



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

MARIA JOANA DOS SANTOS DELFINO

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE UM TALUDE NO BAIRRO DO ROGER NA**  
**CIDADE DE JOÃO PESSOA - PB**

JOÃO PESSOA - PB

2024

MARIA JOANA DOS SANTOS DELFINO

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE UM TALUDE NO BAIRRO DO ROGER NA  
CIDADE DE JOÃO PESSOA - PB

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Coordenação do Curso de  
Engenharia Civil da Universidade Federal da  
Paraíba como requisito para obtenção do  
grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Lopes Soares

JOÃO PESSOA - PB

2024

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

D349a Delfino, Maria Joana Dos Santos.

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE UM TALUDE NO BAIRRO DO  
ROGER NA CIDADE DE JOÃO PESSOA - PB / Maria Joana Dos  
Santos Delfino. - João Pessoa, 2024.

85 f. : il.

Orientação: Fábio Lopes Soares.

TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Deslizamentos. 2. Movimentos de Massa. 3.  
Taludes. I. Soares, Fábio Lopes. II. Título.

UFPB/BSCT

CDU 624(043.2)

## FOLHA DE APROVAÇÃO

MARIA JOANA DOS SANTOS DELFINO

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE UM TALUDE NO BAIRRO DO ROGER NA  
CIDADE DE JOÃO PESSOA - PB

Trabalho de Conclusão de Curso em 15/04/2024 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Fábio Lopes Soares APROVADA

Fábio Lopes Soares

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Andrea Brasiliano Silva APROVADA

Andrea Brasiliano Silva

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Antônio da Silva S. Filho APROVADA

Antônio da Silva Sobrinho Júnior

Departamento de Arquitetura e Urbanismo do CT/UFPB

*Dedico este trabalho aos meus pais, Denise e Sebastião, meus maiores incentivadores, pelo apoio nos estudos e por sempre acreditarem em mim. A vocês, todo o meu amor e gratidão.*

## **AGRADECIMENTOS**

Inicialmente agradeço a Deus, que sempre esteve presente em cada etapa deste trabalho, assim como da minha graduação, me concedendo fortaleza e resiliência para seguir em frente e vencer todos os obstáculos presentes no caminho. Agradeço também a Nossa Senhora, minha mãezinha, que sempre intercede por mim a Jesus e me protege com o seu manto sagrado.

Aos meus pais, que sempre se fizeram presentes nos meus estudos, e nunca mediram esforços para que eu e meu irmão recebêssemos uma educação digna e de qualidade: todo o meu amor e admiração. Ao meu irmão, que do seu jeitinho sempre transpareceu a admiração que sente por mim: tenho orgulho de você. Mãe, pai e irmão, agradeço por compreenderem a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho e por toda a paciência que tiveram comigo. Vocês são meu alicerce!

A todos os meus amigos da UFPB, que de forma direta e/ou indireta me ajudaram a tornar esse trabalho possível, seja por meio de apoio emocional, seja por meio de palavras de incentivo: vocês são incríveis e merecem um mundo de coisas boas. Em especial, agradeço à Camila Alves e à Kaliel Pereira, que estiveram presentes na realização deste trabalho desde o início, acompanhando minhas angústias e desafios, me motivando nos momentos em que eu achei que não fosse possível prosseguir com a realização deste. Obrigada por todos os momentos leves e descontraídos, sem vocês essa caminhada seria muito mais difícil.

A todos os meus amigos externos à UFPB, que compreenderam a minha ausência durante todo o período em que me dediquei a este trabalho: obrigada por me apoiarem e motivarem a continuar.

À Igor Cavalcante, que se colocou à disposição para me ajudar a retirar as amostras de solo do meu trabalho, assim como me deu apoio emocional durante todas as etapas deste. Sem você, o caminho seria mais árduo. Obrigada pelas conversas, pela preocupação, pelos conselhos e por todos os momentos leves vividos.

Ao meu orientador, professor Fábio Lopes Soares, por acreditar desde o início que era possível realizar este trabalho e por me orientar sempre que necessário. Além disso, agradeço também por todo o conhecimento que me foi passado sobre Geotecnia, área na qual tenho admiração e carinho.

À minha banca examinadora: obrigada por aceitarem o convite. À professora Andrea Brasiliano Silva, na qual tenho contato desde o início da graduação através do CAEC, e sempre se mostrou disposta a contribuir com o aprendizado dos alunos, os tratando sempre com gentileza e simpatia. Ao professor Antônio da Silva Sobrinho Júnior, ao qual tive o prazer de ser estagiária na prefeitura universitária, e sempre se apresentou disponível para me ensinar e sanar minhas dúvidas.

Ao Laboratório de Solos (LAPAV), na figura dos técnicos João e Sérgio, que se disponibilizaram para realizar os ensaios deste trabalho comigo. Em especial, agradeço a Sérgio por toda a disponibilidade, palavras de apoio e explicações, que foram essenciais para me acalmar e nortear no prosseguimento deste trabalho.

À UFPB, que foi a minha segunda casa ao longo de todos esses anos, me acolhendo na figura de amigos, professores e funcionários. Na instituição, pude expandir a minha visão sobre realidades distintas da minha, aprendendo sobre a sociedade e as suas interações. Também pude vivenciar o ambiente, muitas vezes, não saudável, com a pressão existente em torno de provas, trabalhos complexos e competitividade. No mais, a Joana de 16 anos, que entrou na universidade entusiasmada e esperançosa, com certeza, tem muito orgulho da profissional de 22 anos que está se formando. Por isso, à UFPB, toda a minha gratidão.

Por fim, agradeço a todos aqueles que contribuíram positivamente para a minha formação acadêmica, assim como para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Em função de suas condições geomorfológicas, o Brasil é um país que, comumente, apresenta iminência de deslizamentos de encostas. Aliado a isso, soma-se o clima predominantemente tropical, com altos índices pluviométricos entre os meses de abril e julho, gerando uma maior incidência de movimentos de massa. Ademais, o exacerbado crescimento populacional, aliado à falta de planejamento urbano, é um fator preponderante na dinâmica dos movimentos de massa, propiciando uma ocupação e uso do solo inadequados. Como resultado dos fatores supracitados, há o surgimento de áreas de risco em diversas regiões do Brasil, corroborando para a ocorrência de imbrólios no que tange os deslizamentos de taludes. No município de João Pessoa, no estado da Paraíba, a ocorrência de movimentos de massa pode ser evidenciada a partir de dados da Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil (COMPDEC-JP). Dentre as áreas de risco catalogadas pela Defesa Civil, na cidade de João Pessoa, destaca-se o bairro do Roger, com registros frequentes de ocorrências de deslizamentos. Apesar das frequentes movimentações de massa, as situações são resolvidas de modo corretivo e não preventivo, uma vez que a catalogação das áreas em situação de risco ainda não envolve toda a região, o que acaba facilitando a recorrência dos deslizamentos. Diante do supracitado, o presente estudo visa analisar a estabilidade de um talude localizado no bairro do Roger, que já apresentou ocorrência de deslizamento registrada na COMPDEC-JP. Para isso, foram coletadas amostras de solo do talude escolhido para a realização de ensaios em laboratório, com o intuito de determinar os parâmetros geotécnicos existentes. A partir da modelagem do talude no *software GeoStudio*, foi possível aferir o fator de segurança para cada uma das situações propostas (solo natural e solo parcialmente saturado). Realizando uma análise comparativa com o que preconiza a NBR 11682 (2009), que aborda a estabilidade de encostas, constatou-se que o solo se apresenta instável e com risco iminente de deslizamento.

