


**SEGURANÇA DAS ENCOSTAS EM SITUAÇÃO DE OCUPAÇÃO ANTRÓPICA:
CRITÉRIOS PARA ANÁLISE E AVALIAÇÃO DE RISCOS GEOLÓGICOS**

**SLOPE SAFETY IN ANTHROPIC OCCUPATION SITUATIONS: CRITERIA FOR
ANALYSIS AND EVALUATION OF GEOLOGICAL RISKS**

**SEGURIDAD DE TALUDES EN SITUACIONES DE OCUPACIÓN ANTRÓPICA:
CRITERIOS DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS GEOLÓGICOS**

 <https://doi.org/10.56238/arev8n1-082>

Data de submissão: 12/12/2025

Data de publicação: 12/01/2026

Henrique Dinis

Doutor

Instituição: Universidade Presbiteriana Mackenzie

E-mail: henrique.dinis@mackenzie.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6886-3767>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2676157952346524>

Alfonso Pappalardo Jr.

Doutor

Instituição: Universidade Presbiteriana Mackenzie

E-mail: alfonso.pappalardo@mackenzie.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7573-2693>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1017005954117580>

Kamila Rodrigues Cassares Seko

Doutora

Instituição: Universidade Presbiteriana Mackenzie

E-mail: kamila.seko@mackenzie.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2110-0516>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1615341791385352>

RESUMO

Riscos geológicos em encostas referem-se, em especial, aos movimentos gravitacionais de massa, que ocorrem a partir do desprendimento de parte do manto de intemperismo que cobre a camada mais superficial das rochas. O material, trata-se de solos residuais e possíveis fragmentos de rocha, que ao se desprender, desliza então pelas vertentes. As causas dos deslizamentos são várias, mas o fenômeno é mais comum diante de chuvas intensas, devido ao efeito da poropressão que atua como subpressão. Os danos causados pelos acidentes geológicos são maiores, em caso de haver ocupação antrópica sobre as vertentes da encosta, em especial, assentamentos habitacionais informais. A verificação da segurança das encostas, quanto a fenômenos gravitacionais, requer processos de engenharia complexos que envolvem parâmetros e informações diversas, muitas vezes cercados de incertezas. Como prática, em caso de possível instabilidade, são estabelecidas intervenções corretivas, que se distinguem como ações extensivas, se aplicadas a casos de riscos baixos a médios, a partir de obras preventivas; ou ações intensivas, aplicadas a casos de risco alto, por meio de obras estruturais. São as obras singulares, estruturais, as que mais requerem análises de engenharia, por serem definidas a partir de processos determinísticos, atendendo tecnicamente a orientações de normas técnicas. Este

trabalho aborda procedimentos padrões utilizados para avaliar a segurança das encostas e de obras que interagem com o solo, em especial, quanto à aplicação dos métodos dos estados limites em serviço e de ruína, identificando as dificuldades e incertezas a que podem levar os resultados.

Palavras-chave: Encostas com Ocupação Antrópica. Segurança das Encostas. Riscos Geológicos.

ABSTRACT

Geological hazards on slopes primarily refer to gravitational mass movements, which involve the detachment of part of the weathering mantle covering the uppermost rock layer. The material—comprising residual soils and possible rock fragments—detaches and subsequently slides down the slope. Landslides have multiple causes, but they occur most frequently during intense rainfall events due to internal forces acting as pore water pressure. The damage caused by such geological events is significantly greater when human occupation exists on the slope, particularly in the form of informal or irregular residential settlements. Assessing slope stability against gravitational phenomena involves complex engineering processes that rely on diverse parameters and data, often subject to significant uncertainties. In practice, when instability is identified, corrective intervention is implemented. These interventions are categorized as: extensive actions, applied to low-to-moderate risk scenarios through preventive measures; or intensive actions, employed in high-risk situations through structural engineering works. Among these, structural (singular) interventions demand the most rigorous engineering analyses, as they are defined by deterministic methods guided by technical standards. This study evaluates the standard methods used to determine the safety of slopes and soil-interacting structures under serviceability and ultimate limit states, highlighting the difficulties and uncertainties that may affect the results.

Keywords: Slopes with Anthropogenic Occupation. Slope Safety. Geological Hazards.

RESUMEN

Los riesgos geológicos en laderas se refieren, especialmente, a los movimientos gravitacionales de masa, que corresponden al desprendimiento de parte del manto de meteorización que cubre la capa más superficial de las rocas. El material —suelos residuales y posibles fragmentos de roca— se desprende y desliza por las vertientes. Las causas de los deslizamientos son múltiples, pero el fenómeno es más frecuente ante lluvias intensas, debido a la acción de fuerzas internas que actúan como supresión. Los daños provocados por los accidentes geológicos son mayores cuando existe ocupación antrópica en la ladera, en particular asentamientos habitacionales irregulares. La verificación de la seguridad de las laderas frente a fenómenos gravitacionales implica procesos de ingeniería complejos que involucran diversos parámetros e informaciones, muchas veces rodeados de incertidumbres. Como práctica habitual, al detectarse inestabilidad se establece intervención correctiva, que se distingue en: acciones extensivas, aplicadas en casos de riesgo bajo a moderado mediante obras preventivas; o acciones intensivas, aplicadas en situaciones de alto riesgo mediante obras estructurales. Son estas últimas —obras estructurales singulares— las que requieren mayores análisis de ingeniería, ya que se definen mediante procesos deterministas orientados por normas técnicas. Este trabajo evalúa los métodos estándar utilizados para determinar la seguridad de las laderas y de las obras que interactúan con el suelo, en los estados límite de servicio y de rotura, identificando las dificultades e incertidumbres que pueden afectar los resultados.

Palabras clave: Laderas con Ocupación Antrópica. Seguridad de Laderas. Riesgos Geológicos.

1 INTRODUÇÃO

Os deslizamentos de terra, erosões e outros fenômenos que caracterizam os movimentos gravitacionais de massa, trata-se de eventos temporais que interagem com vários fatores intervenientes, constituindo-se como parte de um processo natural de transformação e planificação da crosta terrestre. Deve-se ter em conta, por outro lado, que a ocupação da natureza pelo homem ocasiona alterações geomorfológicas ao meio físico, induzindo, muitas vezes, à ocorrência de acidentes geológicos, dentre os vários fenômenos de desestabilização das encostas.

A verificação da segurança das encostas, com relação à ocorrência dos movimentos gravitacionais de massa, pode ser efetuada por vários métodos e técnicas, em sua maioria, processos determinísticos, limitando-se a modelos padrões, que consideram nas análises, a geometria das encostas, sua constituição geológica e eventual influência de pressões de percolação causadas pelo lençol freático. Outros fatores podem interferir nesta análise, dentre os mais usuais, a ocorrência de relevos acidentados, existência de materiais inconsolidados e as condições de proteção natural, como forração vegetal e drenagem superficial. Ao se considerar todos estes fatores, as análises tornam-se mais qualitativas, remetendo-se a referências conceituais ou estatísticas para se atingir resultados aceitáveis, quanto aos níveis de segurança.

