

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA CIVIL

Heitor Barbosa Oliveira

**Análise de susceptibilidade a movimento de massa em talude na Avenida Pierre Chalita
Maceió/AL**

Maceió
2023

Heitor Barbosa Oliveira

**Análise de susceptibilidade a movimento de massa em talude na Avenida Pierre Chalita
Maceió/AL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Pinto Fernandes.

Co-Orientadora: Prof. MSc. Jéssika Cosme

Maceió

2023

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

- O48a Oliveira, Heitor Barbosa.
Análise de susceptibilidade a movimento de massa em talude na avenida Pierre Chalita Maceió/AL / Heitor Barbosa Oliveira. – Maceió, 2023.
86 f. : il., grafs. e tabs. color.
- Orientador: Daniel Pinto Fernandes.
Coorientadora: Jéssika Cosme.
Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil) –
Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2023.
- Bibliografia: f. 78-84.
Anexos: f. 85-86.
1. Movimentos de massa. 2. Taludes (Mecânica do solo) - Estabilidade - Maceió (AL). 3. Escorregamentos (Geologia). I. Título.


CDU: 626.17(813.5)

Folha de Aprovação


AUTOR: Heitor Barbosa Oliveira

Análise de susceptibilidade a movimento de massa em talude na Avenida Pierre Chalita Maceió/AL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.


Documento assinado digitalmente
 DANIEL PINTO FERNANDES
Data: 05/07/2023 11:22:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professor Dr. Daniel Pinto Fernandes - Universidade Federal de Alagoas (Orientador)


Documento assinado digitalmente
 JESSIKA COSME
Data: 05/07/2023 11:42:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professora MSc. Jéssika Cosme - Universidade Federal de Alagoas (Co-Orientadora)

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 ROCHANA CAMPOS DE ANDRADE LIMA SAI
Data: 07/07/2023 07:39:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professora Dra. Rochana Lima - Universidade Federal de Alagoas

Documento assinado digitalmente
 LUCIANA CORREIA LAURINDO MARTINS VII
Data: 07/07/2023 10:36:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professora MSc. Luciana Vieira - Universidade Federal de Alagoas

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais por todo incentivo que recebo deles desde o começo da graduação.

Aos meus amigos da graduação Débora, João Gabriel e Lucas que foram apoio e suporte em todos os momentos, bons e ruins.

Ao professor Daniel e professora Jéssika por toda força e atenção para com meu trabalho de conclusão de curso.

E aos meus amigos de fora da graduação também que me faziam ter ótimos momentos e boas amizades fora da Universidade.

RESUMO

A identificação de pontos susceptíveis a movimentos de massa é um desafio significativo na área de geotecnia, devido aos potenciais danos materiais e humanos. Este estudo apresenta uma análise de vulnerabilidade em um talude localizado na Avenida Pierre Chalita, Maceió/AL, que foi avaliado como apresentando um risco muito alto para movimentos de massa (classificação R4). A partir de uma visita de campo, foram avaliados fatores como a declividade do terreno, as características do solo, a presença de água e a ocupação desordenada para identificar os pontos críticos que proporcionam maior vulnerabilidade para escorregamentos. Os resultados obtidos nesta pesquisa demonstram a importância da aplicação de técnicas de análise de vulnerabilidade para a prevenção de movimentos de massa em áreas urbanas vulneráveis. A partir da compreensão dos fatores de risco, podem ser propostas soluções técnicas adequadas para minimizar os efeitos de desastres naturais em áreas urbanas e, assim, garantir a segurança das pessoas e a preservação dos recursos materiais e ambientais. Após a análise dos fatores intervenientes nos movimentos de massa no talude da Avenida Pierre Chalita chegou-se a Classificação de Risco R4, que representa grande suscetibilidade a escorregamentos no talude escolhido. A possibilidade de envolver as residências próximas ao talude é considerada alta. Nesse sentido, a execução de medidas de estabilização do talude é prioritária para minimizar o risco aos escorregamentos. A utilização de medidas como o retaludamento, dispositivos de drenagem e revegetação são parte da proposta apresentada como medida mitigadora para o talude.

Palavras-chave: Movimentos de Massa; Estabilidade de Talude; Escorregamentos.

ABSTRACT

The identification of points susceptible to mass movements is a significant challenge in the field of geotechnics, due to potential material and human damage. This study presents a vulnerability analysis on a slope located on Avenida Pierre Chalita, Maceió/AL, which was assessed as presenting a very high risk for mass movements (classification R4). Based on a field visit, factors such as the terrain's slope, soil characteristics, presence of water and disorderly occupation were evaluated to identify the critical points that provided greater vulnerability to landslides. The results obtained in this research demonstrate the importance of applying vulnerability analysis techniques to prevent mass movements in independent urban areas. From the understanding of the risk factors, technical solutions can be proposed designed to minimize the effects of natural disasters in urban areas and, thus, guarantee the safety of people and the preservation of material and environmental resources. After analyzing the intervening factors in the mass movements on the slope of Avenida Pierre Chalita, the Risk Rating R4 was reached, which represents great susceptibility to landslides on the chosen slope. The possibility of involving the residences close to the slope is considered high. In this sense, the implementation of slope stabilization measures is a priority to minimize the risk of landslides. The use of measures such as re-sloping, drainage devices and revegetation are part of the proposal presented as a mitigating measure for the slope.

Keywords: Mass Movements; Slope Stability; Landslides.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MOVIMENTO DE MASSA DO TIPO QUEDA	19
FIGURA 2- MOVIMENTO DE MASSA DO TIPO TOMBAMENTO	20
FIGURA 3 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA (A) E FOTOGRAFIA (B) DE ESCORREGAMENTO ROTACIONAL.....	22
FIGURA 4 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA (A) E FOTOGRAFIA (B) DE ESCORREGAMENTO TRANSLACIONAL OU PLANAR	22
FIGURA 5 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE ESCORREGAMENTO EM CUNHA	23
FIGURA 6 - MOVIMENTO DO TIPO RASTEJO.....	24
FIGURA 7– MOVIMENTO DE MASSA DO TIPO CORRIDA	25
FIGURA 8 - MOVIMENTO DE MASSA OCASIONADO PELA REMOÇÃO DE COBERTURA VEGETAL	26
FIGURA 9- INEXISTÊNCIA DE DRENAGEM PLUVIAL EM ENCOSTA URBANA.....	27
FIGURA 10 - LANÇAMENTO DE ÁGUAS SERVIDAS	27
FIGURA 11- VAZAMENTO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	28
FIGURA 12- VAZAMENTO DE FOSSA SANITÁRIA	28
FIGURA 13- CORTES COM DECLIVIDADE EXCESSIVA E ALTURA EXPRESSIVA.....	29
FIGURA 14 - CONSTRUÇÃO IRREGULAR DE ATERRO	29
FIGURA 15 - LANÇAMENTO DE LIXO EM ENCOSTA.....	30
FIGURA 16 - EXEMPLO DE RETALUDAMENTO.....	34
FIGURA 17 - DRENAGEM SUPERFICIAL DO TIPO CANALETAS PRÉ-MOLDADAS	35
FIGURA 18 - EXEMPLO DE ESCADA D'ÁGUA.....	36
FIGURA 19 - EXEMPLO DE CAIXA DE DISSIPÇÃO EM DRENAGEM SUPERFICIAL.....	36
FIGURA 20 - EXEMPLO DE TRINCHEIRA DRENANTE EM EXECUÇÃO	37
FIGURA 21 - EXEMPLO DE DRENOS HORIZONTAIS PROFUNDOS INSTALADOS	38
FIGURA 22 - EXEMPLO DE COBERTURA VEGETAL.....	39
FIGURA 23 - EXEMPLO DE PROTEÇÃO SUPERFICIAL COM GRAMÍNEAS.....	39
FIGURA 24 - APLICAÇÃO DE CIMENTO EM TALUDE.....	40
FIGURA 25 - EXEMPLO DE IMPERMEABILIZAÇÃO COM PEDRAS OU LAJOTAS.....	40
FIGURA 26 - IMPERMEABILIZAÇÃO DE TALUDE COM LONAS PLÁSTICAS.....	41
FIGURA 27 - EXEMPLO DE MURO DE ARRIMO	42
FIGURA 28 - EXEMPLO DE MURO DE PEDRA RACHÃO.....	43
FIGURA 29 - EXEMPLO DE MURO DE GABIÃO.....	43
FIGURA 30 - EXEMPLO DE MURO CICLÓPICO	44
FIGURA 31 - EXEMPLO DE MURO DE CONCRETO ARMADO EM T INVERTIDO	45
FIGURA 32 - EXEMPLO DE SOLO CIMENTO-ENSACADO.....	46
FIGURA 33 - EXEMPLO DE SOLO COM CORTINA ATIRANTADA.....	47
FIGURA 34 - EXEMPLO DE SOLO GRAMPEADO	48
FIGURA 35 - MOVIMENTOS DE TERRA NA AVENIDA PIERRE CHALITA	55
FIGURA 36 - VISÃO GERAL DA AVENIDA PIERRE CHALITA	56
FIGURA 37 - TALUDE ESCOLHIDO PARA A METODOLOGIA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	56
FIGURA 38 - TALUDE PARA ANÁLISE	57

FIGURA 39 - TALUDE ESCOLHIDO EM PERSPECTIVA SEM SISTEMA DE DRENAGEM	61
FIGURA 40 - INCLINAÇÃO VISUAL DO TALUDE	62
FIGURA 41 - EVIDÊNCIA DE SOLO SEDIMENTAR.....	63
FIGURA 42 - EVIDÊNCIA DO PROCESSO DE FATURAMENTO.....	63
FIGURA 43 - SOLO SEDIMENTAR COM PRESENÇA DE FEIÇÕES EROSIVAS	64
FIGURA 44- EVIDÊNCIA DA BAIXA RESISTÊNCIA MECÂNICA.....	64
FIGURA 45 – FEIÇÕES EROSIVAS QUE FAVORECEM A INFILTRAÇÃO DE ÁGUA.....	65
FIGURA 46 - EVIDÊNCIAS DE FRAÇÕES ARGILOSAS DO SOLO.	66
FIGURA 47 - EVIDÊNCIA DE TRINCAS NO TERRENO	67
FIGURA 48 - EVIDÊNCIA DE MOVIMENTO DE ÁRVORES	67
FIGURA 49 - IMAGEM RETIRADA DO GOOGLE EART DATADA DE 14/09/2012	68
FIGURA 50 - EVIDÊNCIA DE LIXO DEPOSITADO PELO TALUDE.....	69
FIGURA 51 - EVIDÊNCIA DE MOVIMENTO TRANSLACIONAL.....	70
FIGURA 52 - EVIDÊNCIAS DE MOVIMENTO CIRCULAR OU ROTACIONAL.....	70
FIGURA 53 - EVIDÊNCIA DE RAVINAS	71
FIGURA 54 - EVIDÊNCIAS DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL	71
FIGURA 55 - EVIDÊNCIA DE DESLIZAMENTO DE GRANDE PORTE.....	72
FIGURA 56 - EVIDÊNCIA DE COLÚVIO COM SOLO RESIDUAL	72
FIGURA 57 - EVIDÊNCIA DE MORADORES PERTO DO LIMITE DO TALUDE	73
FIGURA 58 - DEMONSTRAÇÃO AÉREA ATUAL DA DISTÂNCIA DAS RESIDÊNCIAS À BORDA DO TALUDE.....	74

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS ACOMETIDOS EM TALUDES	17
TABELA 2 - AGENTES CAUSADORES DE MOVIMENTOS DE MASSA	30
TABELA 3 - PRINCIPAIS TIPOS DE OBRAS DE ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES E ENCOSTAS.....	32
TABELA 4 - ESCOLHA DO MÉTODO DE ESTABILIZAÇÃO DE ACORDO COM O AGENTE ATUANTE.....	49
TABELA 5 - CRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO DO GRAU DE PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE PROCESSOS DESTRUTIVOS DE ESCORREGAMENTOS	51
TABELA 6 - PLANILHA DE CAMPO PREENCHIDA.....	57

LISTA DE SIGLAS

ONU – Organização das Nações Unidas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

PMRR – Plano Municipal de Redução de Risco

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

GPS - Global Position System

ISDR - International Strategy For Disasters Reduction

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	JUSTIFICATIVA	13
1.2	OBJETIVOS	14
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	MOVIMENTOS DE MASSA	16
2.1.1	QUEDAS	19
2.1.2	TOMBAMENTOS	20
2.1.3	ESCORREGAMENTOS	21
2.1.4	RASTEJO	23
2.1.5	CORRIDAS	24
2.2	AGENTES CAUSADORES DE MOVIMENTO DE MASSA	25
2.2.1	FATORES PREDISPOONENTES	25
2.3	OBRAS DE ESTABILIZAÇÃO DE ENCOSTAS	32
2.3.1	Obras sem Estrutura de Contenção	33
2.3.2	Obras com Estrutura de Contenção	41
2.4	Critérios para escolha de obras de estabilização.	48
2.5	CLASSIFICAÇÃO DE RISCO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO	50
3	METODOLOGIA	54
3.1	ESCOLHA DO TALUDE.	55
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.1	Caracterização do terreno e da infraestrutura	59
4.1.1	Abastecimento de água	60
4.1.2	Esgotamento sanitário	60
4.1.3	Sistema de drenagem superficial	60
4.1.4	Declividade da encosta / Inclinação do talude	62

4.1.5	Substrato (litologia, grau de alteração, estruturas)	63
4.1.6	Depósitos de coberturas (Tipo, grau de alteração, estrutura)	65
4.1.7	Indicadores de movimentação	66
4.1.8	Agentes potencializadores	68
4.2	Descrição do processo geodinâmico	69
4.2.1	Tipos	70
4.2.2	Materiais envolvidos	72
4.3	Caracterização da vulnerabilidade	73
4.4	Classificação de risco	74
4.5	Medidas preventivas	75
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	77

1 INTRODUÇÃO

A ocupação irregular do solo urbano gera um contínuo processo de degradação das paisagens, resultando na diminuição da qualidade de vida e desencadeando situações que podem levar a perda de vidas humanas e também bens materiais. Diante disso, temas como a expansão urbana, risco geológico e acidentes “naturais” tornam-se cada vez mais relevantes essencialmente entre os profissionais e pesquisadores que trabalham junto ao meio físico e antrópico. (BAPTISTA, 2005).

Em escala global, a partir do ano de 2007, mais da metade da população mundial vive em áreas urbanas. Este número pode duplicar nos próximos trinta anos (VÉRON, 2007), aumentando, conseqüentemente, a vulnerabilidade das cidades e tornando a gestão de riscos a escorregamentos mais complexa, principalmente nos países em desenvolvimento, onde o número de pessoas que habitam áreas de risco tem crescido de setenta a oitenta milhões por ano (ONU, 2005).

A frenética urbanização ocorrida nos países em desenvolvimento colaborou para o estabelecimento de moradias em encostas íngremes, preponderantemente de forma inadequada, elevando a ocorrência de escorregamentos e resultando na expansão de áreas de risco. Para mais, outros fatores contribuíram para a formação deste cenário, tais como, crises socioeconômicas, políticas habitacionais ineficientes para baixa renda, ineficácia dos sistemas de controle de uso do solo, bem como de legislação adequada para as áreas mais suscetíveis e de apoio técnico para as populações (AYALA, 2002; CARVALHO et al., 2007).

AMARAL (1997), AYALA (2002), entre outros, apuraram que os efeitos de escorregamentos nos países em desenvolvimento estão vinculados, via de regra, a perdas humanas em áreas urbanas densamente ocupadas, ao passo que nos países desenvolvidos, são essencialmente perdas econômicas. Este fato, é explicado em função de maiores iniciativas de prevenção nos países mais desenvolvidos, enquanto nas principais metrópoles dos países mais pobres, os escorregamentos assumem proporções catastróficas, devido aos inúmeros cortes, aos aterros de depósitos de lixo, pelo desmatamento, as alterações da rede de drenagem, entre outras pressões antropogênicas desprovidas de um planejamento preventivo (BRUNSDEN & PRIOR, 1984; SIDLE et al., 1985; CROZIER, 1986; FERNANDES et al., 2004).

No Brasil, os desastres naturais em áreas urbanas estão essencialmente correlacionados aos processos de instabilização de encostas. Estes escorregamentos em taludes estão associados a eventos pluviométricos intensos e prolongados, repetindo-se a cada período chuvoso.

Conforme CARVALHO & GALVÃO (2006), vários estudos realizados em encostas de múltiplos municípios brasileiros apontam que, em todos eles, a carência em infraestrutura urbana constitui uma das principais causas dos fenômenos de escorregamentos. Deste modo, uma política eficiente de prevenção de escorregamentos em encostas precisa ser considerada como forma de atenuar os efeitos prejudiciais à população mais pobre.