**Palavras-chave:** Deslizamentos; Movimentos de Massa; Taludes.

## ABSTRACT

Due to its geomorphological conditions, Brazil is a country that commonly faces the imminent risk of slope landslides. In addition to this, there is the predominantly tropical climate, with high rainfall indexes between the months of April and July, leading to a higher incidence of mass movements. Furthermore, the exacerbated urban population growth is a predominant factor in the dynamics of mass movements, promoting inadequate land occupation and use. As a result of the aforementioned factors, risk areas emerge in various parts of Brazil, contributing to the occurrence of issues regarding slope landslides. In the municipality of João Pessoa, in the state of Paraíba, the occurrence of mass movements can be evidenced from data provided by the Municipal Coordination of Protection and Civil Defense (COMPDEC-JP). Among the risk areas cataloged by Civil Defense in the city of João Pessoa, the Roger neighborhood stands out, with frequent records of landslide occurrences. Despite the frequent mass movements, situations are addressed in a corrective rather than preventive manner, as the cataloging of areas at risk is not yet comprehensive, which ultimately facilitates the recurrence of landslides. In light of the aforementioned, the present study aims to analyze the stability of a slope located in the Roger neighborhood, which has already experienced a landslide occurrence recorded by COMPDEC-JP. To achieve this, soil samples were collected from the chosen slope for laboratory testing, in order to determine the existing geotechnical parameters. By modeling the slope using GeoStudio software, it was possible to assess the safety factor for each of the proposed situations (natural soil and saturated soil). Conducting a comparative analysis with the guidelines of NBR 11682 (2009), which addresses slope stability, it was found that the soil is unstable with an imminent risk of landslide.

**Keywords:** Landslides; Mass Movements; Slopes.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Diferença entre encosta, talude natural, de corte e artificial.....	17
Figura 02 - Principais itens que compõem um talude.....	18
Figura 03 - Diferentes estágios dos movimentos de massa.....	21
Figura 04 - Forma típica de corrida.....	23
Figura 05 - Exemplo de rastejo.....	24
Figura 06 - Terminologia dos elementos de um escorregamento.....	25
Figura 07 - Terminologia das dimensões.....	25
Figura 08 - Exemplos de superfícies de ruptura translacional.....	27
Figura 09 - Esquema de superfície de ruptura na seção central.....	28
Figura 10 - Escorregamento em cunha.....	29
Figura 11 - Esquema para ocorrência de queda de blocos.....	30
Figura 12 - Queda por tombamento.....	30
Figura 13 - Queda por rolamento.....	31
Figura 14 - Localização da cidade de João Pessoa no estado da Paraíba.....	38
Figura 15 - Mapa Pedológico de João Pessoa e adjacências.....	41
Figura 16 - Bairro do Baixo Roger (João Pessoa - PB).....	44
Figura 17 - Mapa de Risco de Movimentos de Massa - Bairro do Roger.....	48
Figura 18 - Localização do talude estudado.....	47
Figura 19 - Localização do talude estudado.....	47
Figura 20 – Acesso ao talude.....	48

Figura 21 – Vista panorâmica do talude.....	49
Figura 22 – Presença de pés de bananeira no entorno do talude.....	49
Figura 23 – Tubo PVC 75 mm cravado no talude.....	51
Figura 24 – Amostra de solo retirada do talude.....	52
Figura 25 – Armazenamento das amostras em caixa térmica.....	52
Figura 26 - Conjunto de peneiras utilizadas no ensaio de granulometria.....	55
Figura 27 - Picnômetro N° 2.....	57
Figura 28 - Picnômetro N° 3.....	58
Figura 29 - Aparelho de Casagrande utilizado no ensaio.....	59
Figura 30 – Amostras dos ensaios de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade.....	61
Figura 31 - Relação entre LL e IP.....	62
Figura 32 - Ensaio de Sedimentação.....	63
Figura 33 – Equipamento para ensaio de cisalhamento direto.....	65
Figura 34 - Corpo de prova natural cisalhado.....	66
Figura 35 - Corpo de prova saturado cisalhado.....	66
Figura 36 - Fator de Segurança do talude em estado natural pelo método Bishop.....	69
Figura 37 - Fator de Segurança do talude em estado parcialmente saturado pelo método Bishop.....	69
Figura 38 - Fator de Segurança do talude em estado natural pelo método Janbu.....	70

Figura 39 - Fator de Segurança do talude em estado saturado pelo método Janbu.....	70
Figura 40 - Fator de Segurança do talude em estado natural pelo método Fellenius.....	71
Figura 41 - Fator de Segurança do talude em estado parcialmente saturado pelo método Fellenius.....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Tipos de problemas relacionados aos taludes, formas de sua ocorrência e as principais causas responsáveis pelo ocorrido.....	19
Tabela 02 - Agentes/Causas dos escorregamentos e processos correlatos.....	32
Tabela 03 - Nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas.....	37
Tabela 04 - Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais.....	37
Tabela 05 - Fatores de segurança mínimos para deslizamentos.....	37
Tabela 06 - Comunidades em Área de Risco na cidade de João Pessoa.....	39
Tabela 07 – Data e localização dos movimentos de massa possivelmente ocasionados pela chuva em João Pessoa.....	46
Tabela 08 – Precipitação diária e crítica de 7 dias para as datas com ocorrências registradas.....	47
Tabela 09 – Comparação da precipitação ocorrida no dia 16/04/2016 e a crítica ocorrida em 7 dias.....	50
Tabela 10 - Ensaios e respectivas normas utilizadas.....	53
Tabela 11 - Resultado da granulometria das amostras.....	56
Tabela 12 - Resultado do ensaio de densidade real das amostras.....	58
Tabela 13 - Classificação dos solos quanto ao Índice de Plasticidade.....	61
Tabela 14 - Resultados dos limites de consistência.....	61
Tabela 15 - Resultados do Ensaio de Sedimentação.....	64

Tabela 16 - Valores de coesão e ângulo de atrito das amostras.....	68
Tabela 17 - Valores de FS dos estados natural e parcialmente saturado para cada método de cálculo.....	72
Tabela 18 – Comparação entre os valores de FS obtidos no <i>software GeoStudio</i> e a NBR 11682 (2009).....	73