Esta questão se torna mais complexa, no entanto, havendo ocupação antrópica. Nestes casos, soma-se à avaliação da estabilidade global das encostas, também a segurança da infraestrutura implantada, que pode vir a ser comprometida por vários fatores, dentre os mais usuais, as deformações do maciço, deslizamentos e erosões, ou outros relacionados à sua ocupação. Para a análise completa da segurança, se faz também necessário, a avaliação de danos materiais e a vidas humanas, mediante a ocorrência, desde pequenos acidentes, até os casos de grandes desastres geológicos. Para as análises, normalmente, são estabelecidos níveis de riscos, que variam segundo o grau de periculosidade, decidindo-se, então, a partir de um diagnóstico, sobre a necessidade e tipos de intervenção a serem adotados.

Em se tratando de ocupação antrópica informal, a complexibilidade das análises é ainda maior, por não haver instrumentos de análise eficazes para as avaliações do contexto geral de sua implantação, em face da grande aleatoriedade na lógica construtiva com que as edificações são assentes. A ocupação das encostas, no país, por edificações de construção precária, é causa de grandes desastres com vítimas fatais, o que leva o poder público a grandes esforços na gestão destas áreas e mitigação dos riscos geológicos. Segundo estatística do CEMADEN (2023), ocorreram no país, mais de 2100 mortes por deslizamentos de encostas entre os anos de 2003 e 2023.

A compreensão das características dos tipos específicos de movimentos gravitacionais de massa, relativamente a uma área de estudo, é de fundamental importância para o planejamento e adoção de ações mitigatórias. Ressalta-se, por exemplo, quando da ocorrência de um deslizamento, que informações sobre a estimativa da velocidade potencial do movimento, o volume de deslocamento da massa que se desprende e a distância a ser percorrida, são de vital importância para estabelecer uma ação mitigatória.

Fundamentalmente, o risco geológico refere-se à possibilidade de ocorrência de um acidente geológico, quando relacionado a um dano associado. Uma vez identificado, cabe avaliar sua intensidade e os danos que poderá causar em sua máxima intensidade. À esta mensuração se estabelece a classificação dos níveis de risco. Os níveis podem variar de baixo a muito alto, sendo baixo, quando suas consequências podem ser mitigadas por medidas preventivas e muito alto, ao se exigir obras estruturais complexas.

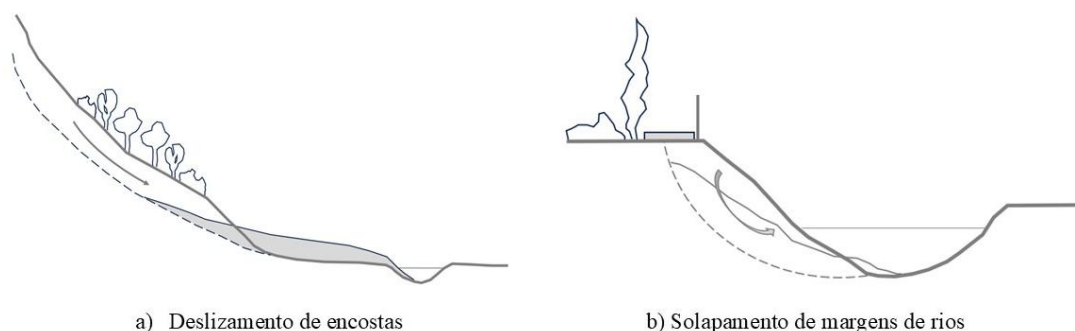
Uma vez classificado o risco, são avaliadas as ações para sua contenção, mitigação ou prevenção. Normalmente, são ações intensivas, aquelas aplicadas em casos de riscos altos, constando de obras estruturais para contenção de taludes, canalização de córregos, reforço de fundações cujas bases sofreram solapamento, dentre outras. A segurança destas obras é avaliada por métodos determinísticos, atendendo a fatores de segurança estabelecidos por normas técnicas. São ações extensivas, frequentes em programas de urbanização de áreas com ocupações informais, consolidadas ou em processo de consolidação, quando prevalecem riscos baixos a médios. Os riscos, no caso, são normalmente mitigados por obras preventivas, visando minimizar o avanço de processos de deslizamento ou erosivos. Podem vir a ocorrer obras corretivas, quando tais processos já se iniciaram, mas passíveis de serem retidos por pequenas intervenções, consistindo em melhorias no traçado das vielas, pequenas contenções, cobertura vegetal e drenagem, especialmente a superficial.

2 SEGURANÇA DAS ENCOSTAS QUANTO A RISCOS GEOLÓGICOS

A avaliação da segurança das encostas, ao se considerar riscos geológicos, é complexa, por abordar fenômenos de ordem natural e temporal. Poderia se afirmar, sem grandes erros, que à excessão das encostas constituídas por rochas ígneas, mais duras e resistentes ao intemperismo, as vertentes das encostas estarão sempre sujeitas ao deslizamento dos solos que cobrem o manto rochoso. Cabe prever, ao se considerar o tempo geológico, se no período de vida útil em análise, poderá vir a ocorrer um deslizamento. Em suma, as ponderações sobre segurança à estabilidade de encostas, referem-se em grande parte, à probabilidade de ocorrência de acidentes geológicos pré-definidos, devidamente caracterizados em sua magnitude e quanto aos danos que pode causar.

Estes dois fatores citados podem definir, conjuntamente, o grau de risco da maioria das obras de engenharia. No entanto, em se tratando da estabilidade de encostas, as análises são mais abrangentes, devendo-se avaliar, em especial, qual o risco de um potencial acidente geológico, a partir da análise de quatro fatores: *natureza*, que se refere aos aspectos que definem um acidente pré-estabelecido, como exemplo, deslizamento, erosão, queda de blocos; *incidência*, ou seja, qual sua exposição ao meio; *intensidade*, referindo-se à magnitude, avaliando-se, a área a ser atingida, o volume de terra a ser deslocado, sua altura, extensão do percurso e velocidade do movimento; e *frequência*, tendo em conta que em uma mesma encosta, pode tratar-se de um evento recorrente. Ver Figura 1.

Figura 1 – Esquemas de movimentos gravitacionais de massa quanto à sua natureza, incidência e intensidade.



Fonte: Autores.