De forma a se procurar enfrentar esta realidade, promulgou-se no Brasil, o Estatuto da Cidade, lei federal no 10.257, de 10 de julho de 2001, que determina em seu artigo segundo, que a política urbana deve programar e coordenar as ações estruturais e administrativas necessárias para o desenvolvimento das funções sociais da cidade.

Assim sendo, o plano diretor das cidades, obrigatório para as cidades com população superior a 20.000 habitantes, se propõe a definir a função social da cidade e da propriedade, objetivando solucionar os problemas que contribuem para degradação da qualidade de vida dos moradores e afirma a necessidade do estabelecimento de ações que planejem o espaço urbano (BRASIL, 2007).

Neste contexto, o presente trabalho de conclusão de curso apresenta o resultado de estudos voltados para avaliar qualitativamente as condições geológico-geotécnicas de um talude localizado na avenida Pierre Chalita, com enfoque na identificação da área em questão, com relação à susceptibilidade para escorregamentos de massa, cadastramento de possíveis pontos de atenção e por fim uma análise sobre o emprego de estruturas de contenção.

1.1 JUSTIFICATIVA

A ocorrência de desastres naturais no Brasil, como inundações, enxurradas e movimentos de massa, tem causado não apenas perdas significativas de vidas humanas, mas também grandes prejuízos econômicos. Municípios costeiros, como Maceió, são especialmente vulneráveis a esses eventos devido à ocupação desordenada e às condições geográficas. A cidade tem experimentado uma pressão imobiliária intensa, levando a populações de baixa

renda a ocupar áreas periféricas em encostas, aumentando assim a suscetibilidade a movimentos de massa.

Além disso, Maceió enfrenta um regime pluviométrico intenso, com volumes de chuva acima do esperado em alguns anos. Isso resulta em pontos críticos de ocorrência de movimentos de massa, muitas vezes relacionados a construções inadequadas em locais inadequados. Um exemplo é a Avenida Pierre Chalita, que sofre constantes deslizamentos de solo, colocando em risco pedestres e motoristas que transitam na região.

Diante desse contexto, este estudo se justifica pela necessidade de aplicar conhecimentos adquiridos na formação acadêmica para analisar a vulnerabilidade de taludes em áreas urbanas e propor soluções de prevenção de movimentos de massa. O objetivo é contribuir para a redução de riscos e a preservação de vidas humanas, bem como para a proteção do ambiente construído e da infraestrutura urbana. Essa pesquisa apresenta uma oportunidade de aplicar os conhecimentos adquiridos durante a formação acadêmica em um contexto prático e relevante.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho de conclusão de curso possui como objetivo principal avaliar qualitativamente a vulnerabilidade a escorregamentos de um talude localizado na avenida Pierre Chalita por meio de inspeções de campo, com uso de ficha cadastral de campo (BRASIL, 2007), analisando os possíveis fatores condicionantes que predisponham a ocorrência de movimentos de massa. Ainda neste contexto, faz parte do objetivo geral sugerir alternativas viáveis de contenção buscando minimizar prejuízos materiais e perdas humanas.

Para o desenvolvimento desse trabalho têm-se os seguintes objetivos específicos:

- Definir o talude que deverá ser estudado;
- Proceder a coleta das informações necessárias a partir de trabalhos de campo;
- Estabelecer a caracterização geológico-geotécnica do talude;

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho de conclusão de curso foi estruturado em seis capítulos descritos da seguinte forma:

O primeiro capítulo apresenta uma introdução ao assunto estudado, destacando o cenário de urbanização desordenada, ocupações irregulares. Também são apresentados a justificativa do tema, os objetivos do trabalho.

O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica abordando Movimentos de massa: conceitos, tipologias e fatores condicionantes, obras para estabilização de taludes.

No terceiro e quarto capítulos se apresentam a metodologia escolhida para alcance dos objetivos propostos e os resultados obtidos a partir da avaliação qualitativa de um talude localizado na avenida Pierre Chalita.

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões sobre o tema.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) define desastres naturais como "as consequências de um fenômeno natural de alta intensidade em uma área ou território povoado, que pode ou não ser agravado por atividades humanas" (INPE, 2016).

Nesse contexto, os desastres naturais consistem em deslizamentos de solo, escorregamentos e entre outras variações dos movimentos de massa que serão abordados na sequência, assim como, a análise sobre a susceptibilidade de uma área urbana, estabelecer a relação entre eventos pluviométricos e eventuais deslizamentos, tipos de obras de estabilização.

2.1 MOVIMENTOS DE MASSA

Este trabalho de conclusão de curso está voltado para a susceptibilidade geológica associada aos movimentos de massa, ou escorregamentos, no seu sentido amplo, assim como foi definido por CRUDEN (1990). Segundo este autor, o escorregamento é um movimento de rocha, terra ou detritos encosta abaixo.

Deslizamentos de terra e outros processos gravitacionais relacionados fazem parte de uma série de movimentos de massa inter-relacionados com a dinâmica de encostas. O movimento de massa é assim um processo que envolve grandes volumes de solo e/ou rocha que se deslocam conjuntamente e constitui um dos maiores processos na evolução e desenvolvimento de encostas, sobretudo em zonas mais íngremes (ZARUBA & MENCIL, 1976; GUIDICINI & NIEBLE, 1984, SELBY, 1993, entre outros).

Segundo AUGUSTO FILHO (1992), os movimentos de massa são divididos em quatro categorias principais: arrepios, deslizamentos stricto sensu, quedas e fluxos. A fluência é caracterizada por lentidão, alguns centímetros por ano. A queda de massa é o deslocamento gravitacional de maciços rochosos, afetado pela presença de discontinuidades (por exemplo, fraturas, bandas) e pela expansão e contração devido a flutuações de temperatura. Essas discontinuidades levam ao surgimento de caminhos preferenciais para a água, favorecendo a ruptura de taludes (AUGUSTO FILHO, 1992). Um fluxo de detritos é um movimento rápido no qual o material se comporta como um fluido altamente viscoso. Esses movimentos

geralmente começam como deslizamentos de terra e, ao entrarem na linha de drenagem, assumem a forma de uma corrida (AUGUSTO FILHO, 1992). A Tabela 1 apresenta os principais tipos de movimentos gravitacionais de massa associados a encostas.

Tabela 1- Movimentos gravitacionais acometidos em taludes

PROCESSOS	DINÂMICA/GEOMETRIA/MATERIAL
Rastejos (creep)	Vários planos de deslocamento (internos); Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade; Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes; Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada; Geometria indefinida.
Escorregamentos (slides)	Poucos planos de deslocamento (externos); Velocidades médias (m/h) a altas (m/s); Pequenos a grandes volumes de material; Geometria e materiais variáveis: - Planares: Solos pouco espessos, solos e rochas com 1 plano de fraqueza; - Circulares: Solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas; - Em cunha: Solos e rochas com dois planos de fraqueza.
Quedas (falls)	Sem planos de deslocamento; Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado; Velocidades muito altas (vários m/s); Material rochoso; Pequenos a médios volumes; Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc; Rolamento de matacão; Tombamento.
Corridas (flows)	Muitas superfícies de deslocamento; Movimento semelhante ao de um líquido viscoso; Desenvolvimento ao longo das drenagens; Velocidades médias e altas; Mobilização de solo, rocha, detritos e água; Grandes volumes de material; Externo raio de alcance, mesmo em áreas planas.

Nesse sentido, é relevante estabelecer a diferença entre talude e encosta. Considerando-se assim talude como a face inclinada de solo ou rocha que pode ser formado pela própria natureza, podendo também ser chamada de encosta, ou construído pelo homem, como em cortes e aterros (GERSCOVICH, 2012). De acordo com esse pressuposto, as encostas são classificadas como taludes naturais (GERSCOVICH, 2012).

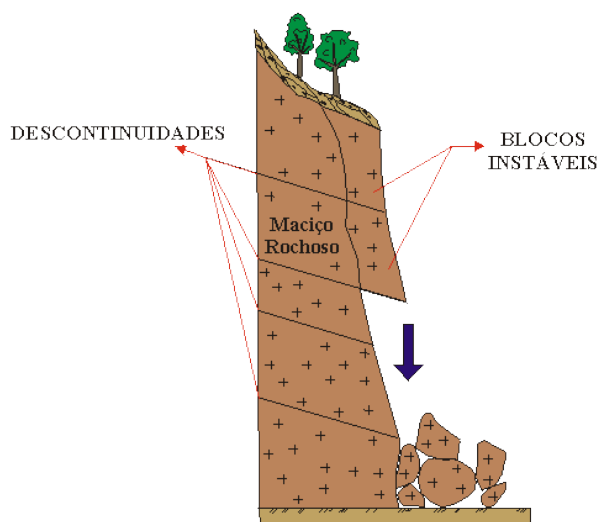
Desse modo, as encostas naturais são aquelas que podem ser formadas a partir de processos de transformação e decomposição in situ de maciços rochosos que não foram transportados de seu local original (solo residual), solo formados pela ação da gravidade (coluvionar), ou até uma mistura dos dois e rocha. Como a influência natural das forças de gravidade na iniciativa do movimento está sempre sujeita a problemas de instabilidade, os processos de movimento mudam em encostas naturais, ou seja, encostas que permaneceram estáveis por anos (GERSCOVICH, 2012).

Os escorregamentos de maiores intensidades acontecem em locais relativamente homogêneos que combinam coesão e alto atrito interno. Nestes locais, a superfície de deslizamento do solo tem a inclinação mais acentuada. Em geral, o deslizamento ocorre quando a relação entre a resistência ao cisalhamento de um material e a tensão de cisalhamento na superfície potencial diminui até que a unidade seja alcançada. Esta redução é geralmente gradual, com uma deformação gradual da massa de material situada acima da superfície de deslizamento potencial. A falha por cisalhamento ocorre ao longo da superfície de deslizamento quando a resistência ao cisalhamento do material diminui. Durante o primeiro estágio do deslizamento de terra, a massa em movimento acelera para frente. Quando ocorre o deslizamento, as forças que determinam o movimento são reduzidas e a massa se estabiliza. Assim o movimento para, ou atribuindo para si características do tipo de movimento chamado rastejo. Basicamente, os deslizamentos ocorrem devido ao movimento do manto alterado do talude, ao deslocamento da parte inferior (solo e rocha remanescentes) e à abertura de fissuras (GUIDICINI & NIEBLE, 1984; ALMEIDA FILHO et al., 1999, entre outros).

2.1.1 QUEDAS

Os movimentos de massa do tipo queda são caracterizados pela grande rapidez em que ocorrem. Eles são associados a movimentos de lascas e/ou blocos de rocha que estão soltos e se deslocam verticalmente em direção ao solo sob ação da gravidade. O início destes movimentos está vinculado à presença de vertentes acentuadas em elevações rochosas, sendo desenvolvidos por efeito da ação do intemperismo, por exemplo, pelas amplitudes térmicas, a expansão e contração de rochas e também por efeito da presença de descontinuidades (fraturas, planos de fraqueza) que desprendem blocos de rocha (IPT, 1991). A Figura 1 apresenta o movimento de massa tipo Queda.

Figura 1 - Movimento de massa do tipo Queda



Fonte : IPT,1991

Salienta-se que ainda existe uma categoria de “queda de detritos” que se refere a uma expressão usada para referenciar um processo que se encontra entre o conceito de queda de blocos e o de escorregamentos, sendo referida também como “queda relativamente livre”, com massas de fragmentos rochosos reduzidas e inconsolidadas, porém com movimentos de pequenas proporções (GUIDICINI, NIEBLE; 1983).

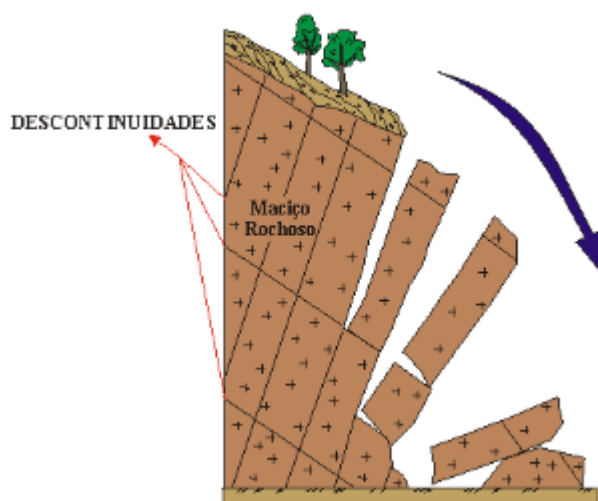
2.1.2 TOMBAMENTOS

Os tombamentos podem ser estabelecidos como sendo uma espécie de deslocamento rochoso que ocorre em velocidades que variam de regular a rápidas, nas quais a terra ou o corpo rochoso gira em torno de um ponto abaixo do baricentro da encosta em questão, devido à gravidade da massa solta. Este dinamismo ocorre também devido à ação da água ou do gelo sobre os níveis fracos existentes nesses corpos de rochas compactas (Coutinho e Silva, 2005).

Resumidamente, considera-se que os movimentos de massa do tipo “tombamentos” tratam-se de deslocamentos mais vagarosos que as quedas, ocorrendo especialmente em taludes formados a partir de um processo de corte, isto é, taludes onde ocorreram retirada de material, por conta disso, onde há certa descontinuidade, ocorre o desprendimento de parte das paredes do talude propiciando eventos de tombamentos (IPT, 1991).

Além disso, é significativo salientar que este tipo de deslocamento pode desencadear outros tipos de movimentos de massa como por exemplo as quedas ou escorregamentos, diferenciando-se entre si de acordo com a geometria do maciço rochoso que foi dinamizado e do alongamento de descontinuidades assim como a orientação das mesmas, se existirem (CRUDEN, VARNES, 1996; apud COUTINHO, SILVA; 2005) (Figura 2).

Figura 2- Movimento de massa do tipo tombamento



Fonte: IPT, 1991

2.1.3 ESCORREGAMENTOS

Os escorregamentos são definidos como movimentos rápidos, com limites laterais e profundidade bem definidos, com geometria que pode ser circular, planar ou em cunha, sendo que o principal agente deflagrador destes processos são as chuvas, podendo incluir solo, rocha ou ambos (IPT, 1991). São movimentos rápidos, com velocidade variando de m/h ou m/s, apresentam superfície de ruptura bem definida e o volume transportado é variado, mas pode ser facilmente medido ou inferido. São subdivididos em função do mecanismo de ruptura, geometria e material e geralmente são deflagrados devido à chuva. Os escorregamentos são classificados em: planares ou translacionais; circulares ou rotacionais; e em cunha (CAMPOS,2011).

Muitas vezes a primeira evidência deste processo é o surgimento de fissuras no solo e nas paredes das residências, sendo considerado uma condição alarmante a partir do momento em que o aparecimento dessas trincas estejam ficando mais alongadas. (IPT, 1991).

Existe ainda uma classe dos escorregamentos que são notados usualmente em taludes onde exista ocupação humana, denominado de “escorregamento induzido”. Esse tipo de escorregamento é caracterizado pela causa do seu desenvolvimento, geralmente ligado a ações antrópicas, fazendo com que essas próprias modificações humanas nas encostas potencializem tais acontecimentos através dos acúmulos de materiais nas mesmas, como o lixo por exemplo (IPT, 1991).

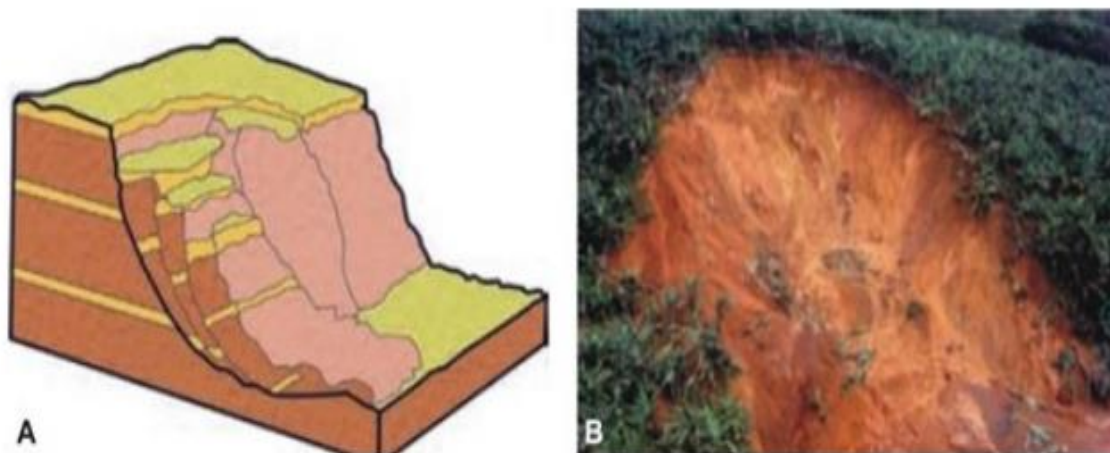
A rapidez desse movimento de massa decorre de três grandes influências, sendo elas a declividade da encosta que é suscetível a deslizamentos, da condição de saturação do terreno e do estímulo inicial para a deflagração do mesmo. Os escorregamentos mais abruptos acontecem em solos uniformes combinados com a declividade da face do talude (GUIDICINI e NIEBLE; 1983).