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - Comparação da precipitação anual x Ocorrências relacionadas.....	34
Gráfico 02 - Normal Climatológica João Pessoa 1991-2020.....	42
Gráfico 03 - Ocorrências de deslizamentos por mês no período de 2014 a 2017 na cidade de João Pessoa.....	42
Gráfico 04 – Ocorrências de deslizamentos por bairro, em João Pessoa, no período de 2014 a 2018.....	45
Gráfico 05 - Curva granulométrica das amostras deformadas.....	56
Gráfico 06 - Resultado do Limite de Liquidez da amostra.....	60
Gráfico 07 - Tensão cisalhante x Tensão normal (solo natural).....	67
Gráfico 08 - Tensão cisalhante x Tensão normal (solo parcialmente saturado).....	67

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>17</b>
3.1 TALUDES.....	17
3.2 MOVIMENTOS DE MASSA .....	20
3.3 MECANISMOS DEFLAGRADORES, CAUSAS E AGENTES DOS MOVIMENTOS DE MASSA.....	31
<b>3.3.1 Influência da precipitação nos movimentos de massa.....</b>	<b>32</b>
<b>3.3.2 Influência das ações antrópicas nos movimentos de massa.....</b>	<b>34</b>
<b>3.3.3 Influência da vegetação nos movimentos de massa .....</b>	<b>35</b>
3.4 ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO TALUDE .....	35
<b>3.4.1 Cálculo do Fator de Segurança (FS).....</b>	<b>36</b>
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>38</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA CIDADE DE JOÃO PESSOA.....	38
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	43
<b>4.2.1 Movimentos de massa na área de estudo.....</b>	<b>45</b>
<b>4.2.2 Talude de estudo.....</b>	<b>47</b>
4.3 COLETA DE AMOSTRAS EM CAMPO.....	51
4.4 ENSAIOS DE LABORATÓRIO.....	53
4.5 <i>SOFTWARES</i> UTILIZADOS.....	53
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>54</b>
5.1 ENSAIOS DE LABORATÓRIO.....	54
<b>5.1.1 Ensaio de Granulometria .....</b>	<b>54</b>
<b>5.1.2 Ensaio de Densidade Real.....</b>	<b>57</b>

<b>5.1.3 Ensaio dos Limites de Atteberg</b> .....	<b>59</b>
<b>5.1.4 Ensaio de Sedimentação</b> .....	<b>62</b>
<b>5.1.5 Ensaio de Cisalhamento Direto</b> .....	<b>64</b>
<b>5.2 ANÁLISE DE ESTABILIDADE ATRAVÉS DO <i>GEOSTUDIO</i></b> .....	<b>68</b>
<b>5.2.1 Modelagem no <i>software GeoStudio</i></b> .....	<b>68</b>
<b>5.2.2 Análise comparativa com a NBR 11682 (2009)</b> .....	<b>72</b>
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	<b>74</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>76</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos tempos, os movimentos de massa têm afetado cada vez mais as encostas localizadas em áreas urbanas. Tais movimentos, que também podem ser chamados de deslizamentos e escorregamentos, apesar de retratarem um fenômeno natural, podem sofrer a interferência de numerosos fatores, a exemplo da ação antrópica.

Devido às suas características geomorfológicas e as condições climáticas, o Brasil é um país que apresenta altos riscos de desastres relacionados ao deslizamento de encostas. O clima tropical úmido e os altos índices pluviométricos influenciam diretamente os movimentos de massa.

Além disso, com o crescimento desordenado da população brasileira nas áreas urbanas, aliada à falta de planejamento, a ocupação inadequada das encostas torna-se recorrente, sendo um fator agravante no que tange os movimentos de massa. Essas ocupações irregulares, também procedentes da falta de recursos financeiros da população, são construídas, muitas vezes, sem a preparação adequada do solo, assim como sem a correta execução das técnicas de engenharia, o que acaba agravando a situação.

Conforme Paulino (2023), o uso de métodos convencionais de estabilização de taludes, a exemplo do uso de concreto armado e de aplicação de camada vegetal simples, eram as únicas opções consideradas e disponíveis para realizar a estabilização de maciços de solo. Todavia, com o aumento da peculiaridade dos casos, fez-se necessário desenvolver novas técnicas que substituíssem os métodos tradicionais. Para isso, é necessário haver um estudo minucioso de cada situação, levando-se em consideração a caracterização do local e a realização de ensaios em laboratório.

Diante disso, surge a necessidade de estudar as causas e os agentes deflagradores dos movimentos de massa, de modo a entender a dinâmica de funcionamento desses.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Os movimentos de massa no município de João Pessoa podem ser evidenciados através de dados disponibilizados pela Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil (COMPDEC-JP), em especial no bairro do Roger, foco da presente pesquisa.

Nos últimos tempos, especialmente após chuvas intensas e ocupações inadequadas do espaço urbano, o número de ocorrências relacionadas a deslizamentos vem crescendo de modo constante, aumentando o número de áreas de risco registradas, conforme dados da COMPDEC-JP.

Diante da situação exposta, o presente trabalho justifica-se pela necessidade de haver conhecimentos quanto à estabilidade de um talude de risco no bairro do Roger, que se encontra entre as regiões com o maior número de ocorrências de deslizamentos na cidade de João Pessoa.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar um estudo acerca da estabilidade de um talude localizado no bairro do Roger, na cidade de João Pessoa - PB.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar os movimentos de massa do ponto de vista de classificação, causas e agentes;
- Estudar e analisar a ocorrência de movimentos de massa na cidade de João Pessoa;
- Realizar ensaios de laboratório, com o intuito de determinar os parâmetros geotécnicos presentes no solo estudado;
- Analisar a estabilidade de um dos pontos críticos do talude estudado, verificando-se o seu fator de segurança através do *software GeoStudio*;
- Comparar os resultados encontrados com a NBR 11682 (2009).

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

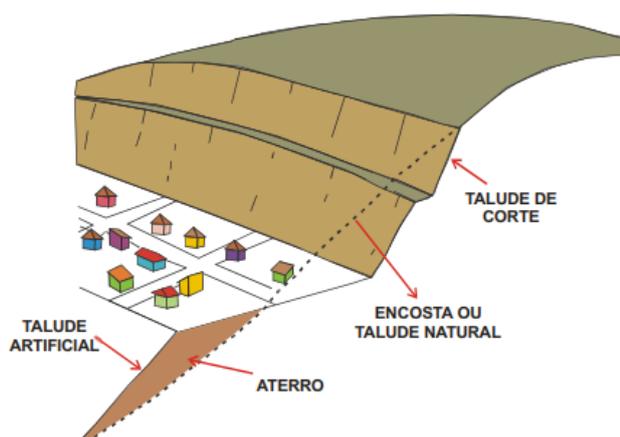
#### 3.1 TALUDES

De acordo com Augusto Filho e Virgili (1998), os taludes ou as encostas naturais são definidos como superfícies inclinadas de maciços terrosos, rochosos ou mistos (solo e rocha), que advém de diversos processos geológicos e geomorfológicos, podendo evidenciar modificações antrópicas, a exemplo de desmatamentos, cortes, sobrecargas, etc.