A formação dos solos superficiais que cobrem o manto rochoso provém, especialmente, do intemperismo químico, quando as ações atmosféricas e as infiltrações das águas de chuva, que carregam ácidos orgânicos, sais minerais e outros elementos, como dióxido de carbono, reagem com a rocha, alterando sua estrutura, ocorrendo a formação de partículas soltas, que se dá a denominação de solos residuais. As alterações na camada formada pelos solos residuais exercem grande influência sobre os movimentos gravitacionais de massa, como decorrência de efeitos, como: movimentações e deslocamentos causados pela variação das tensões de confinamento; variações da temperatura; infiltrações e choque por impacto das águas de chuva; abrasão superficial por ações da natureza; lixiviação das massas de solo por percolação; e crescimento de plantas que compõem a cobertura vegetal. Estes são eventos que promovem ações mecânicas, maior causa da desagregação e ruptura dos solos superficiais das encostas. Por outro lado, constituindo-se como um fator preponderante, a ocupação antrópica desordenada pode induzir a movimentos de massa, por acarretar alterações na geometria das encostas, introduzir carregamentos e potencializar infiltrações e fluxos de percolação. Os acidentes mais comuns a analisar em caso de encostas com ocupação antrópica, em função dos

danos associados que causam, são os casos de deslizamento, erosão, queda de blocos e corrida de detritos. Massad (2010) descreve a constituição geológica básica das encostas e os principais movimentos gravitacionais de massa à que estão expostas.

2.1 ANÁLISE DE RISCOS E FATORES DE PONDERAÇÃO PARA A TOMADA DE DECISÃO

Identificada a possibilidade de um colapso, deve-se ponderar sobre os fatores intervenientes ao próprio risco, não somente os danos diretos que causa, mas também às consequências advindas do acidente, que podem ser econômicas, sociais ou ambientais. Havendo ocupação antrópica, em especial, assentamentos habitacionais - estando nas vertentes das encostas, podem deslizar conjuntamente com a massa de solo instável - se no sopé da encosta, há o risco de ser soterrado. A questão, a ser avaliada, tem caráter social e econômico.

Definidos os aspectos que classificam o risco, entram em questão, considerações sobre a relação custo x benefício que envolve as possíveis intervenções, pesando na decisão, entre as alternativas: eliminar, mitigar, minimizar ou aceitar os danos que poderão ser causados por um eventual acidente. Deve-se ter em conta, que para eliminar um risco relacionado a determinado acidente, está-se naturalmente elevando os custos da obra de intervenção. Por exemplo: seja a probabilidade de 10% para ocorrência de um acidente em uma obra de terraplanagem em uma encosta, mas que, para eliminá-lo, se estará aumentando o custo de execução em duas vezes. Por outro lado, na eventualidade de deixar ocorrer o acidente, supondo não ter sido tomadas as providências para evitá-lo, para sanar os danos causados, admite-se, hipoteticamente, que o valor das obras poderia representar o mesmo custo do que seria o da intervenção. Em não havendo prejuízos associados, se poderia ponderar sobre aceitar o risco, ao invés de eliminá-lo ou, em medida intermediária, de mitigá-lo, para minimizar as consequências.

Certamente, este tipo de análise se faz sob ambiente controlado, geralmente em função de decisões administrativas, na condição de se poder isolar ou eliminar riscos associados, que causem danos a terceiros, pessoais, ou ambientais. Em encostas sob ocupação precária, para mitigar o risco, em muitos casos, se adotam medidas de prevenção ou a realização de um plano de contingenciamento, prevendo-se a instalação de sirenes, estabelecimento de rotas de fuga, dentre outras ações, que envolvem também custos, no caso, contínuos, mas diluídos. São conjecturas inerentes à decisão.

Normalmente, os riscos geológicos podem ser caracterizados por fatores e condições específicas, que determinam as medidas a serem utilizadas para sua gestão:

- ✓ Suscetibilidade: indica as condições potenciais e intrínsecas naturais que envolve determinado evento, para que se inicie um processo geológico que leve a um determinado acidente.

Relaciona-se com a probabilidade de ocorrência.

- ✓ Periculosidade: refere-se às consequências que determinado evento geológico pode causar. Está relacionada, especialmente, à natureza e intensidade do risco.
- ✓ Consequência: indica os danos potenciais associados à ocorrência de determinado evento geológico, tendo relação direta com a intensidade.
- ✓ Vulnerabilidade: refere-se ao nível de exposição à determinado processo geológico, quanto ao nível em que determinado evento pode ser afetado.
- ✓ Risco associado: relacionado a elementos externos ao evento, porém associados às consequências de determinado risco, como exemplo, danos à população, a atividades econômicas ou ambientais, dentre outros.

De forma geral, entram na avaliação e classificação do risco geológico/geotécnico, quando relacionado à estabilidade de encostas:

- ✓ Identificação da natureza do risco e interpretação do problema;
- ✓ Abrangência do risco, prováveis danos e possíveis consequências;
- ✓ Delimitação da área de análise e investigações para o planejamento geotécnico;
- ✓ Análise hidrológica relativamente às águas intersticiais e superficiais;
- ✓ Elaboração do modelo de análise;
- ✓ Escolha do método de análise a ser empregado;
- ✓ Interpretação dos resultados.

Todos estes fatores contribuem e intervêm, diretamente ou não, na interpretação do risco, seja em sua abrangência, probabilidade de ocorrência, prováveis danos e possíveis consequências. No entanto, uma análise de riscos nem sempre é determinística, podendo também ser, interpretativa ou probabilística, estando cercada por incertezas, inclusive, quanto à própria interpretação dos resultados. Podem ocorrer incertezas, como: insuficiência e imprecisão dos dados levantados; má avaliação do processo geológico em formação; elaboração incorreta do modelo físico e geométrico de análise. Uma vez classificado o risco, inicia-se então o processo para a decisão: eliminar, mitigar, minimizar ou aceitar o risco, ocasião em que, com o aprofundamento das análises, a partir de investigações geotécnicas, levantamentos topográficos e cadastrais e de modelos de análise que considerem, quando aplicáveis, métodos determinísticos, pode-se obter melhores resultados, com definições de propostas para a intervenção. Na prática das análises, são estabelecidos, por orientações de normas técnicas, fatores de segurança, a serem utilizados na avaliação da segurança.

2.2 PLANEJAMENTO DAS AÇÕES E MEDIDAS MITIGATÓRIAS

Existe uma infinidade de métodos, técnicas e tecnologias utilizados para análise de riscos geológicos em encostas e estabelecimento de ações mitigatórias. Distinguem-se duas situações críticas de análise: a primeira, no caso em que a encosta não se encontra ocupada, mas que mediante um movimento de massas, os detritos podem atingir ocupações que porventura estejam assentes no pé da encosta; a segunda, o caso de encostas com ocupação antrópica em suas vertentes.

Para a primeira situação, de encostas não ocupadas, as análises referem-se ao risco de ocorrer movimentos de massa e as análises referem-se à avaliação de sua *natureza*, se deslizamento, erosão ou queda de blocos de rocha; de sua *intensidade*, avaliando-se a velocidade e volume de detritos, e de sua *incidência*, ou seja, quais os danos que pode causar a eventual infraestrutura, assentamentos habitacionais, unidades produtivas, dentre outros, localizados no pé da encosta.