O IPT (1991) classifica os escorregamentos em conformidade com sua geometria em circular ou rotacional, planar ou translacional e em cunha, baseado na existência ou não de estruturas ou plano de fraqueza nos materiais movimentados, que influenciam na formação de superfícies de ruptura.

Conforme Fernandes e Amaral (2003), os escorregamentos rotacionais (Figura 3) possuem uma superfície de ruptura curva, côncava para cima ao longo da qual se dá um movimento rotacional da massa de solo. Estão relacionados a perfis de solos espessos e

homogêneos, de rochas argilosas ou cristalinas intensamente fraturadas. A natureza dos escorregamentos rotacionais está frequentemente relacionada a cortes na base das vertentes, sejam artificiais (implementação de estradas) ou naturais (erosão fluvial) no sopé da encosta.

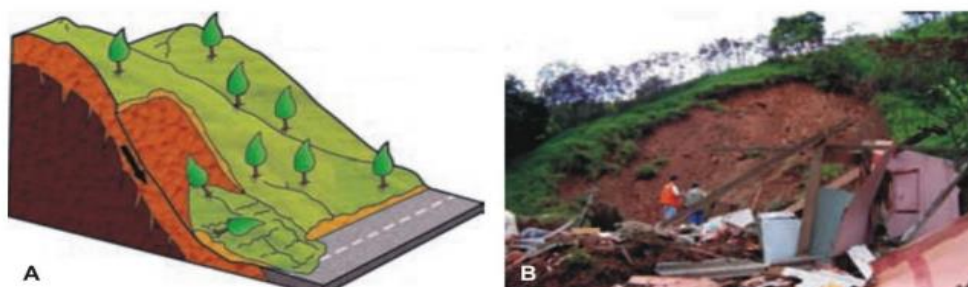
Figura 3 – Representação esquemática (A) e fotografia (B) de escorregamento rotacional



Fonte: Tominaga et al. (2009)

Nos escorregamentos translacionais (Figura 4), que representam a forma mais frequente entre todos os tipos de movimentos de massa, a superfície de ruptura com forma planar, geralmente relaciona-se com descontinuidades mecânicas do material. Estas descontinuidades podem ser resultantes da atividade de processos geológicos como acamamentos, fraturas, foliações, falhas ou dos contatos entre rocha, saprólito e solo maduro. São, em geral, compridos e rasos, onde o plano de ruptura encontra-se, geralmente, em profundidades que variam entre 0,5m e 5,0m. Geralmente, ocorrem durante períodos chuvosos (FERNANDES E AMARAL, 2003).

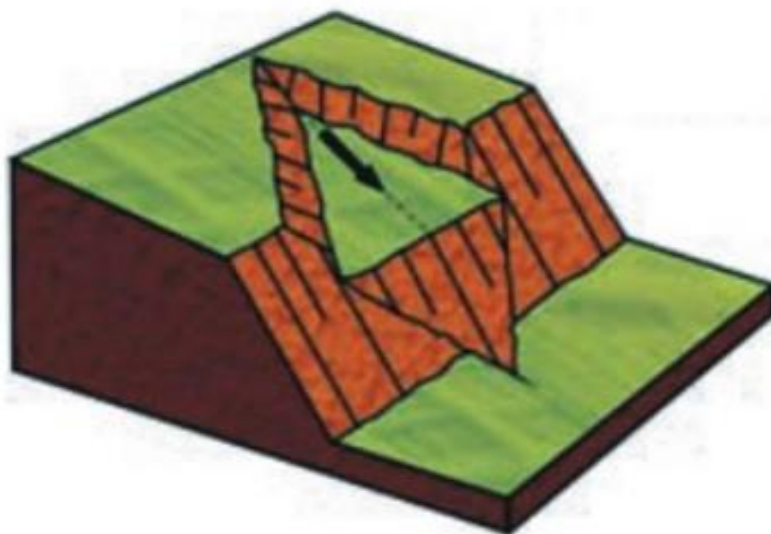
Figura 4 - Representação esquemática (A) e fotografia (B) de escorregamento translacional ou planar



Fonte: Tominaga et al. (2009).

Os escorregamentos em cunha (Figura 5) são restritos a regiões onde o relevo é fortemente controlado pela estruturação geológica, associados a maciços rochosos em diferentes estágios de alteração, nos quais duas estruturas planares condicionam o deslocamento de um prisma ao longo do eixo de interseção dos planos estruturais (TOMINAGA et al., 2009).

Figura 5 - Representação esquemática de escorregamento em cunha



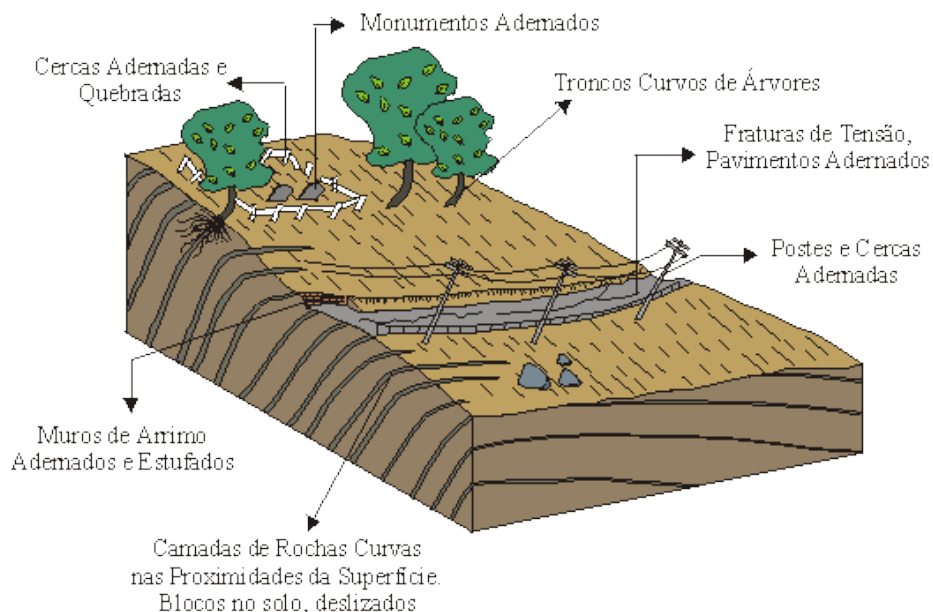
Fonte: Tominaga et al. (2009)

2.1.4 RASTEJO

O movimento de massa do tipo rastejo acomete com velocidades baixas, contínuo e sem superfície de ruptura definida, variando de milímetros a centímetros por ano, podendo abranger grandes áreas.

Esse processo geralmente ocorre na superfície, principalmente na transição solo/rocha e em declives baixos. Esses movimentos podem ser observados pela presença de rachaduras e degraus desabados ao longo do terreno e pela presença de árvores e postes diagonais. O principal fator regulador é artificial, pois os cortes são feitos na parte baixa do terreno (Figura 6).

Figura 6 - Movimento do tipo Rastejo



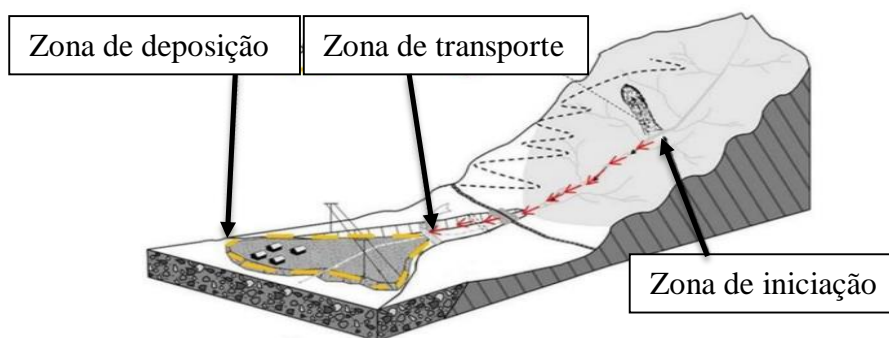
Fonte: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09a.html> Acesso: 29 de janeiro de 2023.

2.1.5 CORRIDAS

De acordo com o IPT (1991) os processos de corrida (Figura 7) são induzidos a partir de um grande aporte de material para as drenagens. Este aporte, combinado com um determinado volume d'água, forma uma massa com o comportamento de um líquido viscoso, de alto poder destrutivo e de transporte, e extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas. São provocadas por índices pluviométricos excepcionais.

São consideradas mais raras que outros movimentos de massa, ao mesmo tempo que resultam em maiores consequências destrutivas Fernandes e Amaral (2000) consideram as corridas (ou fluxos) como movimentos rápidos, em que os materiais se comportam como fluidos altamente viscosos, associadas com a grande concentração de água superficial.

Figura 7– Movimento de massa do tipo Corrida



Fonte: Nunes e Sayão, 2013

2.2 AGENTES CAUSADORES DE MOVIMENTO DE MASSA

No que diz respeito a suscetibilidade de solos a serem acometidos por movimentos de massa, Cerri & Amaral (1998) apud (Tominaga et al, 2009), afirmam que “a possibilidade de que algum movimento de terra ocorra está diretamente relacionado com a suscetibilidade da área em questão tem do mesmo acontece, ao passo que risco está associado à possibilidade de que tais eventos ocorram e os mesmos sejam danosos tanto nas questões sociais quanto econômicas (Tominaga et al, 2009)”. A descrição apresentada é bastante apropriada, pois traz o discernimento entre suscetibilidade e risco, expondo que o risco é calculável, seja em danificações, custos, vida humanas, entre outros. No que se refere a risco, O International Strategy for Disasters Reduction (ISDR), pertencente à Organização das Nações Unidas (ONU), definiu como “A probabilidade de consequências prejudiciais, ou danos esperados (morte, ferimentos a pessoas, prejuízos econômicos etc) resultantes da interação entre perigos naturais ou induzidos pela ação humana e as condições de vulnerabilidade.”

2.2.1 FATORES PREDISPONENTES

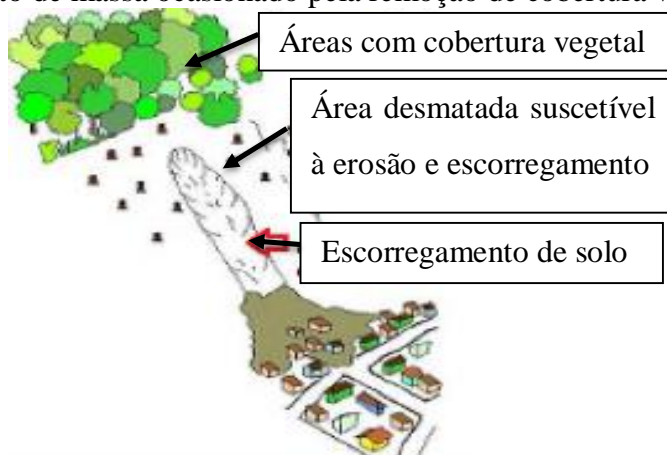
Os movimentos gravitacionais de massa são influenciados por fatores naturais ou humanos ou ambos. É fundamental compreender esses fatores para controlar e evitar a ocorrência desses movimentos.

Os fatores naturais são divididos em agentes predispostos e agentes efetivos. Os agentes predispostos são as características intrínsecas do ambiente natural, como o complexo geológico-geomorfológico (como o comportamento das rochas, o perfil e a espessura do solo) e o complexo hidrológico-climático (relacionado ao intemperismo físico-químico e químico).

A gravidade e a vegetação também podem ser incluídas nesta categoria. Já os agentes efetivos são os elementos diretamente responsáveis pelo início dos movimentos de massa, sendo eles classificados como preparatórios (como a pluviosidade, erosão pela água e vento, variação de temperatura e umidade, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação de níveis de lagos e marés, ação de animais e humana, incluindo a degradação da floresta) e imediatos (chuva intensa, vibrações, derretimento de gelo, terremotos, ondas, vento, ação humana, etc) (IPT, 2007).

O desmatamento aumenta a chance de escorregamentos superficiais em comparação com áreas com cobertura vegetal preservada, exceto nas áreas com grande presença de bananeiras, pois seu sistema radicular pouco profundos e altos poderes de retenção de água agem como um peso adicional, prejudicando a estabilidade do talude (Figura 8) (CAMPOS, 2011).

Figura 8 - Movimento de massa ocasionado pela remoção de cobertura vegetal



Fonte: (Campos, 2011)

Sem um sistema de drenagem de águas pluviais, a água pode infiltrar no solo através de fissuras, resultando em saturação do solo e uma diminuição na sua resistência. Isso pode levar a quedas de cortes e aterros. O problema é agravado durante períodos de chuva, quando a saturação do solo aumenta naturalmente. A Figura 9 ilustra a falta de drenagem pluvial em uma encosta urbana.

Figura 9- Inexistência de drenagem pluvial em encosta urbana



Fonte: Google Maps na Av. Pierre Chalita (2022)

Quando se trata de águas residuais, a falta ou ineficiência de sistemas de esgotamento sanitário resulta em infiltração contínua no solo, o que leva à saturação e, conseqüentemente, à queda de cortes e aterros (Figura 10). O problema se torna mais grave durante períodos chuvosos, pois o solo já está mais saturado.

Figura 10 - Lançamento de águas servidas na Favela do Bolão



Fonte: Ascom Crea

O vazamento na rede de fornecimento de água pode levar à saturação do solo, reduzindo sua capacidade de resistência e facilitando a instabilidade de cortes e aterros. Esse problema pode ser causado por uma construção inadequada da rede de abastecimento de água, onde os moradores usam canos e mangueiras inadequados, com muitas emendas e próximos à superfície, tornando-os suscetíveis a furos. A Figura 11 ilustra a situação com vazamentos na

rede de drenagem, mostrando o efeito na instabilização de cortes e aterros devido à presença de água dentro deles.

Figura 11- Vazamento da rede de distribuição de água



Fonte: (Campos, 2011)

A instalação de fossas sanitárias é uma solução comum em regiões sem acesso à rede coletora de esgoto. No entanto, em muitos casos, principalmente em comunidades de baixa renda, essas fossas são construídas sem revestimento adequado, o que leva à contaminação do lençol freático. Além disso, em áreas com declividade, os vazamentos podem resultar na saturação do solo e comprometer a estabilidade de cortes e aterros, conforme ilustrado na Figura 12.

Figura 12- Vazamento de fossa sanitária



Fonte: (Campos, 2011)

Nas encostas, é comum a realização de cortes, seja para a implantação de rodovias ou para construção de habitações, no entanto, muitas vezes, a altura e inclinação destes cortes não se adequam à resistência do solo, o que pode resultar em escorregamentos (Figura 13). Em solos formados por processos de alteração, cortes mal planejados que desconsideram as

estruturas residuais da rocha, como fraturas e descontinuidades, e o plano de mergulho do material de origem, podem causar rupturas planares.

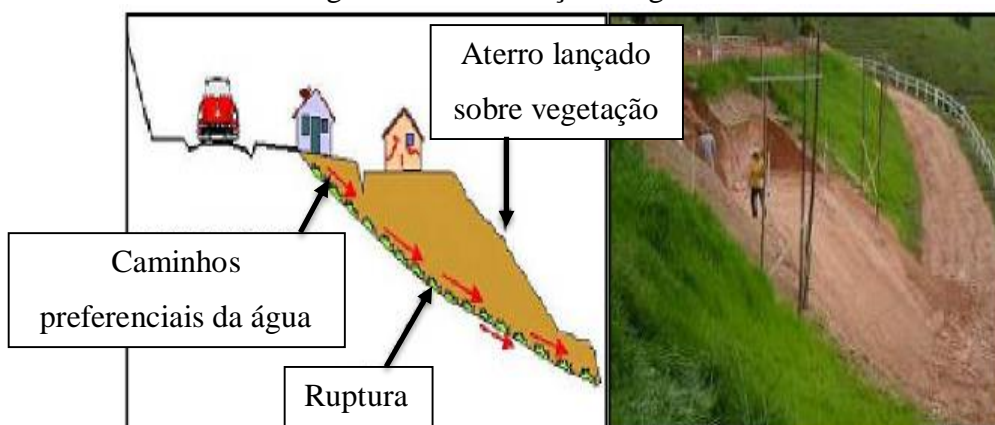
Figura 13- Cortes com declividade excessiva e altura expressiva



Fonte: (Campos, 2011)

A incidência de deslizamentos em taludes é uma ocorrência corriqueira, especialmente quando são construídos de maneira inadequada, sem a devida compactação do material. Sem essa compactação, o material cria condições propícias para a formação de rotas privilegiadas para a água da chuva entre a superfície do terreno e a base do talude, como mostrado na Figura 14. A situação mais crítica para o rompimento é quando o talude é construído sobre fontes de água, embora seja a ocorrência menos frequente.