Segundo Gerscovich (2016), os taludes podem ser classificados, quanto à sua natureza, em taludes naturais e artificiais. Os taludes artificiais são construídos sempre que houver cortes em encostas, lançamento de aterros ou construção de barragens. Ademais, a estabilidade dos taludes artificiais só é garantida quando o corte é realizado com altura e inclinação adequadas. Já os taludes naturais, no que tange à sua formação, podem ser de solo residual e/ou coluvionar, além de rocha.

O solo residual permanece no local onde foi gerado, como resultado do intemperismo sofrido pela rocha original. Já o solo coluvionar se caracteriza por sua elevada heterogeneidade, uma vez que sua formação é feita a partir do transporte de fragmentos que, principalmente devido a ação da gravidade, formam um depósito de materiais. Além disso, Gerscovich (2016) ainda explica que os taludes naturais podem apresentar face plana ou curvilínea. A Figura 01 apresenta a diferença entre encosta, talude natural, de corte e artificial.

Figura 01 - Diferença entre encosta, talude natural, de corte e artificial



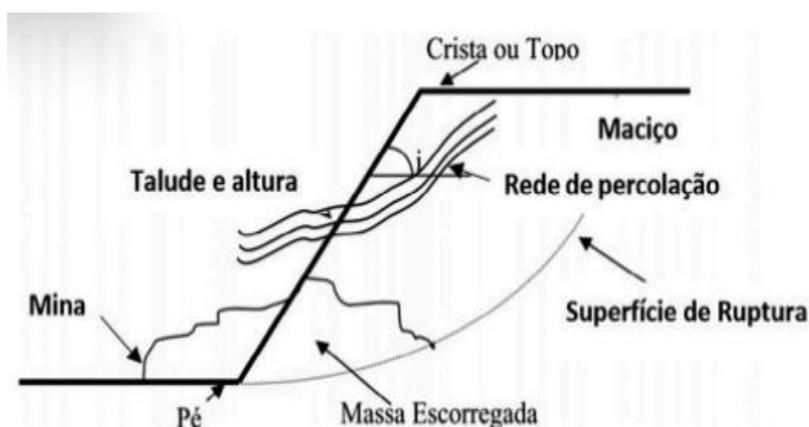
Fonte: UNESP/IGLA *apud* Lima (2002).

Pellegrina (2011) diz que a instabilidade de taludes naturais tem relação direta com a evolução contínua das encostas. Enquanto o intemperismo age sobre a rocha, o material perde resistência, e as forças gravitacionais, em conjunto com a influência da topografia, geram condições favoráveis para a ocorrência do movimento. Ademais, tem-se que a dinâmica do ambiente pode transformar uma situação de equilíbrio, de forma abrupta ou gradual, em uma situação de desequilíbrio, podendo proporcionar um fenômeno catastrófico para os indivíduos.

Parizzi *et al* (2009) explica que a caracterização do maciço rochoso quanto ao seu grau de alteração e a presença de descontinuidades, associada à análise de percolação de água, são os principais fatores que influenciam no comportamento do talude frente aos mecanismos de ruptura.

Desse modo, o talude apresenta como principal função garantir a estabilidade do maciço o qual ele limita. Sua constituição se dá através de diferentes elementos, os quais podem ser visualizados através da Figura 02 e descritos abaixo:

Figura 02 - Principais itens que compõem um talude



Fonte: Stein *et al* (2021).

- Crista (ou topo): parte mais alta do talude;
- Pé (ou base): parte mais baixa do talude;
- Altura do talude (H): diferença de cota entre o pé e a crista;
- Ângulo de inclinação (i): ângulo formado entre a horizontal e a reta média entre o pé e a crista;
- Maciço ou corpo: parte interna do talude (material que compõe o talude);
- Rede de percolação: trajetória que a água percorre no maciço do talude;
- Mina (ou bica): afloramento de água do talude.

Zuquette (2015) expõe que a ruptura da massa dos taludes pode ocorrer por diversos mecanismos: erosão da base da margem; diferença de resistência mecânica entre os materiais; aumento da poropressão; presença de materiais expansivos; ações antropogênicas; erosão em túnel (*piping*); liquefação do material; aumento do ângulo de inclinação da margem e etc.

A Tabela 01 apresenta os tipos de problemas relacionados aos taludes, considerando suas formas de ocorrência e as principais causas.

Tabela 01 - Tipos de problemas relacionados aos taludes, formas de sua ocorrência e as principais causas responsáveis pelo ocorrido

<i>TIPO DE PROBLEMA</i>	<i>FORMA DE OCORRÊNCIA</i>	<i>PRINCIPAIS CAUSAS</i>
Erosão	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Em talude de corte e aterro (em sulcos e diferenciada)</li> <li>. Longitudinal ao longo da plataforma</li> <li>. Localizada e associada a obras de drenagem (ravinas e boçorocas)</li> <li>. Interna em aterros (<i>piping</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Deficiência de drenagem</li> <li>. Deficiência de proteção superficial</li> <li>. Concentração de água superficial e/ou interceptação do lençol freático</li> <li>. Deficiência ou inexistência de drenagem interna</li> </ul>
Desagregação superficial	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Empastilhamento superficial em taludes de corte</li> <li>. Superficial</li> <li>. Profundo</li> <li>. Formas e dimensões variadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Secagem ou umedecimento do material</li> <li>. Presença de argilo-mineral expansivo ou desconfinamento do material</li> <li>. Inclinação acentuada do talude</li> <li>. Relevo energético</li> <li>. Descontinuidades do solo e rocha</li> </ul>
Escorregamento em corte	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Superficial em corte ou encostas naturais</li> <li>. Profundo em cortes</li> <li>. Formas de dimensões variadas</li> <li>. Movimentação de grandes dimensões e generalizada em corpo de talus</li> <li>. Atingindo a borda do aterro</li> <li>. Atingindo o corpo do aterro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Saturação do solo</li> <li>. Evolução por erosão</li> <li>. Corte de corpo de talus</li> <li>. Alteração por drenagem</li> <li>. Compactação inadequada da borda</li> </ul>
Escorregamento em aterro	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Atingindo o corpo do aterro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Deficiência de fundação</li> <li>. Deficiência de drenagem</li> <li>. Deficiência de proteção superficial</li> <li>. Má qualidade do material</li> <li>. Compactação inadequada</li> <li>. Inclinação inadequada do talude</li> </ul>
Recalque em aterro	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Deformação vertical da plataforma</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Deficiência de fundação</li> <li>. Deficiência de drenagem</li> <li>. Rompimento do bueiro</li> <li>. Compactação inadequada</li> </ul>
Queda de blocos	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Geralmente em queda livre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Ação da água e de raízes na descontinuidade do maciço rochoso</li> </ul>
Rolamento de blocos	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Movimento de bloco por rolamento em cortes ou encostas naturais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Descalçamento da base por erosão</li> </ul>

Fonte: Marangon (2009).