Para a segunda situação, de encostas com ocupação antrópica, as análises são mais complexas, já que se deve avaliar, além da própria instabilidade da encosta, também os danos diretos com a infraestrutura de ocupação. Distingue-se três casos específicos para as análises:

- ✓ Um primeiro caso, estando a encosta não ocupada, mas objeto de possível ocupação. Neste caso, é possível efetuar um amplo planejamento, prevendo-se já em projeto, arruamentos com traçados estratégicos; eventuais obras de contenção; drenagem superficial; lotes com dimensões mínimas compatíveis com os desníveis do terreno; e orientações construtivas. Estes casos se enquadram a loteamentos legalizados, quando se é possível impor um padrão urbanístico mínimo.
- ✓ Um segundo caso, ocorre quando a ocupação não foi planejada, mas encontra-se em processo de consolidação, possibilitando ainda intervenções para dotá-la de medidas preventivas, denominadas de ações extensivas. Normalmente, trata-se de invasões a áreas desocupadas, geralmente públicas, ou de loteamentos irregulares, cujo parcelamento foi efetuado sem critérios de segurança mínima a acidentes geológicos. Nestes casos, é viável a correção do traçado de algumas vielas; implantar sistemas de drenagem superficial; efetuar pequenas contenções; e isolar algumas áreas de maior declividade, que apresentem maior periculosidade, dotando-as, inclusive, de cobertura vegetal. Armelin *et al* (2025) apresentam estudos para proteção superficial de taludes de encostas com espécies de bambu alastrante, como medida preventiva para conter o avanço de movimentos de massa.
- ✓ O terceiro caso, mais crítico, trata-se de encostas com ocupação informal e irregular, densa e consolidada, podendo ocorrer em áreas invadidas, normalmente públicas ou de preservação, com declividades altas e muitas vezes, em vertentes de encostas constituídas por solos

inconsolidados. Nestes casos, são raras as possibilidades de ações unicamente preventivas, ocorrendo casos críticos de risco muito alto, que demandam obras estruturais para conter escorregamentos localizados, ou mesmo, exigindo o deslocamento de algumas edificações, quando muito precárias. Este tipo de ação é denominado de intensivo e demanda recursos elevados do poder público para sua correção, nem sempre compatíveis com sua dotação orçamentária. Para situações como esta, comuns à maioria das grandes cidades do país, são estabelecidas políticas públicas, com provisão de recursos específicos, a serem aplicados segundo a periculosidade de cada caso isolado, identificados mediante a elaboração de mapeamento de riscos, orientação da Defesa Civil, ou mesmo, por programas completos de urbanização.

Em qualquer das situações citadas, uma vez identificada o tipo de ocupação, a decisão sobre eliminar, mitigar, minimizar ou aceitar o risco é complexa, já que são muitas as incertezas para a plena definição do modelo de análise, em especial, por tratar-se o solo de um meio semi-infinito, heterogêneo, estratificado, muitas vezes constituído de materiais inconsistentes. No caso de ocupação antrópica informal, irregular, densa e consolidada, há ainda a dificuldade para avaliação geométrica das vertentes, por terem sofrido alterações para sua ocupação, como também, identificação da construtibilidade das edificações, geralmente precárias. Pamboukian (2024) demonstra a viabilidade do uso de drones para levantamentos topográficos e cadastrais de áreas específicas de difícil acesso, prática cada vez mais usual na gestão de áreas de risco.

Para a avaliação da problemática, análise e proposição de medidas corretivas, se vale, em muitos casos, de hipóteses probabilísticas como método para cercar a solução a ser proposta. No nível de incertezas com que se trabalha, mesmo os métodos determinísticos são cercados de incertezas e avaliações probabilísticas.

3 A LÓGICA PROBABILÍSTICA APLICADA À SEGURANÇA DAS OBRAS

A verificação da segurança das obras de engenharia é normalmente estabelecida em função de análises probabilísticas, que indicam, uma vez assumida sua concepção, qual a segurança para não se atingir, em sua utilização, o estado limite de ruína ou de deformações inaceitáveis. Busca-se, em projeto, um padrão para avaliar as ações que irão atuar na vida útil da obra e, em função do detalhamento da obra, é estabelecida uma margem de segurança.

Em especial, em se tratando de encostas, há três instâncias para se efetuar uma análise de segurança. A primeira, de abrangência global, refere-se à própria verificação da estabilidade da

encosta a eventual acidente geológico. Uma segunda, a estabilidade de eventual obra de contenção implantada como medida de segurança à estabilidade da encosta e por fim, uma terceira, referindo-se à segurança da infraestrutura ou edificações implantadas, que podem ser afetadas pela ocorrência de determinado acidente. As normas, ao estabelecer orientações para verificação da segurança contra eventuais acidentes geológicos, apresentam abordagens gerais, referindo-se à verificação da estabilidade global, independentemente da estabilidade de eventual obra de contenção ou de edificações e infraestrutura existentes. Como método, se estabelece, para as análises, um fator de segurança, de forma a majorar as ações instabilizantes efetivas, relativamente aos elementos resistentes, no equilíbrio de seus efeitos.

O conceito do fator de segurança, ao ser aplicado, como pondera Dinis (2024), modifica a probabilidade de ocorrência de um acidente, de uma situação probabilística considerada inaceitável, para uma condição probabilística factível de ser aceita. Assume-se, assim, o conceito de não existência de condição de risco zero, mas sim, de probabilidade aceitável para o risco.

Neste contexto, em um hipotético modelo de análise da estabilidade de um talude, em que a ruptura ocorre segundo um plano crítico de tensões, na iminência da ruptura, as tensões instabilizantes serão iguais às resistentes, do que decorre um fator probabilístico de ruptura de 1:1. Nesta ponderação, se estaria estabelecendo um fator de segurança $FS = 1,0$. Se o modelo for alterado, no entanto, de modo a que resulte tensões de ruptura 50% maiores que as tensões instabilizantes, se estaria impondo um fator probabilístico de ruptura de 1,5:1, podendo-se atribuir ao fator de segurança $FS = 1,5$. Neste raciocínio, hipoteticamente, supondo que, se a probabilidade de ruína, segundo o fator de segurança $FS = 1,0$, fosse de 1:1000, após o modelo ter sido modificado para um fator de segurança $FS = 1,5$, a probabilidade de haver uma ruptura inminente seria reduzida, podendo passar de 1:1000, para até 1:1500, como coerência.