Figura 14 - Construção irregular de aterro



Fonte: (Campos, 2011)

A descarga de resíduos e detritos nas encostas, como ilustrado na Figura 15, propicia o surgimento de deslizamentos, pois o material é altamente permeável e, em períodos de chuva, reúne água, tornando-se um fardo adicional, causando a movimentação da massa. A situação

pode piorar quando esse lixo é descartado sobre as linhas de escoamento, sejam elas naturais ou artificialmente criadas.

Figura 15 - Lançamento de lixo em encosta



Fonte: Fabisak, Bobby (2015)

Na Tabela 2 são apresentados os agentes causadores de movimento de massa.

Tabela 2 - Agentes causadores de movimentos de massa

Causas geológicas	<ul style="list-style-type: none"> a. Materiais fracos b. Materiais sensíveis c. Materiais desgastados (intemperizados) d. Materiais cisalhados e. Materiais fissurados f. Massa com descontinuidade orientada adversamente (estratificação, xistosidade, etc.) g. Estrutura com descontinuidade orientada adversamente (falha, contato, sem conformidade) h. Contraste na permeabilidade i. Contraste na rigidez (duro, material denso sobre material plástico)
Causas morfológicas	<ul style="list-style-type: none"> a. Subpressão tectônica ou vulcânica b. Reação glacial c. Erosão fluvial de pé de talude d. Erosão de onda de pé de talude e. Erosão glacial de pé de talude f. Erosão de margens laterais

	<p>g. Erosão subterrânea (dissolução, “pipping”)</p> <p>h. Deposição de carga no talude ou na sua crista</p> <p>i. Remoção da vegetação (por fogo na floresta, seca)</p>
Causas físicas	<p>a. Chuvas intensas</p> <p>b. Derretimento rápido de neve</p> <p>c. Precipitação excepcional prolongada</p> <p>d. Rebaixamento rápido (de inundações e marés)</p> <p>e. Terremoto</p> <p>f. Erupção vulcânica</p> <p>g. Descongelamento</p> <p>h. Intemperismo/desgaste devido ao congelamento e descongelamento</p> <p>i. Intemperismo/desgaste devido à contração e expansão</p>
Causas humanas	<p>a. Escavação de talude ou de seu pé</p> <p>b. Carregamento de talude ou de sua crista</p> <p>c. Rebaixamento (de reservatórios)</p> <p>d. Desmatamento</p> <p>e. Irrigação</p> <p>f. Mineração</p> <p>g. Vibração artificial</p> <p>h. Vazamentos de águas servidas ou de abastecimento</p>

2.3 OBRAS DE ESTABILIZAÇÃO DE ENCOSTAS

É importante ressaltar que cada talude ou encosta se comporta de maneiras diferentes e possuem fatores atuantes diversos entre si, então é preciso que se estude todas as particularidades que tornam cada um deles únicos para se alcançar a estabilidade do mesmo. Nesse sentido, são necessárias minuciosas análises considerando cada fator de instabilidade presente no talude (CARVALHO, 1991 a partir de DUTRA, 2013).

Ainda neste contexto, para selecionar uma obra de estabilização como solução para instabilidade de uma encosta é necessário ter referência dos principais tipos dessas obras, assim como, a maneira que as mesmas atuam no solo e na estabilidade com o intuito de obter uma resposta satisfatória com relação a obra de contenção que deve ser executada (COUTINHO; SILVA, 2005). Neste intuito de estabelecer a citada referência completa, GOERIO (2000) determina três estágios diferentes contemplados a seguir.

O primeiro estágio diz respeito ao diagnóstico do talude, onde serão feitos os reconhecimentos da identidade dos movimentos de massa que podem ocorrer em determinada encosta por meio de estudos do comportamento do solo e das rochas do local.

Uma vez que se tenha os dados necessários para a análise e estudo do solo em questão, o segundo estágio se inicia com a execução da obra de contenção, onde se busca estabilizar os problemas do talude em questão.

A terceira fase diz respeito sobre o estágio de fiscalização e controle do funcionamento e desempenho da obra de estabilização que foi escolhida como sendo a melhor solução para o problema em questão por determinado tempo. As obras de estabilização foram agrupadas em principais classe por Carvalho (1991) e Coutinho (2005), como se pode ver abaixo:

Tabela 3 - Principais tipos de obras de estabilização de taludes e encostas

GRUPOS	TIPOS
Obras sem estrutura de contenção	- retaludamentos (corte e aterro) - drenagem (superficial, subterrânea) - proteção superficial (naturais e artificiais)
Obras com estrutura de contenção	- muros de gravidade - atirantamentos - aterros reforçados - estabilização de blocos

Obras de proteção	- barreiras vegetais - muros de espera
-------------------	---

Fonte: CARVALHO, 1991 apud COUTINHO; SILVA, 2005.

Por meio de exames geológicos e geotécnicos do subsolo, é possível identificar os elementos que influenciam um talude, como mencionado anteriormente.

Em termos de estabilização de encostas, serão apresentadas a seguir algumas das obras de reforço mais comumente empregadas para solucionar o problema de insegurança de taludes, com base na divisão em grupos e nas soluções básicas para a estabilização de encostas em solo (GEORIO 2000).

2.3.1 Obras sem Estrutura de Contenção

De acordo com SANTANA (2006) as obras sem estrutura de contenção contemplam o retaludamento, a drenagem e a proteção superficial. Os principais objetivos desse tipo de obra são o aumento dos esforços que ajudam na estabilização do talude e a moderação dos fatores que ajudam na ocorrência de movimentação do solo. Salienta-se que nem sempre é possível estabilizar um talude somente com obras de retaludamento sendo necessária em alguns casos a combinação de dois ou mais métodos para se alcançar esse objetivo (COUTINHO, 2008 apud SILVA, 2010).

2.3.1.1 Retaludamento

O retaludamento diz respeito ao ato de executar cortes e aterros e são qualificadas como sendo obras que possuem finalidade de configurar a geometria do talude por meio de cortes na face de cima do mesmo para que ocorra uma mitigação dos esforços solicitantes que existam nesse local como podemos observar que foi executada no exemplo do aterro da Figura 16. Outra variação aplicada como recurso em alguns casos se dá através da efetuação de aterros

comprimidos na base das encostas, para atuarem como uma carga harmonizadora no trecho inferior da vertente (IPT, 1991).

Figura 16 - Exemplo de retaludamento



Fonte: Google Maps na Avenida Gov. Afrânio Lages (2022)

Em relação a retaludamentos, salienta-se que em alguns casos pode existir a possibilidade de modificações nos mesmos, tais modificações podem se dar desde porções reduzidas da encosta e se estender até todo o perfil da declive e necessitam de espaço satisfatório para a sua execução (IPT, 1991).

a) Cortes

Compõem a escavação, com o uso de ferramentas mecânicas adequadas, materiais integrantes do solo natural, analisando e seguindo as características presentes no projeto, como declividade, estatura, entre outros (IPT, 1991).

b) Aterros

Trabalhos que envolvam espalhar, embeber ou arejar o solo e compactar mecanicamente o mesmo em uma área já predefinida. A fim de confirmar as qualidades adequadas de resistência, deformabilidade e permeabilidade para o aterro, enfatizando a importância da compactação. (IPT, 1991)

2.3.1.2 Drenagem

Trata-se de uma estrutura com a finalidade de captar a água da chuva e a conduzir para fora do terreno. Já no que diz respeito ao método de drenagem utilizado em talude, o mesmo é catalogado entre drenagem profunda ou subsuperficial e drenagem de estruturas de contenção.

O propósito de uma obra de drenagem tem como principal objetivo atingir e deslocar adequadamente as águas superficiais e subterrâneas de uma vertente, com a finalidade de evitar contingências, como erosões e escorregamentos, por exemplo (IPT, 1991). Seguidamente serão apresentadas algumas das obras mais optadas para a realização do sistema de drenagem:

a) Drenagem superficial

Com o auxílio de seus dispositivos, a drenagem superficial capta o escoamento do material drenante e o conduz para um local apropriado ou para um sistema de macrodrenagem, com a finalidade de impedir a ocorrência de processos erosivos e regular a penetração hídrica na terra, auxiliando na consolidação de encostas por entre combate a erosão, em razão de manutenção das particularidades geométricas e combate aos movimentos de massa, devido ao restringimento das pressões de filtração dos elementos solúveis do solo e sua diminuição (SILVA, 2010).

- Canaletas

Trata-se de canais, usualmente abertos, com a finalidade de recolher os elementos hídricos presentes na encosta, em sua maioria bastante utilizados em obras de retaludamento e no meio fio de calçadas. Existem dois tipos de canaletas possíveis e consideradas, sendo elas: moldadas in loco e pré-moldadas como é possível observar na Figura 17 (IPT, 1991).

Figura 17 - Drenagem superficial do tipo canaletas pré-moldadas



Fonte: Altiplano Engenharia Ltda.(2018)

- Escadas d'água

Quanto às escadas d'água, trata-se de canais, que podem ser abertos ou fechados, estruturados em formas de degraus nas encostas de corte e aterro, com a finalidade de recolher e encaminhar os elementos hídricos apreendidos pelos canais de concreto como é o exemplo da Figura 18. Geralmente são utilizadas em taludes com grandes declividades, sendo capazes de carregar grandes quantidades de água sem obstáculos de processos erosivos no concreto e sua principal vantagem sobre as canaletas e tubos de concreto é não necessitar de caixas de dissipação (IPT, 1991).

Figura 18 - Exemplo de escada d'água



Fonte: <https://www.avpsa.com.br/escada-hidraulica-drenagem>

- Caixas de dissipação e transição

Sua construção se dá nas canaletas, nas tubulações de concreto e nas escadas d'água, intencionando a redução e o monitoramento da rapidez do fluxo hídrico reunido, impedindo problemas de processos erosivos no solo no local onde as águas são liberadas (IPT, 1991). Já no que diz respeito a caixas de transição, trata-se daqueles tem como propósito guiar da melhor maneira o percurso dos elementos hídricos visando o desaparecimento da energia das águas, regulando a rapidez dos movimentos delas e fazendo com que não aconteçam deterioração no concreto como é o exemplo da Figura 19 (IPT, 1991).

Figura 19 - Exemplo de caixa de dissipação em drenagem superficial



Fonte: <https://resiteccontencoes.com.br/portfolio/escada-hidraulica-para-aguas-pluviais-rj/>

b) Drenagem profunda

O modelo de drenagem em questão intenciona a evacuação da água da percolação interna do talude, com a finalidade de limitar o vazamento de percolação e as pressões neutras intersticiais.

Os procedimentos de enchimento vindas de águas pluviais podem alterar as condições hídricas da água da encosta, o que acaba causando a redução das absorções dos poros do solo e acréscimo na pressão dos mesmos, causando assim uma diminuição da tensão efetiva e da estabilidade resistiva quanto ao corte do talude, se tornando assim um fator que ajuda com a fragilidade da encosta (SILVA, 2010).

Vale enfatizar que fatores antrópicos presentes em áreas urbanas podem provocar alteração na situação hidrológica dos taludes, tendo como exemplo a existência de fossas, vazamento de tubulações de água e o lançamento de esgoto. Tais condições necessitam ser consideradas na realização de projetos para a solidificação e estabilidade de taludes (SILVA, 2010).

- Trincheiras drenantes

Refere-se a vales cujo objetivo principal é interromper, colher e escoar a água subterrânea, com a finalidade de impossibilitar o saturamento das declives em corte e da base dos terrenos (Figura 20). (IPT, 1991).

Figura 20 - Exemplo de trincheira drenante em execução



Fonte: <https://www.diprotec.com.br/solucao/drenagem-profunda/>

- Drenos horizontais profundos

Os drenos horizontais profundos se tratam de ductos que são postos em perfurações de sondagem sub-horizontais para que se possa alcançar as águas de aquíferos e captá-las. Eles são estruturas de drenagem constituídos por ductos que possuem pedaços com perfurações, enrolados em geotêxtil e são inseridos através de perfurações feitas na face da encosta com vertentes horizontais. É importante saber também que na extremidade desse ducto, é alocado

uma bucha para que não haja a entrada de corpos de terra para dentro do mesmo (SILVA, 2010). Essa categoria de drenagem profunda age como um tipo de conserto e/ou precauções de possíveis acontecimentos de deslizamentos de terra causados pela inconstância quanto à elevação do lençol freático ou do nível piezométrico de águas subterrâneas (Figura 21). Os drenos horizontais vêm se mostrando como o único método para se recorrer quando ocorre algum tipo de deslizamento de força ampliada. (IPT, 1991)

Figura 21 - Exemplo de drenos horizontais profundos instalados



Fonte: <https://www.engestab.com.br/dreno-horizontal-profundo>

2.3.1.3 Proteção Superficial

Por fim, a última obra sem estrutura de contenção que será abordado nesse estudo é a do tipo proteção superficial, que tem como objetivo remediar o acontecimento de erosões no solo e regular o encharcamento da face externa do talude, tendo em mente que a exposição da face externa da encosta é uma das principais causas para o acontecimento de processos erosivos por conta da remoção dessa camada natural de plantas (SILVA, 2010). Dentro da proteção superficial é possível encontrar dois tipos distintos de classificação, sendo elas diferenciando-se de acordo com o tipo de material utilizado, classificando-se em natural ou artificial, sendo as naturais o tipo de proteção mais economicamente satisfatória (IPT, 1991).

a) Proteção superficial com materiais naturais

- Cobertura vegetal

A proteção superficial natural do tipo cobertura vegetal é considerada um método bastante simples e executada em locais onde a flora local foi desmatada e apresentam grandes ameaças de movimentos de terra, tendo assim como principal objetivo reforçar a estabilidade

do solo e o proteger contra eventos erosivos e regular o encharcamento do local através do realocamento da vegetação local (Figura 22). (IPT, 1991)

Figura 22 - Exemplo de cobertura vegetal



Fonte: <https://www.maccaferri.com/br/solu%C3%A7%C3%B5es/protecao-de-taludes/>

- Cobertura vegetal com gramíneas

Esse tipo de proteção superficial também é indicada para locais onde ocorreram desmatamentos e estão suscetíveis a processos erosivos, a diferença é que esse tipo será remediado através do crescimento de gramíneas no local, seja ele um talude natural, de corte ou aterro como a exemplo da Figura 23. Os principais objetivos desse tipo de proteção é contribuir com a drenagem da água do local e melhorar a estabilidade do talude por meio de um certo efeito de impedimento do movimento do solo através de suas raízes (IPT, 1991).

Figura 23 - Exemplo de proteção superficial com gramíneas



Fonte: Google Maps em Parque Shopping Maceió (2016)

b) Proteção superficial com materiais artificiais

- Impermeabilização com cimento

A impermeabilização cimentada diz respeito a um composto de cimento Portland com areia que é usada sobre a encosta da base até o topo, porém para esse tipo de impermeabilização a face do talude deve ser lavada, nivelada e preparada, logo após todo o preparo, a combinação do cimento com areia é posta por cima dele (Figura 24).

Figura 24 - Aplicação de cimento em talude



Fonte: NicoTecSP (2012)

- Impermeabilização com pedras ou lajotas

Os agrupamentos de pedra rachão são dispostas em taludes com travamento maior na interface pedra/solo natural e são rejuntadas com cimento e argamassa. Uma outra alternativa é usar lajes pré-fabricadas revestidas com argamassa e re-inclinadas para reduzir a inclinação da encosta, pois esse material não adere bem ao solo. Independentemente do material utilizado, devem ser instalados sistemas de microdrenagem externa de parede e superfície (Figura 25).

Figura 25 - Exemplo de impermeabilização com pedras ou lajotas



Fonte: <https://metalica.com.br/protECAo-superficial-de-taludes-2/>

- Impermeabilização asfáltica ou com polietileno

Refere-se a um tipo de proteção superficial que possui uma característica por ser usado em situações urgentes e resume-se na desferição de uma capa fina de asfalto diluído a quente, requerendo manutenção contínua, pois em virtude do calor a fina camada sofre danificação e não possui resistência a perturbações ou sobrecargas.

- Impermeabilização com lonas plásticas

Refere-se também a um tipo de proteção superficial que assim como impermeabilização asfáltica possui uma característica por ser usado em situações urgentes, amplamente aplicadas no inverno. Porém, as do tipos plásticas necessitam ser inseridas antes da saturação total do talude e perfeitamente colocadas, sobrando apenas plantas de pequeno porte. No topo do talude deve ser cavado um rego para servir de canaleta e de estabilização para a lona que ficará por cima (Figura 26).