### 3.2 MOVIMENTOS DE MASSA

Conforme Tominaga (2015), movimentos de massa nada mais são do que os processos de movimentações dos solos, rochas e/ou vegetações no decorrer das encostas, perante a ação direta da gravidade. A influência de outros meios, como a água ou o gelo, deve-se devido à redução da resistência dos materiais das encostas, como também pelo incentivo do comportamento plástico e fluido dos solos.

Segundo Stein *et al* (2021), os movimentos de massa são eventos naturais que podem receber as contribuições das ações antrópicas, onde o corte e a ocupação desenfreada das vertentes são os principais responsáveis pelos acontecimentos de movimentos de massa, através do desmatamento dessas para a execução de obras de engenharia.

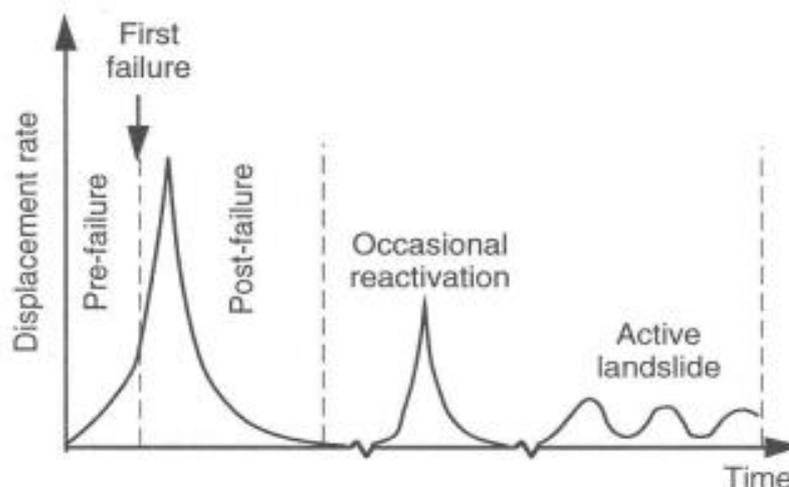
O crescimento desordenado da população urbana em áreas inadequadas, na ausência de um planejamento do uso do solo, sem a utilização de técnicas de estabilização, acarreta na ocorrência de diversos processos relacionados a movimentos de massa.

Segundo Leroueil *et al* (1996), os movimentos de massa são processos físicos que se manifestam no tempo através de diversas etapas. São elas:

1. Etapa pré-ruptura: Abrange qualquer processo de deformação que pode ocasionar a ruptura. Etapa controlada através de alterações na resistência, rastejo ou ruptura progressiva;
2. Etapa de ruptura: É a etapa mais relevante ao longo do movimento de massa, caracterizando-se pela criação e desenvolvimento de uma superfície de cisalhamento no maciço de solo;
3. Etapa pós-ruptura: Vai desde a ruptura até a conclusão da movimentação. Logo após um aumento da razão de deslocamento, ocorre a atenuação gradativa de velocidade;
4. Etapa de reativação: Ocorre quando um maciço de solo desliza ao longo da extensão de uma superfície de ruptura já existente.

A Figura 03 ilustra as etapas descritas.

Figura 03 - Diferentes estágios dos movimentos de massa



Fonte: Leroueil *et al* (1996).

Segundo Tominaga (2015), os movimentos de massa podem ser de diferentes tipos, envolvendo uma grande diversidade de materiais e processos. Entre as classificações feitas no Brasil, sobressai-se, dentre alguns autores, a de Guidicini e Nieble (1984).

De acordo com Stein *et al* (2021), Guidicini e Nieble explicam que os movimentos de massa são instrumentos de diversos estudos, uma vez que, além de serem relevantes como impulsionadores na evolução das formas de relevo, também são importantes no que tange suas implicações práticas e econômicas. Ademais, ainda de acordo com Stein *et al* (2021), o movimento de massa decorre de alguns fatores, expostos a seguir:

- Cinemática do movimento: Estabelecida pela relação existente entre a massa em movimentação e o terreno estável (direção, velocidade e sequência dos deslocamentos);
- Tipo do material: solo, rocha, detritos, depósitos, ocupação do solo, etc.;
- Geometria: tamanho e forma dos movimentos de massa (declividade, área de contribuição, etc.).

### 3.1.1 Classificação dos movimentos de massa

Conforme Guidicini e Nieble (1984), em seu livro intitulado “Estabilidade de taludes naturais e de escavação”, há diversas formas de classificar os movimentos de massa, onde a maioria das classificações realizadas por autores de todo o mundo, tem aplicabilidade regional. Quanto à literatura brasileira, tem-se as classificações de Freire, Vargas e Costa Nunes, com acepções regionais, visando os movimentos de vertentes em ambientes tropicais e subtropicais úmidos.

Segundo Guidicini e Nieble (1984), os movimentos de massas são classificados em três tipos essenciais: escoamentos, escorregamentos e subsidências.

- Escoamentos

Segundo Guidicini e Nieble (1984), configuram uma deformação, ou um movimento contínuo, não necessariamente com uma superfície definida, sendo classificados, de acordo com os movimentos, em corrida e rastejo.

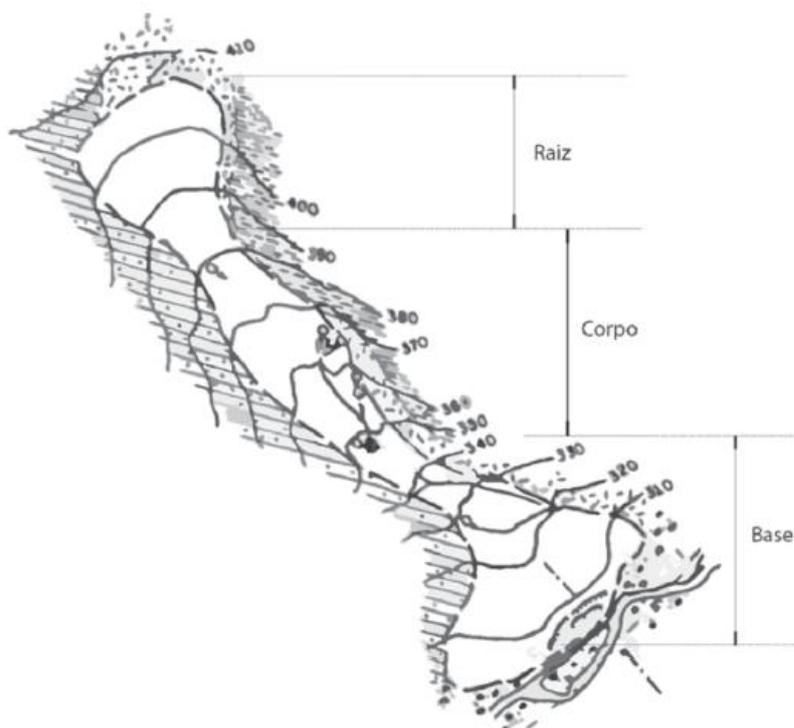
Tominaga (2015), explica que as corridas são modelos de escoamento de caráter, principalmente, hidrodinâmico, formadas devido à perda de atrito interno das partículas de solo, através da destruição de sua estrutura interior, quando há excesso de água.