Esta lógica é aplicada à maioria dos modelos de ruptura envolvendo os solos e modelos de interação solo-estrutura, como exemplo: na determinação da capacidade de carga de estacas, onde se relaciona a carga atuante, com a carga limite de ruptura da estaca; ou na verificação da estabilidade de paredes de contenção, onde se relaciona, na profundidade da ficha, as resultantes dos empuxos ativos, com as tensões limites de reação do solo na profundidade da ficha. A esta lógica de análise direta, de atribuir um fator de segurança às ações instabilizantes nas verificações da estabilidade, para reduzir a probabilidade de ocorrência de ruína, se dá a denominação de *Método de Valores Admissíveis*. Nesta mesma lógica, há também um segundo método, *Método dos Valores de Projeto*, em que a análise não é direta, mas de mesmo teor, havendo ponderações para a aplicação dos fatores de segurança, segundo a distinção entre ações e elementos resistentes.

4 FATORES DE SEGURANÇA

Como prática, para as obras usuais que envolvem contenções, barramentos, túneis, fundações, ou que tratem unicamente o solo como elemento estabilizante de um modelo de ruptura, como o caso de deslizamentos em encostas – normalmente - impõe-se em projeto, fatores de segurança, visando aumentar os níveis de segurança, a serem introduzidos a partir do detalhamento do projeto, fazendo com que a probabilidade de ocorrência de um acidente geológico/geotécnico, seja reduzida a níveis aceitáveis.

Há muitas propostas sobre a questão, envolvendo análises de estabilidade para fundações, barramentos, contenções, túneis e obras de terra em geral, cada caso com sua especificidade, mas sempre considerando o solo como elemento resistente contribuindo com a estabilidade do sistema. Normalmente, assume-se aplicações práticas, em situações envoltórias, tendo em vista todos os aspectos intervenientes com a problemática, Vários autores, a exemplo, Velloso e Lopes (2011), Cintra *et al* (2011), Budhu (2013), abordam o tema conceitualmente e em sua aplicação prática, em consonância às normas técnicas brasileiras.

Para estudos e projetos que envolvem a engenharia geotécnica, quanto à avaliação da estabilidade de taludes naturais ou da segurança das obras que envolvem o solo como elemento resistente, várias normas brasileiras são aplicáveis. De cunho mais específico, pode-se citar, as mais diretamente aplicáveis ao conteúdo deste trabalho:

- ✓ **ABNT NBR 11682 (1990) - estabilidade de encostas:** estabelece os critérios e procedimentos para projeto e análise da estabilidade de taludes e encostas, naturais ou escavadas.
- ✓ **ABNT NBR 6122 (2010) - projeto de fundações:** aplicável quanto ao comportamento característico e detalhamento dos elementos de fundação e orienta a procedimentos a serem considerados nas análises, para avaliação dos níveis de segurança das fundações, em estado limite último e de serviço, estabelecendo fatores de segurança a adotar nas análises.

Os métodos de análise normalmente aplicados consideram modelos determinísticos de análise, considerando a relação entre valores das ações instabilizantes, com os valores dos elementos resistentes, definindo esta relação como sendo a de um fator de segurança. A NBR 6122 (2010) propõe dois métodos de análise: *Método de Valores Admissíveis*, em que se admite um *fator de segurança global mínimo*, a ser considerado nas análises, que relaciona diretamente os elementos estabilizantes (resistências) com os instabilizantes (ações), na avaliação da estabilidade de uma obra; e *Método dos Valores de Projeto*, que avalia isoladamente os elementos estabilizantes e os instabilizantes,

atribuindo *fatores de segurança parciais mínimos*, como ponderação a cada variável independente, a incidir na análise da estabilidade da obra.

4.1 CONSIDERAÇÕES QUANTO À CAPACIDADE RESISTENTE DOS SOLOS

Os fatores de segurança referem-se à relação entre as ações que solicitam determinado sistema a analisar e a capacidade dos elementos resistentes que o compõe, normalmente o solo. Os solos, assim como as rochas, têm sua resistência admitida a partir de suas características atritivas e coesivas. Segundo Lopes (2017), as partículas que compõe as rochas e os solos têm vários componentes, que interagem entre si, contribuindo para sua resistência. Dentre alguns dos fenômenos geológicos que ocorrem quanto à formação dos solos e de suas características, tem-se, como exemplo:

- ✓ Quando de natureza argilosa, o solo é constituído de minerais argilosos, de partículas de pequeno tamanho e formato laminar, estabelecendo um complexo de forças de natureza eletrostática, química e capilar;
- ✓ Decorrente de *cementação*, por deposição interparticular de material impregnante, por meio de soluções aquosas, aglutina partículas quaisquer, como grãos de areia, gerando solos impregnados ou mesmo rochas;
- ✓ Fenômenos de natureza *químico-mineralógica* entre partículas minerais, que promovem a solidificação de materiais fundidos pela ação de elevadas temperaturas e pressão, em similaridade a processos que geram determinadas rochas.

Os maciços constituídos por solos ou rochas, quando solicitados a determinados agentes externos, podem sofrer vários tipos característicos de ruptura, ao serem ultrapassados seus limites de ruptura. Dentre alguns exemplos: deslizamento de encostas, por ruptura do solo ao cisalhamento; instabilidade de fundações diretas, por ruptura do solo por compressão; dentre outros. De forma geral, a capacidade resistente dos solos para os vários tipos de ruptura, depende de suas propriedades, especialmente, a coesão e as características atritivas, mas também, depende das condições de confinamento.

4.2 CONSIDERAÇÕES QUANTO ÀS AÇÕES CARACTERÍSTICAS INSTABILIZANTES

Como visto no ítem anterior, os fatores de segurança referem-se à relação entre as ações que solicitam determinado sistema a analisar e a capacidade dos elementos resistentes que o compõe, normalmente o solo. Assim, a avaliação das ações instabilizantes que atuarão nas análises é de extrema importância, distinguindo-se três grupos que predominam nas análises: *ações permanentes*

e *invariáveis*, decorrentes da ação da gravidade agindo sobre a massa de solo, incidindo sobre o plano horizontal, ou empuxos de terra devido a escavações parciais, agindo no plano vertical; *ações acidentais*, a incidirem de forma intermitente nas envoltórias de esforços, atuando segundo o uso e ocupação da encosta em análise, ou diretamente nos sistemas estruturais de contenção ou fundação; e as *ações excepcionais*, podendo tratar-se de tensões ou deformações impostas, oriundas, por exemplo, de abalos sísmicos, efeitos de marés, dentre outros. que devido à baixa probabilidade de incidência, são consideradas com ponderações. A todas estas ações, se atribui a denominação de *ações características*.

Para a avaliação das ações características, deve-se valer de normas técnicas, que tratam cada uma das ações a considerar, com ponderações específicas para cada tipo de aplicação. As mais utilizadas, estão apresentadas, a seguir:

- ✓ **ABNT NBR 15575/parte:1 (2023) - Desempenho e ações em edificações habitacionais:** aplica-se a definições, disposições gerais e ações a serem assumidas na análise da segurança das edificações habitacionais.
- ✓ **ABNT NBR 8682 (2022) - ações e segurança nas estruturas:** aplica-se a definições, conceitos e classificações a serem assumidas na análise da segurança das estruturas, considerando os estados limites de desempenho último e de serviço.