Figura 26 - Impermeabilização de talude com lonas plásticas



Fonte: Google Maps na Avenida Gov. Afrânio Lages (2022)

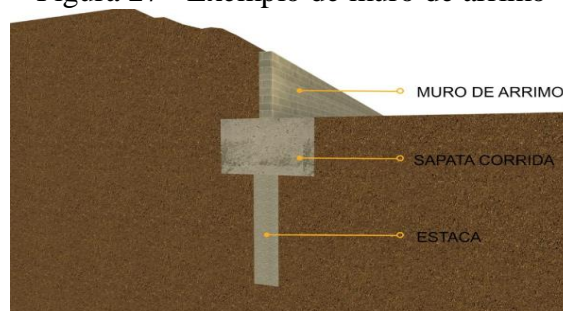
2.3.2 Obras com Estrutura de Contenção

Quanto a obras com estrutura de contenção, referem-se às estruturas que firmadas num talude ou vertente, passam a proporcionar estabilidade e menos suscetibilidade a movimentos de massa ou à quebra do mesmo, ou até tornando a encosta mais forte e sólida (WOLLE, 1980 a partir de SILVA, 2010) sendo, na maior parte das vezes, obras de valores mais exacerbados do que aquelas que não possuem estrutura de contenção. Para exemplificar, a seguir serão apresentadas as particularidades de alguns tipos de obras que possuem estruturas de contenção mais popularmente aplicadas.

2.3.2.1 Muros de Gravidade

Esse tipo de obra com contenção também é denominado como “muro de arrimo”, os muros de gravidade tratam-se de um modelo de obra cujo suas estruturas combatem os empuxos horizontais, fazendo a utilização do próprio peso para garantir a estabilidade de um talude como mostra o esquema da Figura 27. Os mesmos podem ser construídos através da utilização de diversos tipos de materiais, como por exemplo: blocos de concreto ou cerâmicos, possuindo ou não, estrutura metálica. Há também a opção de se utilizar pedras, com solo de cimento ou gabiões de pedras para a sua construção (SILVA, 2010). Esse tipo de obra com contenção também são bastante recorridos quando não existe no talude uma solicitação muito grande, pois quanto mais essas solicitações e esforços que o talude exerça, mais a estrutura fica mais cara de ser executada e mantida, além da necessidade de disposição de um espaço maior para a implementação do mesmo (IPT, 1991).

Figura 27 - Exemplo de muro de arrimo



Fonte: <https://construindocasas.com.br/blog/construcao/muro-de-arrimo/>

2.3.2.1.1 Muro de Pedra Rachão

Popularmente conhecido por sua fácil execução, o muro de pedra rachão possui uma estrutura firme, entretanto, não sendo apropriado para terrenos que possuem uma baixa capacidade de sustentação, justamente por não conseguirem suportar anomalias. Por ser de fácil execução, trata-se de uma técnica que pode ser feita através de mão de obra pouco qualificada. Para a execução da técnica são utilizados argamassa massa e cimento, areia (1:4) e rochas que possuem granitos, sendo o diâmetro médio superior a 0,30m, possibilitando assim um bom acabamento para a face de fora da obra. Já no que diz respeito aos espaços internos da estrutura,

os mesmos devem ser revestidos com argamassa e o mesmo se aplica para a superfície, que necessita de no mínimo 2 cm de espessura para o seu revestimento (Figura 28).

Figura 28 - Exemplo de muro de pedra rachão



Fonte: <http://estanciapedras.com.br/portfolio/muro-de-pedra-rachao/>

2.3.2.1.2 Muro Gabião

Segundo Onodera (2005), os muros de gabião (Figura 29) são considerados como muros de gravidade, pois a resistência em contenção vem do seu próprio peso. Os gabhões são formados por gaiolas metálicas com fios de aço galvanizados, com dupla torção que formam uma malha hexagonal, preenchidas com pedras cujo diâmetro é maior que a malha, evitando o desprendimento da estrutura.

Figura 29 - Exemplo de muro de gabião



Fonte: <https://www.maccaferri.com/br/o-sucesso-duradouro-gabiao-da-maccaferri/>

2.3.2.1.3 Muro de Concreto Ciclóptico

Para Soares et al. (2012), os muros de concreto ciclóptico (Figura 30) são estruturas formadas por concreto que possuem agregados graúdos com texturas diferentes, extraídos de blocos de rocha com variadas dimensões. Sua construção é realizada através do preenchimento de formas que criam suas dimensões, sendo que, na grande maioria de suas aplicações, a altura possui cerca de duas vezes o comprimento transversal da base, formando um trapézio perfeito.

Figura 30 - Exemplo de muro de concreto ciclóptico



Fonte: Google Maps na Av. Comendador Gustavo Paiva (2022).

2.3.2.1.4 Muro de Concreto Armado

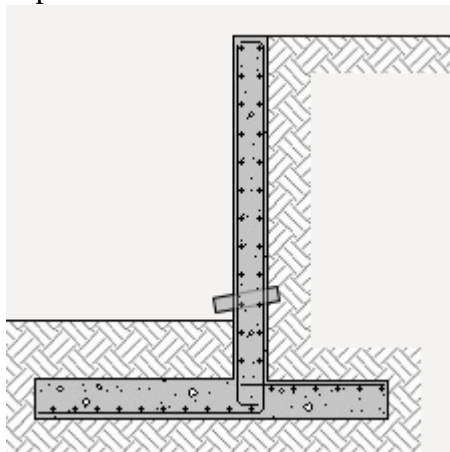
No que diz respeito a muros de concreto armado, existe uma variedade de formas e sua principal vantagem é reduzir a área ocupada pela obra, apesar de possuírem o custo mais elevado se comparado com as demais categorias de muros de gravidade. Os muros de concreto armado possuem a sua estabilidade assegurada através do peso do sistema de terraplanagem do tipo retroaterro, que atua sobre a fundação do muro encarregando-se para que ele funcione como uma estrutura de gravidade (ALHEIROS et al, 2003).

Os muros de concreto mais predominantes são (GEORIO, 2000)

- Muro em L (ou T invertido): habitualmente apontados para alturas que sejam inferiores a 6m (Figura 31);

- Muros com contrafortes no interior e no retroaterro: os contrafortes trabalham através de uma força aplicada perpendicularmente a sua superfície e são utilizados para diminuir a seção transversal de muros que possuam a altura acima de 6m ;
- Muros com gigantes em sua face externa: trabalham com a pressão exercida sobre eles, entretanto, são bem menos utilizados que os dois tipos citados anteriormente.

Figura 31 - Exemplo de muro de concreto armado em T invertido



Fonte:

http://www.brasil.geradordeprecos.info/obra_nova/Urbanizacao_interna_do_lote/Contencoes/Muros_de_contencao/Muro_de_contencao_de_concreto_armado.html#gsc.tab=0

2.3.2.1.5 Muro de Solo Cimento Ensacado

São realizados por meio do empilhamento de sacos de poliéster preenchidos com solo-cimento. Para a realização da mistura de enchimento, o solo é submetido a um peneiramento, deixando sua textura homogênea, livre de materiais graúdos e de impurezas, em seguida, misturado com cimento com proporções volumétricas que variam de 10:1 a 15:1 (solo:cimento), dependendo sempre do solo a ser contido (Figura 32). Depois desse trabalho adiciona-se água, até que a mistura alcance a umidade ótima, conhecida através de ensaios de laboratório (Jesus, 2013).

Figura 32 - Exemplo de solo cimento-ensacado



Fonte: <https://entendaantes.com.br/muro-de-arrimo/>

2.3.2.2 Outras Estruturas de Contenção

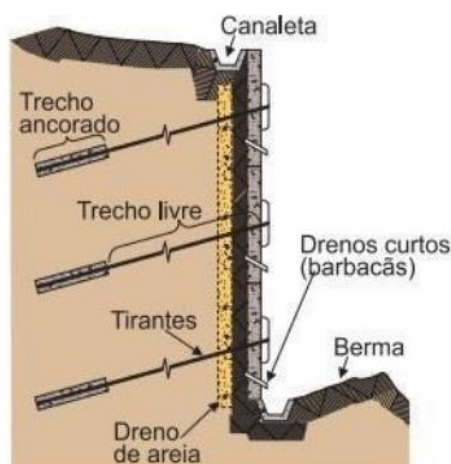
Continuamente serão desenvolvidas algumas particularidades significativas a respeito de algumas soluções pouco habituais em nossa região, que necessita de um custo de execução mais exacerbado, conseqüentemente, devem ser apenas utilizadas em situações específicas ou quando não é possível acatar alguma outra estrutura de contenção das quais foram mencionadas anteriormente (IPT, 1991).

2.3.2.2.1 Tirantes

Também conhecida como ancoragem, os tirantes trata-se de elementos lineares, elementos estes capazes de transmitir esforços de tração entre suas extremidades e que podem ser inseridos na rocha ou no solo (GEORIO, 2000). Sendo assim, a título de exemplo, uma cortina ancorada trata-se de uma parede de concreto armado e assentado no terreno através da utilização de tirantes, o qual tem o principal objetivo de atingir uma estrutura firme o suficiente para diminuir os deslocamentos do terreno (Figura 33). As condições imprescindíveis para que seja feita a execução deste tipo de obra é a existência de horizontes firmes o suficiente e

constantes do maciço para a ancoragem dos tirantes a profundidades adequadas (WOLLE, 1980 apud SILVA, 2010).

Figura 33 - Exemplo de solo com cortina atirantada



Fonte: <https://talusengenharia.com.br/o-que-e-a-cortina-atirantada/>

2.3.2.2.2 Solo Reforçado

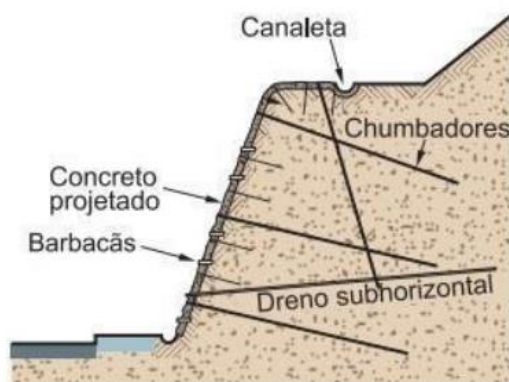
Para Silva & Ehrlich (1992), o solo reforçado refere-se à junção de dois materiais distintos que juntos formam um elemento resistivo à compressão do solo e à tração do reforço diminuindo a deformabilidade do maciço. Esse tipo de estrutura é normalmente preferível com relação aos mais comuns por ser bastante rentável e pela sua facilidade de implementação, pois ele não exige o porte de mecanismos reforçados para ser executado, ele também é condescendente no que diz respeito às alterações do solo e a sua rigidez é executada no próprio local (SILVA, 2010).

2.3.2.2.3 Solo grampeado

Esse tipo de estrutura de contenção normalmente é utilizado em ocorrências de cortes ou perfurações do solo. O solo grampeado diz respeito ao emprego de componentes firmes, sendo utilizados os grampos nesse tipo de obra, com o objetivo de somar resistência ao deslocamento e ao corte como na Figura 34. Essa solução é bastante utilizada em encostas com

declividades moderadas sem que sejam necessários cortes para o levantamento de paredes ou muros de arrimo (COUTINHO; SILVA, 2005).

Figura 34 - Exemplo de solo grampeado



Fonte: <https://talusengenharia.com.br/o-que-e-a-cortina-atirantada/>

2.4 CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DE OBRAS DE ESTABILIZAÇÃO.

A parte dos critérios para escolha da obra mais eficaz e viável é essencial para a contenção de possíveis deslizamentos de terra e de remediação de locais onde podem vir a ocorrer alguma situação ou evento danoso. Levando em consideração a importância de tal tópico e tendo em mente toda a síntese sobre possíveis obras de contenção e sobre diferentes tipos de movimentos de terras, apresenta-se a seguir alguns desses critérios para auxiliar na escolha da obra de estabilização.

A predileção e escolha entre uma obra e outra tem que levar em conta os diferentes tipos de obras existentes mais relevantes, assim como os mesmos atuam e as demandas que impõem ao solo e claro o mais viável economicamente falando também (AUGUSTO FILHO & VIRGILI 1998 e COUTINHO & SILVA 2006). Ao fim da realização de todos os estudos de aspectos geológicos e geotécnicos do solo ou do talude em questão, assim como se o mesmo seria rentável ou não. A ação de contenção escolhida deve agir levando em consideração todos os fatores que levam o talude a possuir uma instabilidade já investigada, e esses caminhos que serão seguidos devem sempre ter como base a mais acessível e com a melhor relação custo x benefício. A seguir podemos observar a Tabela 4 que relaciona fatores que agem diretamente na instabilidade de taludes juntamente com as ações que podem ser tomadas para propiciar um maior assentamento.

Tabela 4 - Escolha do método de estabilização de acordo com o agente atuante

PRINCÍPIOS	OBRAS
<p>Redução da poro-pressão (drenagem)</p>	<p>a) Superficial</p> <ul style="list-style-type: none"> - Valetas de crista de talude ou de plataforma; - Canaletas, canais com ou sem revestimento. <p>b) Profunda</p> <ul style="list-style-type: none"> - Trincheira (galerias/dranantes); - Drenos sub-horizontais; - Poços de drenagem vertical. <p>c) Revestimento superficial do talude:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vegetação; -Asfalto; -Cimentado.
<p>Redução das forças desestabilizadoras (atuantes)</p>	<p>a) Redução da declividade do talude;</p> <p>b) Plataforma horizontal/banquetas.</p>
<p>Aumento das forças estabilizadoras</p>	<p>a) Bermas de equilíbrio.</p>
<p>Suporte de uma área instável (estruturas de contenção)</p>	<p>a) Reforço do solo</p> <ul style="list-style-type: none"> - Solo grampeado - Micro estacas - Colunas de brita/ estacas de areia; - Estrutura solo reforçado <p>b) Estruturas de contenção</p> <ul style="list-style-type: none"> - Muros de arrimo - Estruturas de terra e concreto, estrutura solo reforçado. <p>c) Métodos adicionais</p> <ul style="list-style-type: none"> - Instalação de estacas de cal - Instalação de trincheiras de pedregulhos ou colunas de pedras (brita) - Tratamento químico - Electro – osmose

	-Tratamento pelo calor
--	------------------------

Fonte: COUTINHO (2008)

Muitas vezes faz-se uso da junção de um ou mais tipos de obra de contenção pois nem sempre apenas um seria o necessário para que a estabilidade do talude fosse. Como por exemplo, as obras com estrutura do tipo retaludamento podem não ter um resultado completamente satisfatório quando os projetos de tal não antevêm um sistema de escoamento e uma proteção superficial devida. Considerando esse teor característico das atividades de escoamento e proteção superficial do solo, elas não devem ser consideradas somente como atividades de apoio ou auxiliaadoras, porque o seu desempenho dentro de uma obra de contenção pode ser uma aparelhagem essencial para a estabilização das encostas.

Quando a obra de contenção não é bem arranjada ou tem o seu desempenho defeituoso, podem reforçar a gravidade do não assentamento dos taludes, causando em grandes proporções consequências danosas econômicas-socialmente, especialmente em áreas povoadas. Podemos citar alguns dos fatores que mais influenciam na falha da obra de estabilização, como por exemplo o escoamento falho, retirada incompleta do solo fraturado, defeitos nas fundações dos muros de arrimo, atirantamento posicionado em local indevido como por exemplo em solo suscetível a movimento, etc. (AUGUSTO FILHO & VIRGILI, 1998).

Para que se possa escolher a obra de contenção mais adequada para os diferentes tipos de talude é necessário ter ciência dos fatores que contribuem com a instabilização, as razões dos deslizamentos, os agentes desencadeadores das movimentações de terra no talude e as relevantes ações humanas no local como já foi revisado no item 2.2.1.

Segundo LEROUEIL (2004, de COUTINHO & SEVERO, 2009), durante a fase de pré-ruptura, as principais exacerbações ou gatilhos de movimentos de grande escala em terra e no fundo do mar se enquadram em três grupos: os grupos dos que aumentam a demanda, os que reduzem a resistência e também o grupo daqueles que provavelmente aumentarão os pedidos e diminuirão a resistência.

2.5 CLASSIFICAÇÃO DE RISCO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO

Conforme Cerri (2006), é possível conduzir uma avaliação de perigo através de dois métodos: setorização de risco ou registro de risco. Na setorização de risco, áreas com um número semelhante de residências em situação perigosa são delimitadas; já no registro, a

avaliação é feita casa por casa. Depois do registro, uma nova setorização precisa ser realizada para evitar generalizações.

Os graus de possibilidade de ocorrência do perigo propostos por Cerri (2006), apresentados na Tabela 5, são amplamente utilizados no Ministério das Cidades para mapeamentos e gestão de risco.

Quando se procura determinar o nível de risco, recomenda-se o emprego dos critérios estabelecidos pelo Ministério das Cidades e Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT (BRASIL, 2007), nele os seguintes parâmetros precisam ser considerados:

- Padrão construtivo (alvenaria ou madeira): em situações similares, edificações de alvenaria são capazes de suportar mais tensão e, portanto, devem ser classificadas como risco menor do que casas de madeira;
- Tipos de taludes: taludes naturais costumam estar em equilíbrio. Taludes cortados e aterrados são mais suscetíveis a instabilidades;
- Distância da residência ao topo ou base do talude: uma distância mínima com relação à altura do talude deve ser considerada como referência;
- Inclinação dos taludes: escorregamentos podem ocorrer a partir de determinadas inclinações;
- Presença de água: é importante observar cuidadosamente a presença de água, incluindo surgências em taludes e infiltrações sobre aterros, pois isso pode indicar uma maior possibilidade de movimentos.
- A chave para a classificação é a presença de sinais ou características de instabilidade. Esses sinais podem ser evidentes em grande quantidade, presentes, incipientes ou ausentes.