Gerschovich (2016) e Guidicini e Nieble (1984), apontam que as corridas são movimentos de altas velocidades, sendo estas maiores que 10 km/h, onde o maciço de solo se comporta como um fluido e seus deslocamentos atingem grandes extensões.

O processo de fluidificação pode originar-se por: i) adição de água em solos predominantemente arenosos; ii) esforços dinâmicos (terremoto, cravação de estacas, etc.); iii) amolgamento em argilas muito sensitivas (Gerschovich, 2016).

Ainda de acordo com Gerschovich (2016), o formato da corrida se assemelha a uma língua, onde diferenciam-se três componentes: região de montante (raiz), onde há a concentração do material que será deslocado; parte central alongada (corpo); e a área de acumulação final (base), onde se encontra todo o material transportado ao longo da corrida, localizando-se na região mais baixa do vale (Figura 04).

Figura 04 - Forma típica de corrida

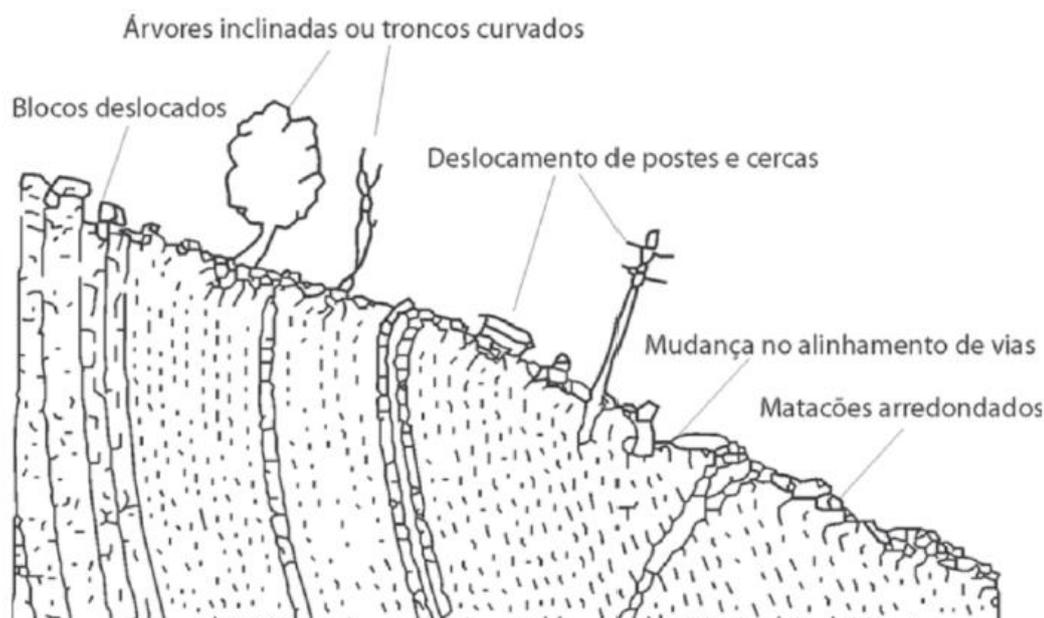


Fonte: Gerschovich (2016).

Segundo Tominaga (2015), rastejos são movimentações contínuas e lentas de materiais de encostas com limites indefinidos. Na maioria das vezes, envolvem grandes volumes de solos, não apresentando uma diferenciação clara entre o material que se encontra em movimento e o material estacionário. Ademais, a razão dos movimentos nos rastejos é a ação da gravidade, juntamente com os efeitos das variações de temperatura e umidade. O procedimento de expansão e contração da massa de material, por conta da variação térmica, acarreta o movimento na vertente abaixo.

De acordo com Gerschovich (2016), o deslocamento dos rastejos ocorre em um estado de tensões inferior à resistência ao cisalhamento e, caso ocorra uma variação do estado de tensões a ponto de se atingir a resistência, o deslocamento da massa passa a ser um processo de escorregamento. Na superfície, o processo de rastejo pode ser identificado através de alguns deslocamentos, como de eixo de estradas, blocos, postes ou cercas, etc. (Figura 05).

Figura 05 - Exemplo de rastejo



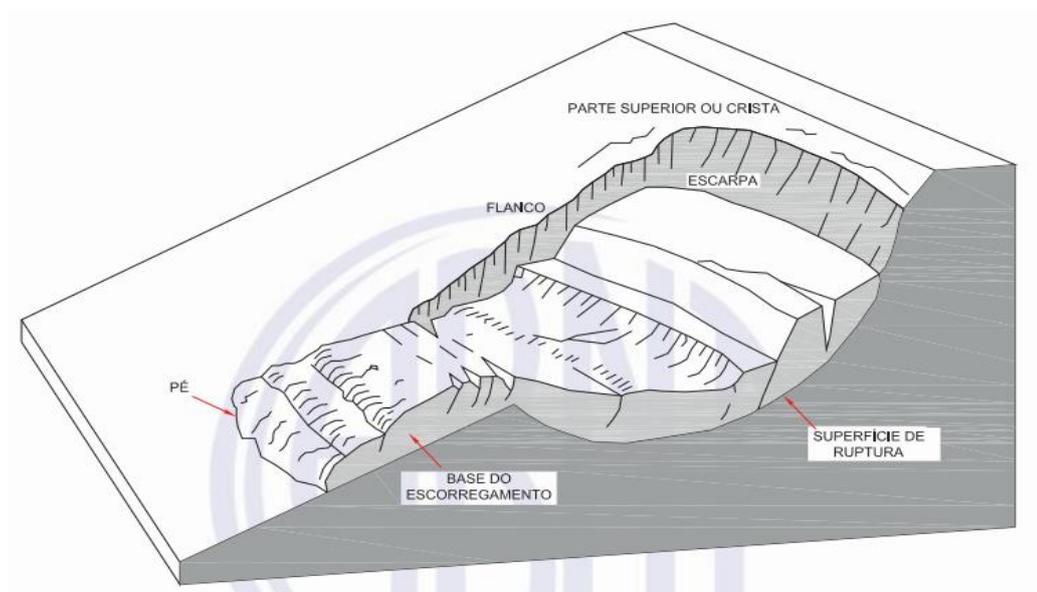
Fonte: Gerschovich (2016).

- Escorregamentos

Escorregamentos são movimentos rápidos, de porções de terrenos (solos e rochas), com volumes definidos, deslocando-se sob ação da gravidade, para baixo e para fora do talude ou da vertente (Tominaga, 2015). Conforme Guidicini e Nieble (1984), para que um escorregamento venha a acontecer, necessita-se que a relação entre a resistência média ao cisalhamento do solo/rocha e as tensões médias de cisalhamento na superfície potencial de movimentação tenha diminuído de um valor inicial maior que 1, no momento do escorregamento. Tal diminuição ocorre de modo gradual, compreendendo uma deformação progressiva do corpo de material localizado acima da superfície potencial de escorregamento, e um movimento em declive de todos os pontos que se localizam na superfície do corpo.