4.3 ANÁLISE QUANTO À INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA

A interação solo-estrutura se refere ao trabalho conjunto entre os elementos estruturais e o solo, na estabilidade de sistemas construtivos em contato com o solo. Mais especificamente, avalia as solicitações a que estarão submetidos os elementos estruturais e os elementos solo, em sua magnitude, como também, concomitantemente, a capacidade resistente de cada elemento que compõe as estruturas ou o solo envolvente, quando solicitado. O processo de análise é iterativo, reconstruindo-se o modelo sempre que as resistências limites dos materiais forem ultrapassadas.

Os fatores de segurança, para garantir a estabilidade da obra assim concebida, seguem a indicações específicas de normas técnicas, a que se refere cada disciplina a se considerar na constituição do modelo de projeto. Assim, no projeto de uma fundação, a capacidade de carga é avaliada atendendo às orientações da NBR 6122 (2010) e, quanto às estruturas da referida fundação, à NBR 6118 (2014). No entanto, há casos de projeto em que a distinção entre solo e estrutura não é facilmente separável, a exemplo, determinadas contenções em que a rigidez do elemento estrutural e a resistência por atrito do solo trabalham conjuntamente, para dar estabilidade a um deslizamento. Nestes casos, deve-se distinguir conceitualmente as funções de cada elemento que constitui o sistema,

solo e estrutura, para aplicar os fatores de segurança, conjuntos ou isoladamente, a cada condição de análise. A norma a ser considerada para as análises estruturais, está indicada, a seguir:

- ✓ **ABNT NBR 6118 (2023): estruturas de concreto**, refere-se às análises a considerar na avaliação da segurança das estruturas de concreto armado, quanto ao projeto das estruturas em geral, indicando os fatores de ponderação a serem admitidos às solicitações e às resistências características dos materiais que compõe as estruturas.

4.4 MÉTODO DOS VALORES ADMISSÍVEIS

O método considera, na ponderação da segurança de um evento ou uma obra específica, um *fator de segurança global*. De uso frequente nas análises geotécnicas, o método é normalmente aplicado à verificação da estabilidade de taludes, de obras de contenção ou fundação. Definem-se como ações características Q_k , aquelas que atuam como elemento instabilizante e, como capacidade resistente estabilizante R_u , as reações limites que apresenta o solo ou elemento estrutural, mediante solicitação. Como procedimento, para a aplicação do método, atribui-se às reações resistentes estabilizantes R_u , responsável pela estabilidade do modelo, uma minoração de seu valor, visando reduzir a probabilidade de incidência de determinado risco, aplicando-se um *fator de segurança global* FS (limite), que estabelece um valor máximo admissível para a contraposição do elemento instabilizante Q_k . Para que ocorra o equilíbrio do sistema:

$$Q_k \leq R_u / FS \quad (\text{ou}) \quad R_u \geq FS \cdot Q_k \quad (1)$$

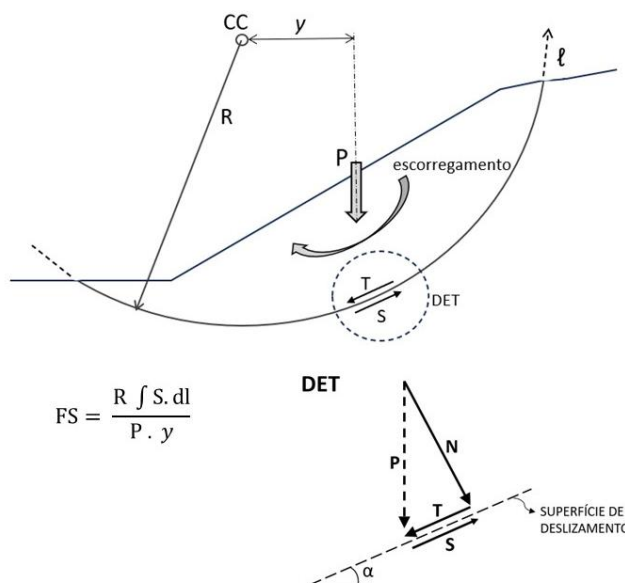
Como exemplo, seja analisar a estabilidade de um talude, seja ele natural (uma encosta) ou construído (um aterro ou um corte). Neste tipo de análise, utiliza-se, normalmente, métodos determinísticos, que se valem de modelos de cálculo que consideram o equilíbrio limite do sistema, a partir da ruptura de uma superfície crítica ao deslizamento. Utilizando-se, como exemplo de análise, uma superfície crítica circular, como mostra a Figura 2, inicialmente, determina-se os esforços solicitantes T , que representam as ações características Q_k , a partir das cargas de trabalho que levam o sistema à instabilidade e, os elementos resistentes S , que representam as reações limites da superfície crítica, a partir da resistência limite ao cisalhamento do solo. Para outras propostas de forma para a superfície crítica de ruptura, ver GERSCOVICK (2012). Fazendo uso das equações fundamentais da estática, em que as forças e momentos de equilíbrio se anulam, se determina um fator que relaciona S com T , tratado como fator de segurança característico do sistema FS .

Desta forma, é possível calcular o fator de segurança característico para determinada

superfície de um talude, a partir da igualdade:

$$FS = S/T \quad (\text{ou}) \quad S \geq FS \cdot T \quad (2)$$

Figura 2 – Configuração esquemática de um deslizamento em cunha circular



Fonte: Autores.

Na prática, este processo de cálculo é realizado para centenas de superfícies de deslizamento, até que se obtenha a superfície crítica, à qual corresponde o mínimo valor para o fator de segurança FS, que deve ser comparado a um *fator de segurança limite*, estabelecido pelas normas técnicas.

Quanto aos *fatores de segurança limite* a adotar, em se tratando de segurança contra acidentes geológicos naturais, segundo a NBR 11682 (1990), os valores variam de FS = 1,2, para obras em que há baixa incidência de danos materiais/ambientais e a vidas humanas, a FS = 1,5, em caso extremo oposto. Gerscovick (2012) apresenta uma discussão detalhada sobre aspectos desta norma e como os fatores de segurança devem ser aplicados. Na prática, nos casos em que os riscos envolvidos acarretam custos pouco representativos relativamente ao contexto como um todo, ou em obras de terra de correção geométrica, curriqueiras, adota-se como fator de segurança global, FS = 1,5, indistintamente ao caso. Segundo Dinis (2024), em se tratando de etapas construtivas destas obras, ou quando sua vida útil é limitada a eventos temporais, é de prática reduzir este valor para FS = 1,3. Nestas situações, têm-se como alegativa, o controle sobre seu uso durante à exposição aos riscos considerados. Para análise de obras de contenção, indica-se à análise ao tombamento, FS = 2,0; ao deslizamento, FS = 1,5 e à capacidade de carga das fundações, FS = 3,0.