Tabela 5 - Critérios para definição do grau de probabilidade de ocorrência de processos destrutivos de escorregamentos

Grau de probabilidade	Descrição
<p style="text-align: center;">R1</p> <p style="text-align: center;">Baixo ou Sem risco</p>	<p style="text-align: center;">1. Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno etc.) e o nível de intervenção no setor são de baixa ou nenhuma potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos.</p> <p style="text-align: center;">2. Não observa(m) sinal/feição/evidência(s) de instabilidade. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens.</p>

	<p>3. Mantidas as condições existentes não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período compreendido por uma estação chuvosa normal.</p>
<p>R2 Médio Risco</p>	<p>1. Os condicionantes geológico-geotécnico predisponentes (inclinação, tipo de terreno etc.) e o nível de intervenção no setor são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos.</p> <p>2. Observa-se a presença de algum(s) sinal/feição/evidência(s) de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipiente(s). Processo de instabilização em estágio inicial de desenvolvimento.</p> <p>3. Mantidas as condições existentes, é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</p>
<p>R3 Alto Risco</p>	<p>1. Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos.</p> <p>2. Observa-se a presença de significativo(s) sinal/feição/evidência(s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, etc.) Processo de instabilização em pleno desenvolvimento, ainda sendo possível monitorar a evolução do processo.</p> <p>3. Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</p>
<p>R4</p>	<p>1. Os condicionantes geológico-geotécnico predisponentes (inclinação/tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de muito alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos.</p>

<p>Muito Alto Risco</p>	<p>2. Os sinais/feições/evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, arvores postes inclinados, cicatrizes de escorregamentos, feições erosivas, proximidade da moradia em relação à margens de córregos, etc.) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em avançado estágio de desenvolvimento.</p> <p>3. Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</p>
-----------------------------	--

Fonte: (BRASIL, 2007).

3 METODOLOGIA

A metodologia empregada para a execução deste Trabalho de Conclusão de Curso é fundamentada em Carvalho (2007), referência que atualiza o Livro "Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais " (Carvalho et al., 2006), trabalhando a elaboração de roteiro para o Treinamento de Equipes Municipais para o Mapeamento e Gerenciamento de Riscos, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, com recursos do Banco Mundial.

A execução de trabalhos de pesquisa nessa área engloba importantes discussões sobre o reconhecimento dos processos geológicos mais recorrentes no território regional e como devem ser aplicadas as técnicas de identificação, monitoramento e prevenção de riscos nas encostas urbanas, visando fortalecer a gestão urbana nas áreas sujeitas a fatores de riscos.

A identificação, mapeamento e classificação dos riscos buscará localizar evidências de atividades, analisar os condicionantes geológico-geotécnicos e ocupacionais que as determinam e avaliar a susceptibilidade de ocorrência de processos associados a deslizamentos e demais processos geodinâmicos.

Os trabalhos de campo foram constituídos, essencialmente, por levantamentos geológico-geotécnicos de superfície, buscando identificar condicionantes dos processos de instabilização, existência de agentes potencializadores e evidências de instabilidade ou indícios do desenvolvimento de processos destrutivos. Os resultados dos levantamentos geológico-geotécnicos, de suas interpretações e das proposições realizadas foram registrados em fichas de campo (Anexo I).

Além da observação e identificação dos aspectos geológico-geotécnicos, as atividades de campo seguiram os procedimentos descritos a seguir.

- Identificação de pontos de referência e localização dos pontos de risco, por meio de utilização de GPS (Global Position System);
- Delimitação dos pontos de risco com atribuição do grau de probabilidade de ocorrência de processo de instabilização, com base nos critérios de Carvalho et al., (2007);

- Estimativa qualitativa das consequências potenciais dos processos de instabilização, por meio da avaliação das possíveis formas de desenvolvimento do processo destrutivo atuante;
- Verificação da possibilidade de intervenção com execução de estrutura de contenção visando redução da probabilidade de ocorrência do movimento de massa.

3.1 ESCOLHA DO TALUDE.

Desde a sua construção, a avenida Pierre Chalita vem sofrendo com recorrentes deslizamentos de terra em períodos chuvosos, provenientes dos taludes que margeiam a via, impedindo assim, nos períodos de ocorrência de deslizamentos, que seja utilizada de forma plena, ou seja, dando acesso às zonas contempladas e escoando o tráfego de trânsito, como apresenta a Figura 35.

Figura 35 - Movimentos de terra na Avenida Pierre Chalita

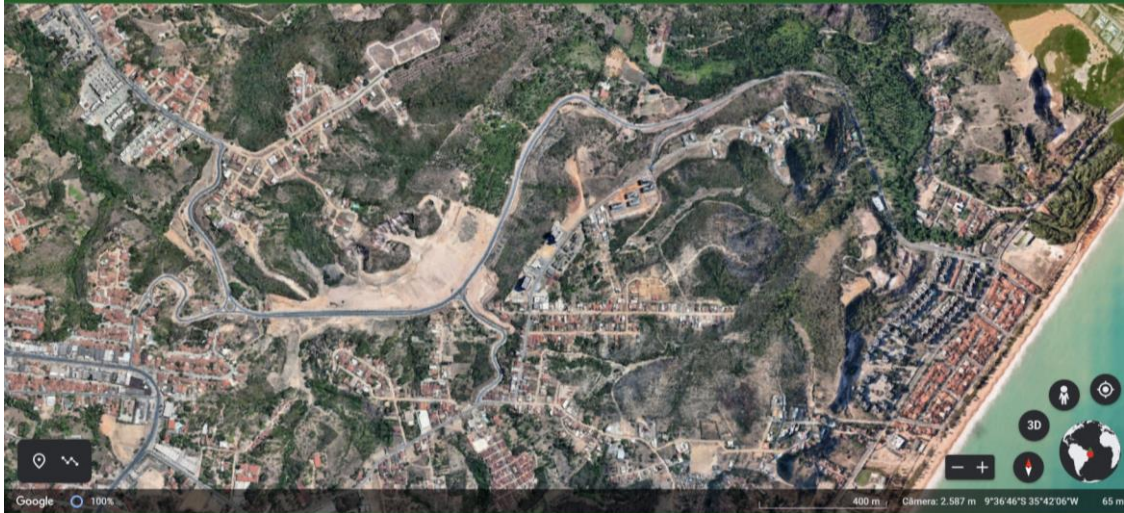


Fonte: <https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2022/08/03/barreira-desaba-e-obriga-motoristas-a-dividir-faixa-da-avenida-pierre-chalita-em-maceio.ghtml>, 2023

A ocorrência constante de movimento de massa na região da Avenida Pierre Chalita provoca prejuízos de cunho financeiro para a prefeitura municipal, além de afetar diretamente a população que neste caso precisa suportar as interdições, e o assoreamento do rio Jacarecica.

Neste contexto, o talude escolhido para desenvolvimento do Trabalho de Conclusão de Curso está localizado na Avenida Pierre Chalita com coordenadas geográficas: 9°36'46" S e 35°42'06" W. A Figura 36 apresenta a visão geral da Avenida Pierre Chalita e a Figura 36 evidencia o talude escolhido.

Figura 36 - Visão geral da Avenida Pierre Chalita



Fonte: Google Earth (2023)

Figura 37 - Talude escolhido para a metodologia do Trabalho de Conclusão de Curso

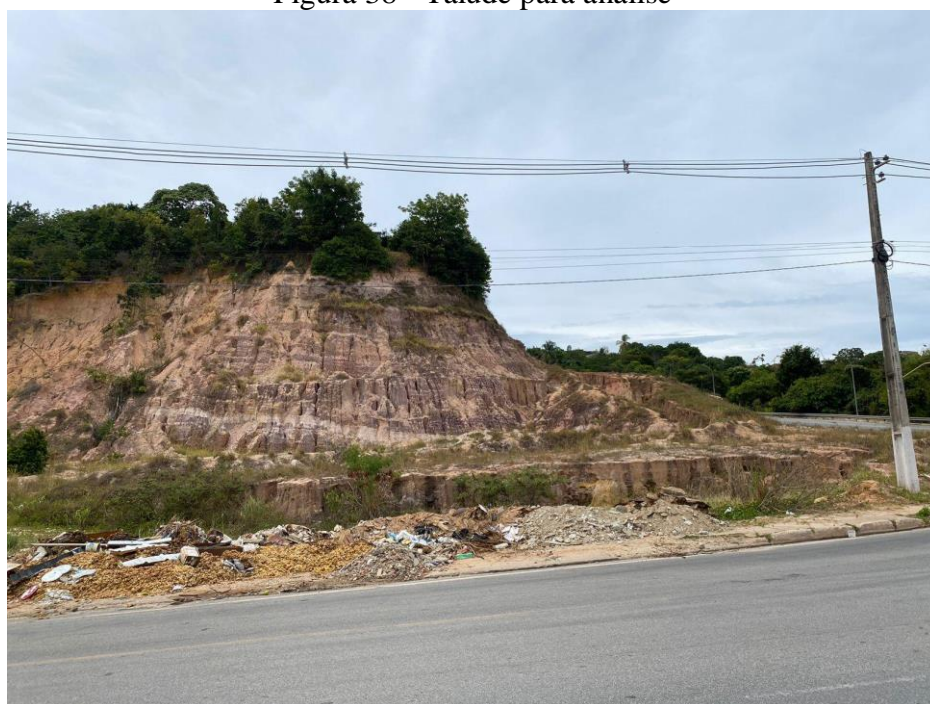


Fonte: Google Earth(2023)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, apresentam-se os resultados obtidos após a realização de vistoria técnica ao talude localizado na Avenida Pierre Chalita em Maceió/AL (Figura 38) no bairro de São Jorge no dia 18 de março, com o objetivo de identificar pontos susceptíveis a movimentos de massa.

Figura 38 - Talude para análise



Fonte: Autor (Março, 2023)

Os dados coletados foram analisados e comparados com informações disponíveis na literatura técnica, a fim de verificar a existência de possíveis fatores que contribuem para a ocorrência de movimentos de massa. Além disso, estão apresentadas as considerações e conclusões obtidas após a análise dos resultados que foram postos na Tabela 6, visando contribuir para a compreensão dos fenômenos relacionados aos movimentos de massa em taludes urbanos e para o desenvolvimento de estratégias de mitigação desses eventos.

Tabela 6 - Planilha de campo preenchida

Planilha em conformidade com o Ministério das cidades (2007)	
Município: Maceió	Bairro/Distrito: São Jorge
Equipe: UFAL	Data da Avaliação: 18/03/2023

Denominação do Setor: 1	Coordenadas (GPS): 9,61° Lat / 35,70° Long
Caracterização do Terreno e da Infraestrutura	
Abastecimento de Água: (x) Regular () Irregular () Inexistente	Esgotamento Sanitário: () Canalizado / Fossa (x) Em superfície
Sistema de Drenagem Superficial: (x) Inexistente () Precário () Satisfatório	
Tipo de Acesso: (x) Arterial () Coletora () Local () Becos () Caminhos () Escadaria	
Revestimento: (x) Flexível () Rígido () Intertravado () Paralelepípedo () Não Pavimentado	
Condições de Acesso: (x) Veicular () Veicular 4 x 4 () Veicular 2 rodas () A pé	
Declividade da encosta / Inclinação do Talude:	70% - 80%
Substrato Rochoso (Litologia, grau de alteração, estruturas):	Rocha sedimentar Alto grau de alteração
Depósitos de Cobertura (Tipo, textura, presença de água etc.)	Matriz de solo arenoso com pequena fração argilosa Solo anguloso com grãos angulosos Sem presença de água / nascentes
Indicativos de Movimentação: (x) Trincas no terreno () Trincas na moradia (x) Degraus e abatimento (x) Inclinação de árvores () Inclinação de postes () Inclinação de Muros () Muros/paredes deformadas (x) Cicatriz de deslizamento	
Agentes Potencializadores: (x) Lixo/Entulho (x) Aterro/Bota Fora (x) Vegetação Inadequada (x) Cortes Verticalizados (x) Lançamento de água servida/esgoto () Tubulação rompida () Fossas (x) Concentração de fluxo superficial () Infraestrutura urbana inadequada	
Descrição do Processo Geodinâmico	
Tipo: (x) Deslizamento Translacional (x) Deslizamento Rotacional () Queda e Rolamento de Blocos () Rastejo () Corridas (x) Ravina () Voçoroca (x) Enxurrada	
Materiais Envolvidos: (x) Solo residual () Aterro (x) Colúvio () Tálus () Rocha	
Espessura Estimada do Manto de Alteração: 15 - 20	

Dimensões previstas:	<input type="checkbox"/> $< 5,0 \text{ m}^3$ <input type="checkbox"/> $5,0 - 10,0 \text{ m}^3$ <input type="checkbox"/> $10,0 - 20,0 \text{ m}^3$ <input checked="" type="checkbox"/> $> 20,0 \text{ m}^3$
Caracterização da Vulnerabilidade	
Número de Domicílios/Edificações: 4	
Distância da Encosta/talude: <input type="checkbox"/> $< 2 \text{ m}$ <input checked="" type="checkbox"/> $2 - 4 \text{ m}$ <input type="checkbox"/> $4 - 6 \text{ m}$ <input type="checkbox"/> $> 6 \text{ m}$	
Tipologia Construtiva: <input type="checkbox"/> “Plástico/Madeirite/Lata” <input type="checkbox"/> Madeira <input checked="" type="checkbox"/> Alvenaria <input type="checkbox"/> Mista	
Conservação Estrutural: <input checked="" type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Alta	
Vulnerabilidade presumida: <input type="checkbox"/> Baixa: Danos não estruturais esperados. <input type="checkbox"/> Média: Danos esperados relacionados a trincas e colapso parcial nas paredes. <input checked="" type="checkbox"/> Alta: Danos estruturais esperados com excessivas deformações das estruturas, colapso parcial dos domicílios. <input type="checkbox"/> Muita Alta: Danos estruturais esperados com comprometimento integral estrutural e possibilidade de colapso total dos domicílios.	
Existência de População com Necessidades Especiais? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/> Desconhecido	
Classificação do Risco	
Grau de Risco: <input checked="" type="checkbox"/> Muito Alto (R4) <input type="checkbox"/> Alto (R3) <input type="checkbox"/> Médio (R2) <input type="checkbox"/> Baixo (R1)	
Há necessidade de ações emergenciais? <input type="checkbox"/> NÃO <input checked="" type="checkbox"/> SIM	
Observações Adicionais	
É de suma importância que os moradores das casas próximas ao talude sejam retirados.	
Indicação de Intervenção para o Setor	
As intervenção necessária nesse talude é a combinação de alguns metodos como: - Retaludamento; - Recomposição vegetal com gramíneas; - Muro de gabião no pe do talude; - Implantação de mecanismos de drenagem.	

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO TERRENO E DA INFRAESTRUTURA

A caracterização do terreno e da infraestrutura são requisitos essenciais para a análise da estabilidade de um talude. Essa avaliação deve considerar aspectos como abastecimento de

água, esgotamento sanitário, sistema de drenagem superficial, declividade da encosta, substrato rochoso, depósitos de coberturas, indicadores de movimentos e agentes potencializadores.

4.1.1 Abastecimento de água

No caso do talude escolhido para análise o tipo de abastecimento de água é regular pois foi informado em consulta aos moradores que havia encanamento público levando água para a edificação.

4.1.2 Esgotamento sanitário

No contexto do talude escolhido para análise, foi identificado que o tipo de esgotamento sanitário empregado na área é o esgoto em superfície. Essa informação é crucial para a análise de taludes, uma vez que o esgoto em superfície pode comprometer a estabilidade do solo, causando erosão e deslizamentos. Além disso, a presença de esgoto em superfície também pode representar um risco para a saúde pública, já que aumenta a probabilidade de contaminação do solo e da água. É possível identificar que no talude também existe o esgotamento sanitário do tipo sumidouro e fossa asséptica por conta de existência de um prédio na região do mesmo.

4.1.3 Sistema de drenagem superficial

A análise de um talude em uma avenida é uma tarefa complexa que requer uma compreensão completa das características do terreno e das condições ambientais locais. Uma das características importantes a serem consideradas durante essa análise é o sistema de drenagem superficial presente no local. A presença, a qualidade e a eficácia desse sistema de drenagem podem afetar significativamente a estabilidade do talude e, portanto, devem ser considerados cuidadosamente.