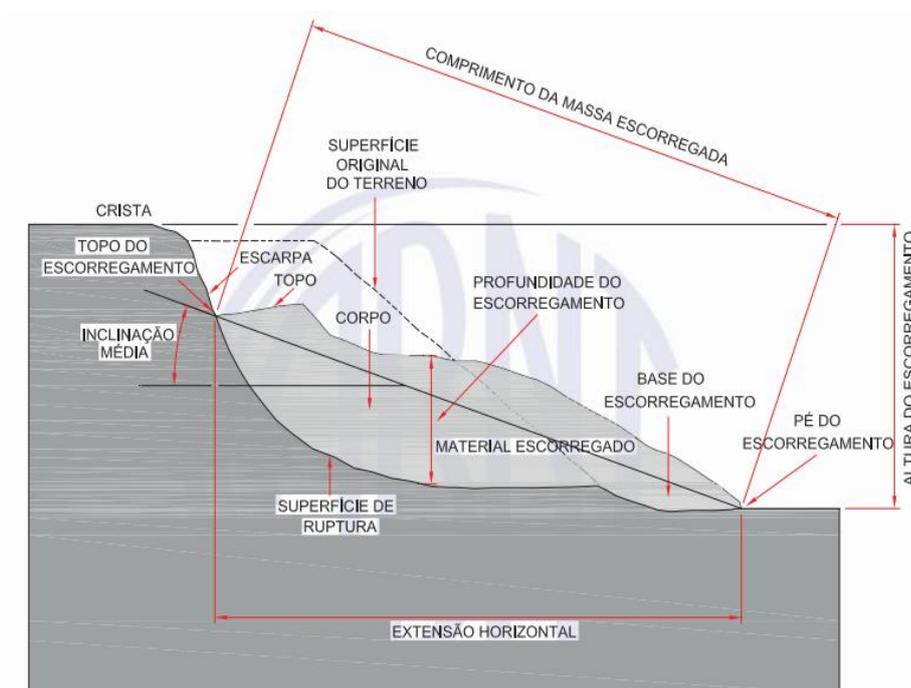
Segundo a ABNT NBR 11682 (2009), as terminologias para designar os elementos que caracterizam escorregamentos, bem como as dimensões envolvidas no processo de movimentação de massas, se encontram expostas nas Figuras 06 e 07, respectivamente.

Figura 06 - Terminologia dos elementos de um escorregamento



Fonte: ABNT NBR 11682 (2009).

Figura 07 - Terminologia das dimensões



Fonte: ABNT NBR 11682 (2009).

Levando em consideração a geometria e a natureza dos materiais instabilizados, os escorregamentos podem ser subdivididos em três tipos: escorregamentos translacionais ou planares, escorregamentos rotacionais ou circulares e escorregamentos em cunha (Tominaga, 2015).

Ainda de acordo com Tominaga (2015), entre todos os tipos de movimentos de massa, os escorregamentos translacionais são os mais frequentes. Fernandes e Amaral (2003), explicam que a superfície de ruptura exhibe forma planar, acompanhada usualmente de descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas que existem no interior do material. Caracterizam-se por serem rasos e ocorrem em encostas de alta e baixa declividade, atingindo-se centenas ou milhares de metros.

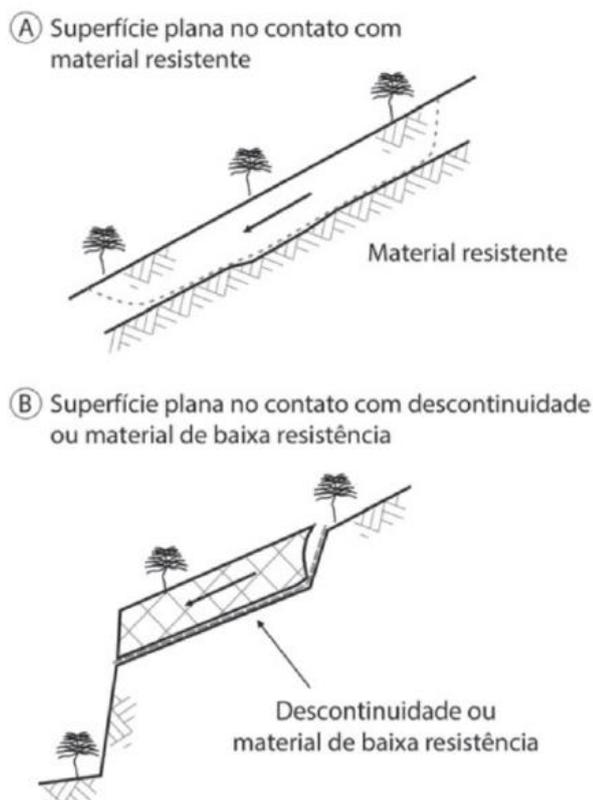
Deve-se atentar, ainda, para o fato de que, os materiais transportados pelos escorregamentos translacionais podem ser formados de rochas, de solos e de solos e rochas.

Conforme Guidicini e Nieble (1984), os escorregamentos translacionais de solo tratam-se de movimentos na extensão da superfície plana, que geralmente é condicionada a alguma feição estrutural do substrato. O movimento apresenta pequena duração, velocidade alta e grande poder destrutivo. Ademais, pelo aumento do teor de água, os escorregamentos translacionais de solos podem apresentar-se semelhante às corridas. Porém, por outro lado, podem passar a atuar como rastejos, devido sua movimentação e acumulação ao pé da encosta.

Os escorregamentos translacionais de rochas tratam-se de movimentos de massas rochosas ao longo de descontinuidades ou planos de fraqueza que já existem. As escalas em que esses movimentos ocorrem podem variar, indo de um simples deslocamento de um bloco isolado de dimensões reduzidas, até a movimentação de grandes massas, constituintes de encostas montanhosas.

Já nos escorregamentos translacionais de solo e rocha, o volume de rocha passa a constituir uma parcela significativa de um maciço que se encontra em processo de escorregamento. A Figura 08 apresenta a dinâmica existente entre uma superfície plana em contato com material resistente e com material de baixa resistência.

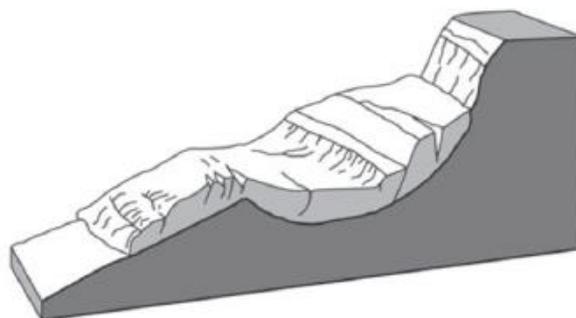
Figura 08 - Exemplos de superfícies de ruptura translacional



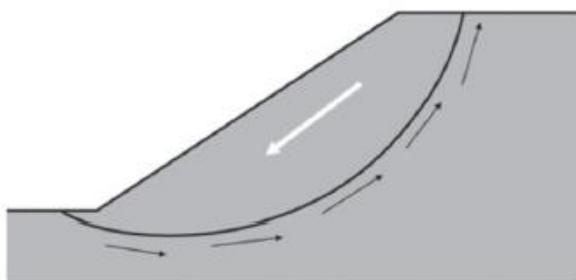
Fonte: Gerschovich (2016).