Para o caso de fundações, segundo a NBR 6122 (2010), os coeficientes mínimos globais a adotar para as obras são: FS = 3,0, para fundações superficiais e de 2,0, para as profundas, havendo ponderações para sua redução, ou mesmo considerações, nos casos em que é recomendável majorar estes valores.

4.5 MÉTODO DE VALORES DE PROJETO

Por este método, de mesmo teor que o anterior, se recorre, no entanto, ao uso de *fatores de segurança parciais ou de ponderação*, aplicados de forma independente aos vários elementos que compõe a análise da segurança das obras, no caso: ações características e elementos resistentes. Para sua aplicação, exige-se referências estatísticas que envolvam a variável à qual se aplica, por exemplo: a existência de compilamento estatístico sobre resultados de ensaios de cisalhamento direto, aplicando-se, como fator de segurança parcial, o desvio padrão reconhecido como média para as propriedades do solo obtidas por este ensaio. No caso de não existir referências estatísticas, é preferível utilizar o *Método dos Valores Admissíveis*, em que há naturalmente uma média já aceita sobre os resultados dos vários parâmetros envolvidos.

A aplicação do método dos valores de projeto tem uso recente em geotecnia, com poucas referências práticas, mas pode apresentar boa aplicabilidade em várias situações, como exemplo:

- ✓ Nas situações em que determinado parâmetro interfere na estabilidade global da obra, de forma não direta, mas em etapas específicas do processo de verificação.
- ✓ No caso de variabilidade sobre a confiabilidade de resultados de diversos parâmetros independentes.
- ✓ Na incidência de ações excepcionais, caso a probabilidade de ocorrência seja discrepante das demais. As normas de estrutura indicam fatores de ponderação a serem aplicados de forma independente, a cada ação considerada excepcional.

Definem-se, por norma, dois grupos de *fatores de segurança parciais*: fatores de majoração das ações características Y_f ; e fatores de minoração dos elementos resistentes Y_m , podendo ambos, assumirem valores distintos em sua incidência sobre eventos diferentes. As ações características Q_k , ao serem majoradas por Y_f , recebem a denominação de *ações de projeto*, representadas pelo símbolo Q_d , assim como, os elementos resistentes R_u , de *elementos resistentes de projeto*, ao serem majoradas por Y_m , pelo símbolo R_d . Assim:

$$Q_k \cdot Y_f \leq R_u / Y_m \quad (\text{ou}) \quad Q_d \leq R_d \quad (3)$$

A NBR 6122 (2010) recomenda, especificamente às fundações, que o fator de minoração parcial a ser aplicado diretamente à capacidade resistente do elemento de fundação, tenha, como valores mínimos: $Y_m = 2,15$, para o caso de fundações superficiais e de 1,4, para as profundas, havendo ponderações para sua aplicação.

Fundamentalmente, os métodos dos valores admissíveis e dos valores de projeto têm o mesmo teor na análise da segurança, tendo como diferenciação, a ponderação na atribuição do fator de segurança. No entanto, em uma análise em que a relação entre os elementos resistentes e as ações características seja direta, como o caso da estabilidade dos taludes, pode-se fazer: $FS = Y_f \cdot Y_m$, o que torna inócuo, neste caso, sua aplicação. O método torna-se eficaz, por exemplo, na ponderação de cargas com probabilidade de ocorrências discrepantes, fazendo-se: $Q_d = Q_{k1} \cdot Y_{f1} + Q_{k2} \cdot Y_{f2} \dots$

5 SEGURANÇA DAS OBRAS EM USO

Uma intervenção construtiva ou preventiva em encostas, quanto à segurança a acidentes geológicos, especialmente havendo ocupação antrópica, deve garantir não somente sua estabilidade, mas também, a preservação da infraestrutura implantada e de assentamentos de edificações de uso diverso, caso existirem, para que não ocorram avarias e sua deterioração, assegurando assim, seu tempo de vida útil. A segurança da obra em uso refere-se à análise pós-intervenção/evento, a partir de sua exposição às ações características que atuarão ao longo de sua vida útil. Pelas normas NBR 6122 (2010) e NBR 6118 (2014), o *Estado Limite de Serviço* pode ser interpretado como sendo o limite superior viável para atuação das cargas de trabalho ou ações características, que em concomitância às resistências mínimas admitidas aos elementos resistentes, produzam unicamente deformações ou recalques, em situação de razoável recuperação elástica ou volumétrica do solo. Após descarregamento, a obra ou o perfil geológico natural do terreno, não devem estar comprometidos para a insidência de novos ciclos de carregamento ou a novas ações, que venham ainda a ocorrer nos limites impostos de análise.

Pode-se considerar, que após uma intervenção ao meio ou ao longo de um processo geológico, ao se atender o *Estado Limite de Serviço*, não deve ocorrer: deformações excessivas por desconfinamento, como no caso de escavações; abatimentos não previstos por adensamento; recalques no solo ou em fundações por cargas não previstas; desagregações do solo decorrentes de solapamentos; fluência do solo por compressão excessiva; poropressões excessivas que causem no solo carreamento de finos; dentre outros, que comprometam a estabilidade das encostas e sua estrutura de ocupação.

São também considerados, na definição do *Estado Limite de Serviço*, os danos associados a outras partes da intervenção, vinculadas a ocupações de encostas ou superfícies do solo quaisquer, em áreas de situação de risco ou não, devido às interferências ao meio. Neste caso, as ocorrências podem ser causadas por obras de escavação, recalques devidos a aterros, alteração da geometria de taludes naturais em encostas, variação da linha freática, supressão vegetal, dentre outras.

Como exemplo prático de danos associados, têm-se: deterioração das edificações ou impossibilidade de seu uso causada por recalques, trincas e deslocamentos horizontais, ocorridos na superfície do solo; interrupção da irrigação intersticial natural do terreno causada por rebaixamento do lençol freático; erosão hídrica com a formação de ravinas ou boçorocas, causada por remoção da forração vegetal natural do terreno; recalques diferenciais em edificações causados por movimentações do solo durante escavações provisórias; erosão superficial por escoamento superficial de águas de chuva, devido a alterações da orientação natural de talvegues; dentre outras.

Assim, se considerarmos intervenções em encostas, advindas de medidas corretivas ou de obras visando assegurar sua estabilidade, mesmo que tais medidas e obras venham a ser bem sucedidas ao cumprir sua finalidade, podem ainda, ocorrer danos associados, com consequências diretas à sua estrutura de ocupação, devendo-se assim, já em projeto, avaliar a situação em uso pós/obra, de modo a restringir, ao máximo, a ocorrência de danos associados a terceiros ou ambientais.