Existem três categorias de sistema de drenagem superficial: inexistente, precária e satisfatória. Um sistema de drenagem inexistente é aquele em que não há nenhum tipo de canalização ou dispositivo que possa permitir a evacuação da água da chuva. Esse tipo de situação é especialmente perigoso em locais inclinados, como um talude, pois pode levar ao acúmulo de água e à erosão do solo.

Um sistema de drenagem precário é aquele em que existem alguns canais ou dispositivos para a evacuação da água, mas eles são insuficientes ou inadequados para lidar com grandes volumes de chuva. Isso pode ocorrer devido a vários fatores, como obstrução dos canais ou falta de manutenção.

Por fim, um sistema de drenagem satisfatório é aquele que é capaz de lidar com grandes volumes de água da chuva sem causar problemas de erosão ou infiltração. Isso pode ser alcançado por meio de um planejamento cuidadoso e da instalação de canais e dispositivos de drenagem adequados, bem como da manutenção regular desses dispositivos.

Com base nas análises do talude, foi identificado que o sistema de drenagem superficial no ponto escolhido na Avenida Pierre Chalita é inexistente (Figura 39). Isso significa que há uma alta probabilidade de que a água da chuva se acumule na área, aumentando o risco de erosão do solo e instabilidade do talude.

Figura 39 - Talude escolhido em perspectiva sem sistema de drenagem



Fonte: Autor (Março, 2023)

4.1.4 Declividade da encosta / Inclinação do talude

A inclinação do talude pode influenciar diretamente na distribuição das forças e pressões do solo, além de afetar a velocidade de escoamento das águas superficiais e subterrâneas.

De acordo com a NBR 11682:2009, que estabelece critérios para projetos e execução de contenções de taludes, a inclinação de um talude pode ser classificada em diferentes categorias, variando de acordo com sua estabilidade e segurança. Na categoria mais estável, a inclinação pode ser de até 45°, enquanto na categoria menos estável, a inclinação deve ser menor que 20°.

No caso específico do talude na Avenida Pierre Chalita, a declividade pode ter influência direta na estabilidade do terreno, já que foi identificada a inexistência de um sistema de drenagem superficial. Isso pode levar ao acúmulo de água e umidade no solo, o que pode aumentar o peso do talude e levar ao deslizamento de terra.

Para o cálculo do ângulo da declividade do talude foi necessário uso do aplicativo Google Earth Pro para estimar a altura e a distância do topo do talude até o pé do mesmo.

Com ajuda do aplicativo foi possível observar que o topo do talude tinha uma elevação de 52m e o pé do mesmo tinha elevação de 21m, sendo assim foi descoberto que o talude tem um total de aproximadamente 31m.

Com base nas imagens do Google Earth Pro foi possível estimar que o talude possui uma declividade entre 70%-80% (Figura 40).

Figura 40 - Inclinação visual do talude



Fonte: Autor (Março, 2023)

4.1.5 Substrato (litologia, grau de alteração, estruturas)

No caso do talude na Avenida Pierre Chalita em Maceió, foi identificado que o substrato predominante é composto por rochas sedimentares com alto grau de alteração (Figura 41). Essa característica exerce influência na estabilidade do talude, já que rochas sedimentares com alto grau de alteração são mais suscetíveis a processos de desagregação e fraturamento (Figura 42).

Figura 41 - Evidência de solo sedimentar



Fonte: Autor (Março, 2023)

Figura 42 - Evidência do processo de faturamento



Fonte: Autor (Março, 2023)

De acordo com Assis et al. (2011), rochas sedimentares com alto grau de alteração (Figura 43) possuem uma estrutura mineralógica mais fraca e, conseqüentemente, menor

resistência mecânica (Figura 44). Isso significa que essas rochas podem se fragmentar facilmente, especialmente quando submetidas a esforços mecânicos.

Figura 43 - Solo sedimentar com presença de feições erosivas



Fonte: Autor (Março, 2023)

Figura 44- Evidência da baixa resistência mecânica.



Fonte: Autor (Março, 2023)

Rochas sedimentares com alto grau de alteração apresentam uma maior quantidade de volume de vazios (Figura 45), o que pode aumentar a capacidade de infiltração de água no solo. Essa infiltração pode contribuir para a redução da resistência do solo e, conseqüentemente, para a instabilidade do talude.

Figura 45 – Feições erosivas que favorecem a infiltração de água



Fonte: Autor (Março, 2023)

Portanto, é importante considerar a característica do solo sedimentar na análise de estabilidade do talude na Avenida Pierre Chalita em Maceió, uma vez que o alto grau de alteração pode representar um fator de risco para a estabilidade do talude.

4.1.6 Depósitos de coberturas (Tipo, grau de alteração, estrutura)

O estudo do depósito de cobertura é de suma importância para entender o comportamento e a estabilidade do talude. A cobertura do talude pode ser composta por diferentes tipos de solo, como argila, areia, silte ou uma combinação desses materiais. A textura do solo é um fator importante a ser considerado, pois pode influenciar a permeabilidade do solo e, conseqüentemente, sua capacidade de absorver água.

No caso do talude escolhido, foi encontrado um depósito de cobertura composto por matriz de solo arenoso com pequenas frações argilosas (Figura 46).

Figura 46 - Evidências de frações argilosas do solo.



Fonte: Autor (Março, 2023)

Outro aspecto importante a ser considerado é a presença de água ou nascentes no depósito de cobertura. No caso do talude estudado, não foi identificada a presença de água ou nascente, o que pode ser um fator positivo para a estabilidade do talude.

4.1.7 Indicadores de movimentação

A análise dos indicadores de movimento em um talude é fundamental para avaliar sua estabilidade. Segundo Fookes et al. (2011), os indicadores de movimento são sinais ou evidências de que o talude pode estar sofrendo deslocamentos ou deformações.

No caso do talude da Avenida Pierre Chalita em Maceió, foram identificados quatro indicadores de movimento: trincas no terreno, degraus e abatimento, inclinações de árvores e cicatriz de deslizamento.

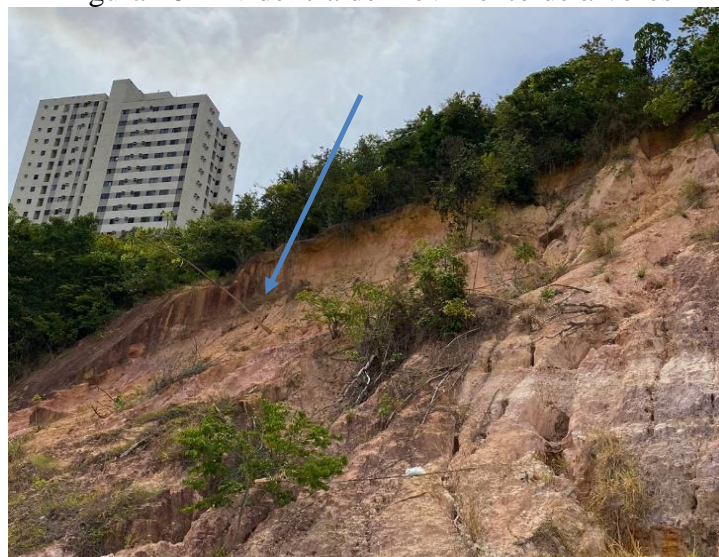
As trincas no terreno podem ser causadas por movimentos laterais ou verticais do talude (Fookes et al., 2011) (Figura 47). Já os degraus e abatimentos são sinais de que o talude está sofrendo deslocamentos para baixo ou para o lado (Lacerda, 2010). As inclinações de árvores podem indicar a presença de deformações no solo, como afirma Lacerda (2010), que afetam as raízes e a estabilidade da planta (Figura 48). Por fim, a cicatriz de deslizamento é uma indicação de que houve um movimento de massa no talude (Fookes et al., 2011).

Figura 47 - Evidência de trincas no terreno



Fonte: Autor (Março, 2023)

Figura 48 - Evidência de movimento de árvores



Fonte: Autor (Março, 2023)

A identificação desses indicadores de movimento é importante para que se possa tomar medidas corretivas a fim de garantir a estabilidade do talude. Além disso, a análise desses indicadores deve ser feita de forma contínua e sistemática para que se possa detectar possíveis alterações e agir antes que ocorram falhas no talude.

4.1.8 Agentes potencializadores

Com relação aos agentes potencializadores, foram identificados vários fatores que podem contribuir para a instabilidade do talude da Pierre Chalita. Entre eles, destaca-se a presença de lixo/entulho, aterro/bota-fora, retirada da vegetação, cortes verticalizados e concentração de fluxo superficial.

No caso da vegetação é importante mencionar que, segundo imagens do Google Earth (Figura 49), antigamente o local era coberto por vegetação, mas devido à construção da rodovia, foi desmatado. A ausência da vegetação pode levar à erosão do solo e ao aumento da velocidade de escoamento superficial das águas pluviais, o que pode resultar em processos erosivos mais intensos no talude.

Figura 49 - Imagem retirada do Google Earth datada de 14/09/2012



Fonte: Google Earth

Além disso, a vegetação é responsável por manter a estabilidade do solo através das raízes que penetram no solo e ajudam a fixá-lo. Portanto, a retirada da cobertura vegetal deixa o solo mais vulnerável a processos erosivos, além de diminuir a resistência do talude.

Com relação aos outros agentes potencializadores, o lixo/entulho e o aterro/bota-fora (Figura 50) podem alterar as características do solo, tornando-o mais instável e vulnerável à erosão. Já os cortes verticalizados podem romper camadas do solo que eram responsáveis pela estabilidade do talude, além de aumentar a exposição do talude aos agentes erosivos. Por fim, a concentração de fluxo superficial pode aumentar a velocidade da água e, conseqüentemente, a erosão do solo.

Figura 50 - Evidência de lixo depositado pelo talude



Fonte: Autor (Março, 2023)

4.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO GEODINÂMICO

O estudo do processo geodinâmico do talude é fundamental para compreender a dinâmica do movimento de massa na área estudada. Esse processo pode ser definido como as forças que atuam no talude, que podem levar a instabilidades e deslocamentos de material. Segundo Pimentel et al. (2012), os processos geodinâmicos podem ser causados por fatores naturais, como chuvas intensas e ações dos ventos, ou por ações humanas, como construções e atividades de mineração.

4.2.1 Tipos

A compreensão dos diferentes tipos de processos geodinâmicos presentes em taludes é fundamental para avaliar os riscos de instabilidade na área, contribuindo para a tomada de decisões em relação à prevenção de acidentes e à estabilidade do terreno. Sendo assim foi possível identificar diferentes tipos de processos geodinâmicos no local, sendo eles: deslizamento translacional ou rotacional, processos erosivos em diferentes níveis.

Os deslizamentos translacionais/rotacionais (Figura 51 - 52) são um dos processos geodinâmicos mais comuns. Esse tipo de movimento ocorre quando uma camada inteira de solo ou rocha desliza sobre uma superfície de ruptura, geralmente formada por camadas mais fracas ou por descontinuidades no terreno.

Figura 51 - Evidência de movimento translacional



Fonte: Autor (Março, 2023)

Figura 52 - Evidências de movimento circular ou rotacional



Fonte: Autor (Março, 2023)

Os processos erosivos são um tipo de processo geodinâmico que começa a partir da erosão linear do terreno, formando uma espécie de canal que pode se aprofundar com o tempo (Figura 53). Esse tipo de movimento pode ser causado pela concentração de fluxo superficial de água, pela remoção da vegetação e pelo transporte de material desagregado.

Figura 53 - Evidência de ravinas



Fonte: Autor (Março, 2023)

Por fim, os processos erosivos em áreas com declives acentuados, caracterizados por um movimento rápido e violento de água e material solto (Figura 54). Esse tipo de movimento pode ser desencadeado por chuvas intensas e pode ter efeitos catastróficos, causando deslizamentos de grande porte (Figura 55).

Figura 54 - Evidências do escoamento superficial



Fonte: Autor (Março, 2023)

Figura 55 - Evidência de deslizamento de grande porte



Fonte: Autor (Março, 2023)

4.2.2 Materiais envolvidos

No caso específico do talude em questão, os materiais envolvidos são do tipo solo residual e colúvio (Figura 56). O solo residual é aquele formado pela alteração do material original no local, enquanto o colúvio é o material transportado e depositado pela ação da gravidade.

Figura 56 - Evidência de colúvio com solo residual



Fonte: Autor (Março, 2023)

Esses materiais são frequentemente encontrados em taludes e podem ser suscetíveis a movimentos de massa, dependendo das condições geológicas e ambientais do local. A presença

de solo residual e colúvio pode aumentar a instabilidade do talude, especialmente quando esses materiais estão saturados de água ou quando são submetidos a cargas excessivas.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DA VULNERABILIDADE

A presença de casas em áreas próximas ao limite do talude é um indicativo de vulnerabilidade que deve ser considerado para a tomada de decisões em relação à segurança da população local (Figura 57). A distância mínima segura entre o talude e as edificações é variável e depende das características do terreno e da estrutura das construções, no entanto, uma distância mínima de 15 metros é recomendada para assegurar a segurança dos moradores.

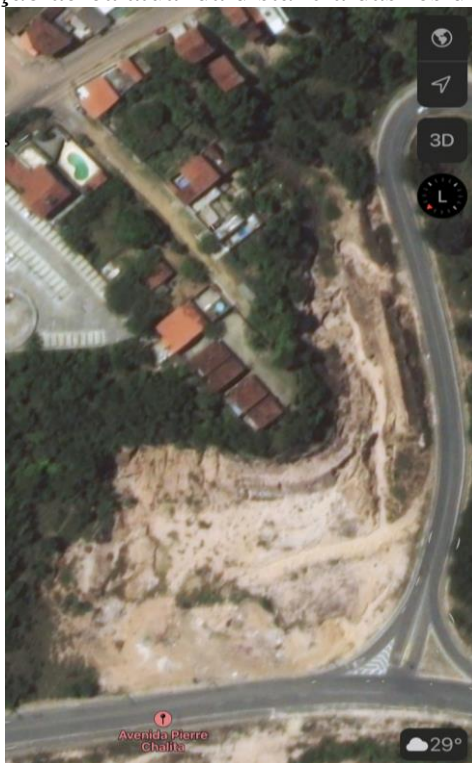
Figura 57 - Evidência de moradores perto do limite do talude



Fonte: Autor (Março, 2023)

No caso em questão, as casas estão a uma distância de apenas 2 a 4 metros da borda do talude, o que representa um risco elevado de deslizamento e queda das edificações (Figura 58). Além disso, o fato de as casas serem construídas em alvenaria não significa necessariamente que são seguras em caso de deslizamento, pois a vulnerabilidade também depende das características do terreno e das condições em que as construções foram erguidas.

Figura 58 - Demonstração aérea atual da distância das residências à borda do talude



Fonte: Google Maps

Portanto, é essencial que medidas de segurança sejam adotadas para a retirada das pessoas e das edificações do local, minimizando o risco de acidentes e preservando a integridade dos moradores. A evacuação preventiva é uma medida recomendada em casos como esse, a fim de garantir a segurança da população e evitar danos materiais.

4.4 CLASSIFICAÇÃO DE RISCO

A classificação de risco é uma das etapas essenciais na identificação e análise de pontos susceptíveis a movimentos de massa em taludes. No caso específico do talude analisado na Avenida Pierre Chalita, após minuciosa vistoria técnica e considerando todas as evidências levantadas, foi possível diagnosticar que o risco apresentado pelo talude é muito alto, com uma classificação R4.

Esta classificação indica que os condicionantes geológicos e geotécnicos são extremamente elevados, o que pode potencializar um movimento de massa, representando um

alto risco para a população e para a infraestrutura local. Neste contexto, é importante destacar que a classificação R4 está relacionada a uma situação crítica, que exige a adoção de medidas preventivas e corretivas urgentes, a fim de minimizar os impactos e evitar possíveis danos.

4.5 MEDIDAS PREVENTIVAS

As análises realizadas permitem afirmar que o talude em questão apresenta risco iminente de instabilidade, podendo causar danos a propriedades e à vida humana, uma vez que existem casas localizadas em sua proximidade. Diante desse cenário, é necessário que sejam adotadas medidas preventivas para minimizar os riscos e garantir a segurança da população, sendo a primeira delas a retirada imediata dos moradores do topo da encosta.

Uma das soluções propostas é o retaludamento (item 2.3.1.1) do talude, que consiste em uma técnica de terraplenagem que visa alterar o ângulo de inclinação do talude, tornando-o mais estável. Essa medida se faz necessária devido à inclinação acentuada do talude, que pode contribuir para o desencadeamento de processos geodinâmicos, como deslizamentos e ravinas.

Outra medida importante combinada com o retaludamento é a recomposição vegetal com gramíneas (item 2.3.1.3), que tem como objetivo a proteção do talude contra a erosão e o aumento da estabilidade do solo. A vegetação tem um papel crucial na estabilidade de taludes, pois suas raízes ajudam a fixar o solo e a absorver a água, evitando a ocorrência de processos erosivos.

