumes de terra a serem movimentados nesta etapa estão indicados na Tabela 4. Para o volume de bota fora, considerou-se um aumento de 30% no volume de corte devido ao empolamento do solo.

Tabela 4. Volumes de movimentação de terra.

Volume de corte	128.634,52 m ³
Volume de aterro	22,27 m ³
Volume de bota fora	167.224,52 m ³

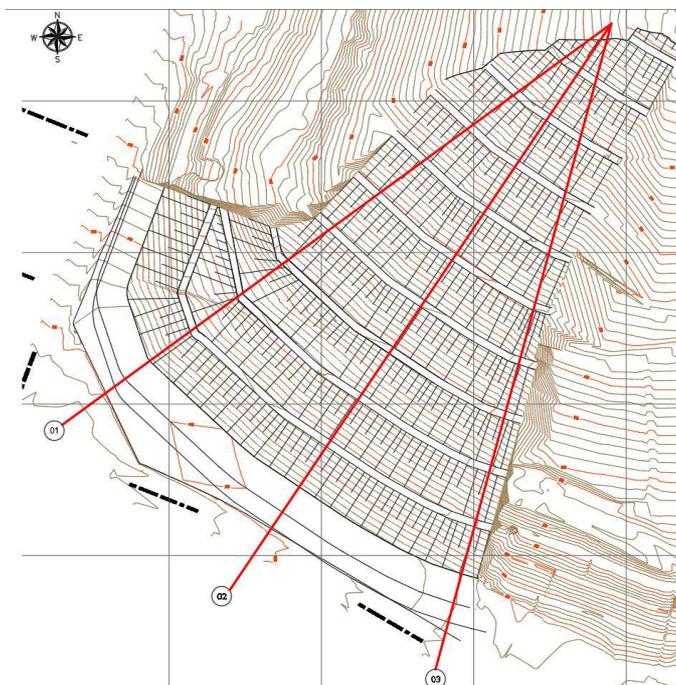


Figura 8. Projeto básico do retaludamento

Após a concepção do projeto básico e o levantamento quantitativo dos materiais necessários para a execução da terraplanagem, procedeu-se à elaboração do orçamento e cronograma para sua realização. Para estimar os custos, foram utilizadas as planilhas de referência da SINAPI e SETOP. As atividades que não estavam contempladas nas planilhas de referência foram montadas por meio da criação de composições específicas. O custo total da terraplanagem ficou em R\$ 13.864.122,05, o qual pode ser realizado em seis meses. Utilizando os coeficientes de produtividade das planilhas de referência, foi possível estimar o custo e o tempo necessário para a realização desta etapa que compõem o projeto, como apresentado na Tabela 5.

Ressalta-se que para a obra ainda devem ser considerados outros serviços, que neste trabalho não estão indicados, tais como: montagem do canteiro de obras, laudo cautelar para as residências circunvizinhas do talude, sistema de drenagem pluvial, arranjo de proteção superficial, limpeza e administração da obra.

Tabela 5. Cronograma físico-financeiro básico da etapa de terraplanagem da obra de recuperação

Etapa	Valor (R\$)	MESES					
		1	2	3	4	5	6
TERRAPLENAGEM	13.864.122,05	10%	15%	15%	15%	20%	20%

5 CONCLUSÃO

Ao realizar análise de estabilidade do talude localizado no bairro Vila Isabel em Itajubá/MG, observou-se que o maciço ainda se encontra em iminência de ruptura, ou seja, o fator de segurança encontrado no mesmo não garante sua estabilidade e segurança conforme valores recomendados pelas normas técnicas. Fato este, que comprova a necessidade do planejamento de técnicas de estabilização do referido talude.

Observada a instabilidade do maciço, o presente trabalho se propôs a encontrar uma solução viável para a estabilização do talude, capaz de evitar ou minimizar uma nova ruptura, garantindo assim, a segurança da população que circunvizinha o talude em questão. Para a formulação da proposta de estabilização do talude, foram realizadas análises da estabilidade através de programa computacional, avaliando-se os valores de fator de segurança de diferentes propostas de retaludamento.

Após estudo de estabilidade, concluiu-se que o retaludamento na proporção 1:2 apresenta um fator de segurança de 1,40, satisfatório segundo os parâmetros estabelecidos pela NBR 11682 (ABNT, 2009), demonstrando assim sua eficácia na estabilização do talude. Com base nessa solução, foi elaborado um projeto

básico de retaludamento, que incluem detalhes como terraplanagem, proteção superficial e um sistema de drenagem superficial eficiente.

Por fim, foi elaborado um orçamento e um cronograma de obra, para o serviço de terraplanagem. Que consiste em realizar uma preparação adequada do terreno, que envolve a remoção das camadas de vegetação e do solo superficial instável. Em seguida, é realizada uma escavação controlada para modelar o talude conforme o projeto desenvolvido com base nos resultados obtidos na análise de estabilidade.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o Mestrado Profissional em Engenharia Hídrica (MPEH), o Instituto de Recursos Naturais (IRN) e a Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALHEIROS et al. Manual de Ocupação dos Morros da Região Metropolitana do Recife. Fundação de Desenvolvimento Municipal – FIDEM. Recife: Ensol, 2004. Disponível em: http://www2.condepefidem.pe.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=f4c9adca-a36a-46f9-b610-e56ef00da3ca&groupId=19941. Acesso em: 19 junho 2022.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11682: estabilidade de encostas: apresentação. Rio de Janeiro, 2009.
- CAPUTO, H. P. Mecânica dos Solos e suas aplicações: Fundamentos. 6. ed. São Paulo: LTC, 2008.
- CARVALHO, P. A. S. Manual de Geotecnia: Taludes de rodovias: orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas. São Paulo: Departamento de Estradas e Rodagens do Estado de São Paulo, Instituto de Pesquisa Tecnológicas, 1991.
- FERNANDES. M. M. Mecânica dos solos: Introdução à Engenharia Geotécnica. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- GARIANO, S. L; GUZZETTI, F. Landslides in a changing climate. Earth-Science Reviews. GEOSTUDIO. Slope/W Slope stability analysis. versão 9.1.1.16749. c2018.
- GERSCOVICH, D. M. S. Estabilidade de taludes. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.
- GERSCOVICH, D. M. S. Estruturas de Contenção: Muros de Arrimo. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 48p. 2013. Disponível em: <http://www.eng.uerj.br/~denise/pdf/muros.pdf>. Acesso em: 21 de junho de 2022.
- GUIDICINI, G.; NIEBLE, M.C. Estabilidade de taludes naturais e de escavação. 2 ed. São Paulo: Editora Blucher, 1984.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Suscetibilidade a deslizamentos do Brasil: primeira aproximação / IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro. 2019. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101684.pdf>. Acesso em: 21 abril 2022.
- KAZEEV, A; POSTOEV, G. Landslide investigations in Russia and the former USSR. Natural hazards, v. 88, n. 1, p. 81-101, 2017.
- MANFREDINI, B. C. O; SANTOS, S.P.G. Análise de estabilidade de talude no bairro Vila Isabel. Monografia (Graduação) - Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Itajubá, 2021.
- MASSAD, F. Obras de Terra: Curso Básico de Geotecnia. 2ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- MATTOS, A. D. Planejamento e controle de obras. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. Orientador: Professor Dr. Alessandro Christopher Morales Kormann. 2019. 147 p.
- QUEIROZ, R. C. Geologia e Geotecnia Básica para Engenharia Civil. São Carlos: RiMa Editora, 2016.