6 CONCLUSÃO

A ocupação das encostas é um fenômeno que envolve o processo de urbanização das cidades, podendo abrigar atividades habitacionais, econômicas ou de transportes. No entanto, a ocupação por população residente, em locais mais vulneráveis, representa uma situação de risco e tem causado grande atenção por parte do poder público. As encostas, se ocupadas indistintamente, sem planejamento ou orientação técnica, pode levar a riscos geológicos, com a ocorrência de deslizamentos, erosões, queda de blocos, muitas vezes, inclusive, com consequências ambientais. No Brasil, estima-se que ocorram 7,8 milhões de domicílios em áreas de risco socioambiental e que quase metade destes domicílios se encontram em áreas de alta declividade, segundo IPEA (2020). As medidas tomadas para conter o risco com acidentes geológicos vão desde ações preventivas, até obras estruturais.

No Brasil, programas de urbanização de áreas em fragilidade social, que contemplam ações para contenção de riscos geológicos, se tornaram constantes nas últimas décadas, no entanto, não com a necessária abrangência para atender ao grande leque formado pela intensa ocupação das encostas e de áreas de risco, em geral, tendo em vista a expansão exarcebada e desordenada das periferias com

habitações precárias, em décadas passadas. Os programas habitacionais lançados nas esferas federais, estaduais e municipais, não foram capazes de atender à grande demanda habitacional existente, tendo, como consequência, a expansão das áreas periféricas em situação de risco. Neste contexto, ultrapassou-se a capacidade das esferas públicas em agir na resolução da problemática com os riscos geológicos que vieram a ocorrer com assentamentos precários em encostas, de forma direta e com soluções plenas e definitivas.

Verifica-se, de um lado, que a engenharia voltada à contenção de encostas é complexa, devido a dificuldades com o planejamento das intervenções e das técnicas a serem aplicadas, deparando-se, no estabelecimento de níveis de mínimos segurança, com a existência de muitas variáveis e incertezas, o que dificulta a obtenção de um diagnóstico pleno voltado à concepção do modelo de análise. De outro lado, esbarra-se na grande diversidade de situações de risco, cada uma com especificidades distintas, dificultando a abordagem e elaboração de planos e estratégias de ação.

Ao se analisar os critérios de segurança constantes nas normas NBR 6122 (2010) e NBR 6118 (2014), constata-se que para a verificação da estabilidade de encostas, recorre-se a um amplo processo de verificação e de ações projetuais, envolvendo conceitos técnicos e probabilísticos voltados à segurança, muitas vezes, de difícil resolução. Evidencia-se, a partir da aplicação de fatores de segurança nas verificações, dois estados de comportamento do solo, em sua condição de utilização: o *Estado Limite de Serviço*, que se ultrapassado, ao se exceder as cargas de projeto, pode incorrer em danos irreversíveis à estrutura de ocupação implantada, devendo-se, no caso, avaliar a necessidade de uma eventual recuperação da área. De outro lado, o *Estado Limite Último*, também previsto nas análises, referindo-se a um limite para o evento, que resulta da atuação das cargas de trabalho majoradas por um fator de segurança imposto, que indica o limite para se atingir o estado de ruína, por ter o solo alcançado seu limite portante/resistente. Se atingido o *Estado limite Último* (ou de *Ruína*), ao se exceder os carregamentos, em um eventual caso em análise, a área ou obra deverá ser interdita para seu uso funcional, devendo ser recuperada, reforçada, ou reconstruída.

Constata-se, pelo exposto, a complexidade de análise aos riscos em atendimento às orientações dos métodos dos estados limites de utilização e de serviço, na gestão de riscos em encostas e demais estruturas que interagem com o solo, por serem as análises diretas, pontuais e determinísticas. Nas verificações da segurança, além da complexidade da engenharia envolvida, se depara com incertezas e indefinições. Desta forma, em encostas com ocupação irregular e precária, as medidas mitigatórias mais gerais acabam por ter cunho preventivo, à excessão das situações de maior risco, em que se procede à execução de obras estruturais.

Evidencia-se, assim, por este trabalho, que ao se estabelecer um programa de contenção de riscos geológicos em áreas de encosta, as medidas ou obras de correção a serem implantadas, visam, primeiramente, ações extensivas, com medidas preventivas que assegurem a não evolução dos riscos para casos de acidentes iminentes, assegurando, desta forma, a manutenção da estrutura de ocupação da encosta. Segue-se, atendendo ao programa, com ações intensivas, a partir de obras estruturais, visando dotar de estabilidade os casos de riscos altos.

Por fim, constata-se que diante das dificuldades com a gestão de áreas de risco em encostas, as ações de contenção dos riscos, sejam as extensivas ou intensivas, normalmente, são aplicadas de forma parcial e paulatina, aos casos mais críticos. Justifica-se, neste contexto, em contrapartida, a realização de mapas de risco visando identificar os riscos em seus vários níveis de periculosidade, mantendo-se concomitantemente, um planejamento contínuo de gestão, coordenado pela Defesa Civil com demais órgãos públicos municipais. A gestão de riscos, torna-se, assim, preventiva, devendo ser amparada por um plano de contingenciamento, elaborado de forma a responder com rapidez a emergências relacionadas a movimentos de massas, especialmente mediante chuvas intensas.

As pesquisas nesta área podem encontrar continuidade a partir de recortes ao tema, tendo em vista amplas possibilidades de resultados ao se elencar propostas de cunho específico. Dada a limitação de recursos orçamentários das várias instâncias do setor público, pesquisas sobre métodos preventivos, utilizando recursos naturais, podem indubitavelmente, trazer grandes contribuições ao tema.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8682: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11682: Estabilidade de encostas e taludes – Procedimento. Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2023.

ARMELIN, L. F.; DINIS, H.; LÁZARO, A. A. Técnicas no convencionales utilizando el bambú para la mitigación de deslizamientos en zonas de riesgo geológico. *Derbyana*, v. 46, p. 1-17, 2025.

BUDHU, M. Fundações e estruturas de contenção. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS (CEMADEN). Relatórios de desastres naturais: dados consolidados 2023. São José dos Campos: CEMADEN, 2023. Disponível em: <https://www.cemaden.gov.br/relatorios-de-desastres/>. Acesso em: 12 dez. 2025.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; ALBIERO, J. H. Fundações diretas: projeto geotécnico. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

DINIS, H. Interação solo-estrutura: uma abordagem ao projeto de fundações. São Paulo: Blücher, 2024.

GERSCOVICH, D. Estabilidade de taludes. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Atlas das áreas de risco no Brasil. Brasília: IPEA, 2020. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/atlasderisco>. Acesso em: 11 dez. 2025.

LOPES, J. A. U. Encostas: evolução, equilíbrio e condições de ocupação. Porto Alegre: Alcance, 2017.

MASSAD, F. Obras de terra: curso básico de geotecnia. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

PAMBOUKIAN, S.; CONCILIO, R.; DINIS, H.; LÁZARO, A. A.; SALGUEIRO D. M. A.; SILVA, E. R. Drone as a tool for geotechnical investigation. *CONCILIUM (BRASIL)*, v. 24, p. 271, 2024.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. Fundações, volume 1: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.