O muro de gabião no pé do talude é outra medida recomendada para se combinar com as duas primeiras para garantir a estabilidade (item 2.3.2.1.2), pois funciona como um elemento de contenção de deslizamentos e contribui para a estabilização da área. Esse tipo de estrutura é composto por pedras ou blocos de concreto contidos em malhas de arame, proporcionando uma maior resistência ao talude. O muro de gabião é importante pois, pela área ser uma região bastante suscetível à deslizamentos, o material que escorregar não passará para as vias de tráfego, pois ficará retido no próprio muro de gabião.

Por fim, a implantação de dispositivos de drenagem (item 2.3.1.2) é uma medida fundamental para evitar a concentração de água no talude, que pode causar a sua saturação e, conseqüentemente, contribuir para a ocorrência de processos geodinâmicos. A drenagem

adequada é essencial para garantir a estabilidade do talude, e deve ser realizada em conjunto com as outras medidas propostas.

Dessa forma, a combinação dessas soluções se mostra eficaz para a estabilização do talude em questão e garantia da segurança das pessoas que moram em suas proximidades. É importante ressaltar que a escolha dessas soluções foi baseada em estudos e referências de autores renomados na área de geotecnia, como citados ao longo deste trabalho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As conclusões a que chegamos após a análise técnica do talude na Avenida Pierre Chalita são preocupantes, uma vez que o risco identificado é muito alto para movimentos de massa. Dessa forma, é imprescindível que sejam tomadas medidas efetivas de contenção, tais como a implantação de dispositivos de drenagem, retaludamento e muro gabião, para garantir a segurança das pessoas e evitar danos à infraestrutura urbana.

É importante ressaltar que a classificação de risco R4 é a mais alta possível e, portanto, é fundamental que o ente público, em especial a prefeitura, se engaje nesse processo de contenção para minimizar os riscos. Ainda que tais medidas possam representar um custo financeiro significativo, elas são absolutamente necessárias para evitar danos irreparáveis à população e ao patrimônio público e privado.

É evidente que as casas localizadas no topo do talude estão expostas a sérios riscos em caso de movimentação de massa, o que pode levar a perdas humanas e materiais. Além disso, a obstrução das vias em decorrência da movimentação de terra pode prejudicar o fluxo do trânsito na região, gerando grandes transtornos para a população.

Portanto, diante das informações técnicas obtidas e da gravidade do risco identificado, concluímos que é imperativo que o poder público assuma a responsabilidade de tomar as medidas necessárias para conter o talude, garantindo a segurança da população e a preservação da infraestrutura urbana. A prevenção de acidentes e a mitigação de riscos são prioridades que devem ser levadas a sério por todos os envolvidos.

REFERÊNCIAS

BAPTISTA, M. B. Risco de Desastres e Mudanças Climáticas: A Vulnerabilidade Urbana e o Papel da Sociedade Civil. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Civil, 2005.

VÉRON, R. A urbanização mundial: dados e tendências. Cadernos MetrÓpole, n. 17, p. 5-28, 2007.

ONU. World Urbanization Prospects: The 2005 Revision. Nova York: United Nations, 2005.

AYALA, J. F. O problema da instabilidade de encostas urbanas. Revista do Departamento de Geografia, v. 13, p. 1-18, 2002.

CARVALHO, M. S.; GALVÃO, C. A. H. Escorregamentos de massa em encostas urbanas: causas e soluções. Geologia USP, Série Científica, v. 6, n. 2, p. 61-70, 2006.

AMARAL, S. E. Deslizamentos de terra: fatores de risco e prevenção. São Paulo: Oficina de Textos, 1997.

BRUNSDEN, D.; PRIOR, D. B. The response of slope systems to seismic and volcanic loading. Geology, v. 12, p. 47-50, 1984.

SIDLE, R. C. et al. Landslides: processes, prediction, and land use. National Academy Press, 1985.

CROZIER, M. J. Landslides: Causes, Consequences and Environment. Londres: Croom Helm, 1986.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Atlas Brasileiro de Desastres Naturais. 3. ed. Florianópolis: UFSC, 2013.

BANCO MUNDIAL. Relatório de Monitoramento Global da DRR (Redução do Risco de Desastres): Os Custos Econômicos dos Desastres no Mundo. Washington, DC: Banco Mundial, 2012a.

BANCO MUNDIAL. Relatório de Monitoramento Global da DRR (Redução do Risco de Desastres): O Progresso no Investimento em DRR em uma Economia em Crescimento. Washington, DC: Banco Mundial, 2012b.

BANCO MUNDIAL. Relatório de Monitoramento Global da DRR (Redução do Risco de Desastres): O Papel das Empresas na Redução do Risco de Desastres. Washington, DC: Banco Mundial, 2012c.

IBGE. Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR). Maceió, 2007.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <https://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>. Acesso em: 01 abr. 2023.

GERSCOVICH, D. M. M. Estabilidade de Taludes em Solos Tropicais. 2012. Tese de Doutorado em Engenharia Civil - Universidade de São Paulo.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. Manual de geología y minería para no geólogos. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 1984.

ALMEIDA FILHO, R.; ABDON, M. M.; SERRA, R. A. S.; VILAR, O. M.; KELLNER, E. Geomorfologia ambiental. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

FERNANDES, N. F. et al. Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, 2004.

BRASIL. Lei Federal nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, 2001.

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas). (1991). Manual de geotecnia: movimentos de massa. São Paulo: IPT.

CABRAL, E. P. et al. Efeitos da falta de água em taludes: Revisão bibliográfica. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 2, e482921145, 2020.

RIBEIRO, L. F. M. et al. Estabilidade de taludes em solos tropicais. *Revista Brasileira de Geotecnia*, v. 8, n. 3, p. 29-43, 2018.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Esgotamento Sanitário. Disponível em: <https://www.tratabrasil.org.br/sistemas-de-esgotamento-sanitario>. Acesso em: 28 mar. 2023.

ABNT NBR 7229:1993. Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

ASSIS, A.P.S. et al. Caracterização de rochas para uso em revestimentos de taludes em rodovias. *REM - Revista Escola de Minas*, v. 64, n. 1, p. 63-70, 2011.

COUTO, H.T.Z.; BEZERRA, F.H.R. *Geologia de Engenharia: Conceitos, Método e Prática*. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 333p.

RIBEIRO, F. et al. Caracterização geotécnica de solos e rochas para projeto de obras de taludes. In: *Anais do Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, 15., 2000, Fortaleza. Anais... Fortaleza: ABMS, 2000. p. 663-676.

Cruden, D. M. (1990). A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 41(1), 7-11.

Zaruba, Q., & Mencil, W. (1976). Geotechnical aspects of rockslides and avalanches. *Proceedings of the Fourth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 3, 235-240.

Guidicini, G., & Nieble, C. (1984). Slope movements in the northern Apennines (Italy). *Engineering Geology*, 20(1-2), 51-69.

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo). (1991). *Escorregamentos de Encostas: Conceitos Básicos*. São Paulo.

Campos, R. B. (2011). Escorregamentos: Conceitos, Causas e Prevenção. Editora Oficina de Textos.

Guidicini, G., & Nieble, C. (1983). Geotécnica: Fundamentos e Aplicações. Editora Edgard Blucher.

Fernandes, N. F., & Amaral, A. S. (2003). Movimentos de Massa em Encostas. In: Geologia de Engenharia: Conceitos, Método e Prática. Editora Oficina de Textos.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. Lecciones de geología aplicada a la ingeniería civil. México: Limusa, 1983.

COUTINHO, R.Q.; SILVA, L.P. Geologia aplicada à engenharia: obras de terra. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

CRUDEN, D.M.; VARNES, D.J. Landslide types and processes. In: TURNER, A.K.; SCHUSTER, R.L. (eds.). Landslides: Investigation and Mitigation. Washington, DC: Transportation Research Board, National Research Council, 1996. p. 36-75. (Special Report; 247).

CAMPOS, T. M. de. Geologia de Engenharia: Conceitos, Método e Prática. Oficina de Textos, 2011.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, P. G. Fundamentos de Geologia e Geotecnia. Rio de Janeiro: ABGE, 2003.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. Geotecnia ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Movimentos de Massa. São Paulo: IPT, 1991.

TOMINAGA, L. K.; SILVA, A. R.; CUNHA, F. K. A. Movimentos de massa em taludes. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

Selby, M. J. (1993). The influence of topography on the initiation of debris flows. Geological Society, London, Special Publications, 72(1), 155-170.

Augusto Filho, O. (1992). Movimentos de Massa: aspectos geotécnicos e ambientais. Oficina de Textos.

WYLLIE, D. C.; MAH, C. W. Rock mechanics for underground mining. 3rd ed. London: Springer, 2014.

FOOKES, P.G., LEE, E.M., e CAI, M. (2011). Landslides: Types, Mechanisms and Modeling. Cambridge University Press.

LACERDA, W.A. (2010). Estabilidade de Taludes. Oficina de Textos.

SILVA, G.M., MELLO, F.V. e BIANCHINI, A. (2019). Análise de Taludes. Editora UEPG.

BARBOSA, R. A. et al. Influência da Cobertura Vegetal na Estabilidade de Taludes: Estudo de Caso em uma Rodovia Federal. Anais do XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 2018.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). Manual de Conservação de Encostas. São Paulo, 1991.

Campos, T. F. Escorregamentos. In: Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 375-396.

Guidicini, G.; Nieble, C. M. Manual de Engenharia de Taludes. São Paulo: Edgar Blücher, 1983.

Fernandes, N. F.; Amaral, R. F. Escorregamentos. In: Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B. Geomorfologia do Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p. 375-396.

OLIVEIRA, D. A. S. et al. Importância da Cobertura Vegetal na Proteção de Taludes. In: Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA, 2014.

AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, N. R. Obras de Contenção em Taludes. In: 4º Congresso Brasileiro de Geotecnia, 1998, Fortaleza. Anais do 4º Congresso Brasileiro de Geotecnia, 1998.

COUTINHO, R. Q.; SEVERO, M. A. R. Estudo sobre a estabilidade de taludes de solo reforçado com geossintéticos. Revista Brasileira de Geotecnia, v. 29, n. 2, p. 149-157, 2009.

LEROUEIL, S. Initiation of landslides. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO SOBRE DESLIZAMENTOS, 2004, Rio de Janeiro. Anais do Simpósio Sul-Americano sobre Deslizamentos, 2004.

CARVALHO, J. C.; FERNANDES, N. F.; OLIVEIRA, S. A.; SANTOS, J. B.; NEVES, M. F. Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. São Paulo: IPT, 2007.

Cerri, L. E. (2006). Mapa de Setorização de Risco: uma proposta de avaliação de perigo para áreas urbanas. Revista Brasileira de Geomorfologia, 7(2), 51-62.

Brasil. Ministério das Cidades. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT. (2007). Manual Técnico de Geologia e Geotecnia para Projetos de Urbanização. Brasília: Ministério das Cidades.

Fornaro, A., Strozzi, T., Del Soldato, M., & Wegmüller, U. (2016). The use of satellite radar interferometry for the identification and monitoring of landslide movements. Geosciences, 6(2), 14.

Fukuoka, H., & Hogetsu, K. (2018). Rotational landslides triggered by the 2016 Kumamoto earthquakes, southwestern Japan. Landslides, 15(12), 2357-2365.

Govers, G., Poesen, J., & Vandekerckhove, L. (2016). Hillslope processes, mass movement and erosion. In Soil erosion in Europe (pp. 191-214). Wiley.

Sassa, K., & Wang, G. (2016). Predicting the occurrence of rainfall-induced landslides. Landslides, 13(4), 667-686.

Silva, R. B., & Vieira, B. C. (2005). Caracterização e classificação de solos residuais em áreas de tabuleiros costeiros do sul da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29(2), 295-306.

Santos, R. D., Lemos, R. C., Santos, H. G., & Ker, J. C. (2005). Manual de descrição e coleta de solo no campo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, 2005.

Penteado, P., Cunha, S., Ferreira, C., & Esteves, M. (2017). Coluvial and alluvial soils on hillslopes in western Iberia: regional distribution and pedological properties. *Catena*, 155, 50-61.

OLIVEIRA, R. G. et al. Mapeamento de áreas de risco a deslizamentos na cidade de Belo Horizonte. *Revista Geonorte*, v. 10, n. 35, p. 191-206, 2019

RIBEIRO, A. C.; MIRANDA, J. L.; MORAES, F. C.; BERTO, R.; FERREIRA, A. D. Avaliação de riscos geotécnicos em áreas urbanas: uma metodologia para mapeamento e planejamento de ações preventivas. *Revista Brasileira de Geomática*, v. 3, n. 2, p. 109-125, 2015.

OLIVEIRA, P. T. de; COELHO NETTO, A. L. B.; SANTOS, M. S.; CARVALHO, L. C. de. Identificação e análise de taludes de risco em áreas urbanas. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 19., 2018, Brasília. Anais[...] Brasília: ABMS, 2018. p. 1-10.

Tominaga, L. K., Lacerda, W. A., & Rodrigues, M. L. (2009). *Geologia de engenharia: Conceitos, método e prática*. São Paulo: Oficina de Textos.

Fernandes, N. F., & Amaral, J. R. (2003). *Movimentos de massa: tipos, causas e efeitos*. Rio de Janeiro: CPRM.

ANEXO 1

Planilha em conformidade com o Ministério das cidades (2007)	
Município:	Bairro/Distrito:
Equipe:	Data da Avaliação:
Denominação do Setor:	Coordenadas (GPS):
Caracterização do Terreno e da Infraestrutura	
Abastecimento de Água: () Regular () Irregular () Inexistente	Esgotamento Sanitário: () Canalizado / Fossa () Em superfície
Sistema de Drenagem Superficial: () Inexistente () Precário () Satisfatório	
Tipo de Acesso: () Arterial () Coletora () Local () Becos () Caminhos () Escadaria	
Revestimento: () Flexível () Rígido () Intertravado () Paralelepípedo () Não Pavimentado	
Condições de Acesso: () Veicular () Veicular 4 x 4 () Veicular 2 rodas () A pé	
Declividade da encosta / Inclinação do Talude:	
Substrato Rochoso (Litologia, grau de alteração, estruturas):	
Depósitos de Cobertura (Tipo, textura, presença de água etc.)	
Indicativos de Movimentação: () Trincas no terreno () Trincas na moradia () Degraus e abatimento () Inclinação de árvores () Inclinação de postes () Inclinação de Muros () Muros/paredes deformadas () Cicatriz de deslizamento	
Agentes Potencializadores: () Lixo/Entulho () Aterro/Bota Fora () Vegetação Inadequada () Cortes Verticalizados () Lançamento de água servida/esgoto () Tubulação rompida () Fossas () Concentração de fluxo superficial () Infraestrutura urbana inadequada	
Descrição do Processo Geodinâmico	

Tipo: <input type="checkbox"/> Deslizamento Translacional <input type="checkbox"/> Deslizamento Rotacional <input type="checkbox"/> Queda e Rolamento de Blocos <input type="checkbox"/> Rastejo <input type="checkbox"/> Corridas <input type="checkbox"/> Ravina <input type="checkbox"/> Voçoroca <input type="checkbox"/> Enxurrada	
Materiais Envolvidos: <input type="checkbox"/> Solo residual <input type="checkbox"/> Aterro <input type="checkbox"/> Colúvio <input type="checkbox"/> Tálus <input type="checkbox"/> Rocha	
Espessura Estimada do Manto de Alteração:	
Dimensões previstas:	<input type="checkbox"/> < 5,0 m ³ <input type="checkbox"/> 5,0 – 10,0 m ³ <input type="checkbox"/> 10,0 - 20,0 m ³ <input type="checkbox"/> > 20,0 m ³
Caracterização da Vulnerabilidade	
Número de Domicílios/Edificações:	
Distância da Encosta/talude: <input type="checkbox"/> < 2 m <input type="checkbox"/> 2 – 4 m <input type="checkbox"/> 4 – 6 m <input type="checkbox"/> > 6 m	
Tipologia Construtiva: <input type="checkbox"/> “Plástico/Madeirite/Lata” <input type="checkbox"/> Madeira <input type="checkbox"/> Alvenaria <input type="checkbox"/> Mista	
Conservação Estrutural: <input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Alta	
Vulnerabilidade presumida: <input type="checkbox"/> Baixa: Danos não estruturais esperados. <input type="checkbox"/> Média: Danos esperados relacionados a trincas e colapso parcial nas paredes. <input type="checkbox"/> Alta: Danos estruturais esperados com excessivas deformações das estruturas, colapso parcial dos domicílios. <input type="checkbox"/> Muita Alta: Danos estruturais esperados com comprometimento integral estrutural e possibilidade de colapso total dos domicílios.	
Existência de População com Necessidades Especiais? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Desconhecido	
Classificação do Risco	
Grau de Risco: <input type="checkbox"/> Muito Alto (R4) <input type="checkbox"/> Alto (R3) <input type="checkbox"/> Médio (R2) <input type="checkbox"/> Baixo (R1)	
Há necessidade de ações emergenciais? <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> SIM	
Observações Adicionais	
Indicação de Intervenção para o Setor	