Quanto aos escorregamentos rotacionais ou circulares, de acordo com Fernandes e Amaral (2003), caracterizam-se por apresentarem uma superfície de ruptura curva ao longo da extensão do movimento rotacional do maciço de solo, conforme ilustra a Figura 09. Sua ocorrência, geralmente, está associada à existência de solos homogêneos e espessos, juntamente com aqueles provenientes da alteração de rochas argilosas. O início de tal movimentação é provocado, muitas das vezes, pela execução de cortes na base desses materiais, como na construção de uma estrada, por exemplo.

Figura 09 - Esquema de superfície de ruptura na seção central



(A) Vista de ruptura circular (GeoRio, 1999)

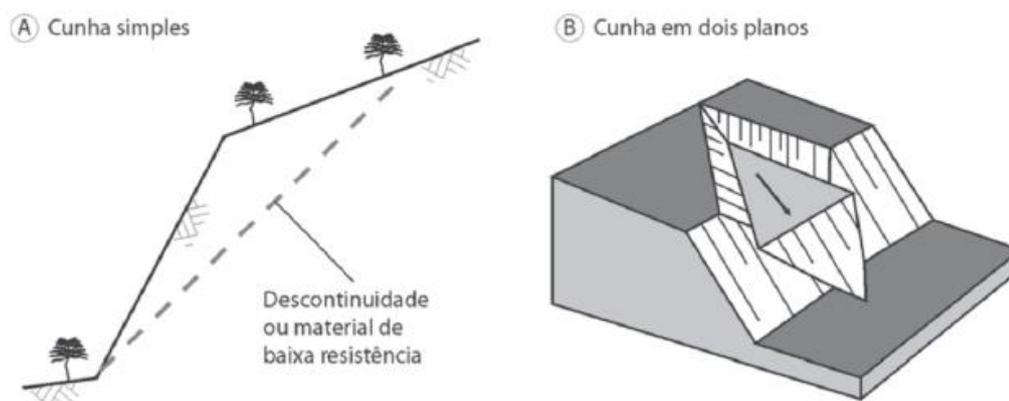


(B) Esquema de superfície de ruptura na seção central

Fonte: Gerschovich (2016)

Por fim, conforme Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998), os escorregamentos em cunha apresentam uma eventualidade mais restrita às regiões que têm um relevo vigorosamente controlado por estruturas geológicas. Tais escorregamentos são relacionados aos maciços de rochas pouco ou muito alterados, onde a existência de duas estruturas planares e desfavoráveis à estabilidade, gera o movimento de um prisma ao longo do eixo que liga tais planos. Os escorregamentos em cunha acontecem, principalmente, em taludes de corte ou em encostas que passaram por algum processo de desconfinamento, seja natural, seja pela ação antrópica. A Figura 10 ilustra a dinâmica do escorregamento em cunha.

Figura 10 - Escorregamento em cunha



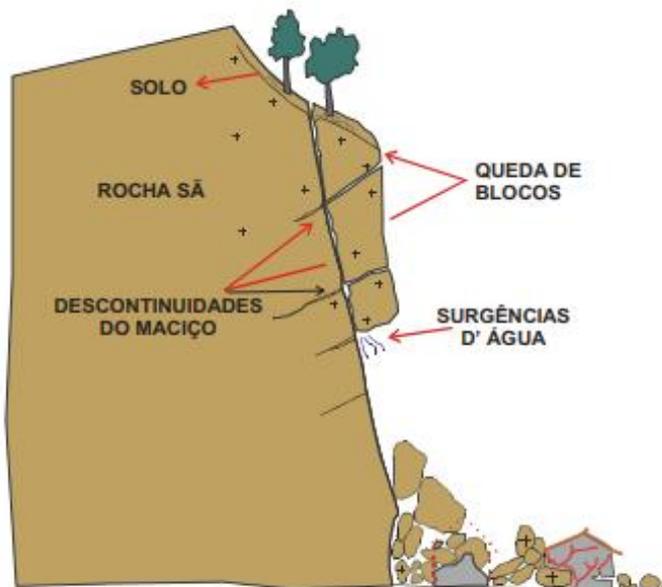
Fonte: Gerschovich (2016).

- Subsidiências

Conforme Gerschovich (2016), as subsidiências são movimentos de massa que equivalem a um movimento sobretudo vertical, podendo ser contínuo ou instantâneo. De acordo com o mecanismo desencadeador, tal movimento pode ser classificado como recalque gerado pelo rearranjo das partículas, desabamento, queda ou afundamento, em que acontece uma deformação contínua.

As quedas são subsidiências bruscas, uma vez que acontecem em alta velocidade, envolvendo blocos rochosos que se deslocam livremente em queda livre ou ao longo de um plano inclinado, conforme ilustra a Figura 11. Segundo Oliveira (2010), esses movimentos podem ainda desenvolver-se por meio da erosão causada pela ação das águas pluviais e córregos, que acabam por lavar e escavar as camadas superficiais do solo, o que facilita a liberação dos blocos e matacões nas encostas. Ademais, fatores antrópicos também podem influenciar as quedas, através de escavações, vibrações, obras subterrâneas, etc.

Figura 11 - Esquema para ocorrência de queda de blocos

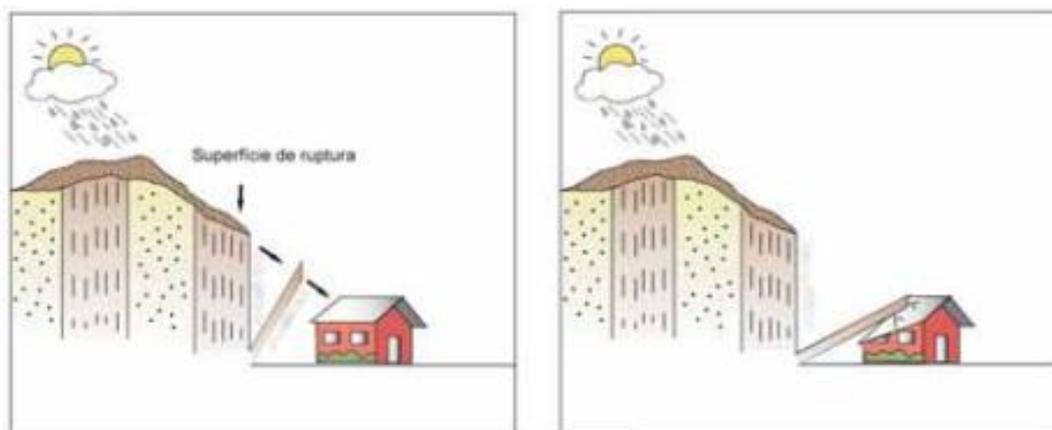


Fonte: Oliveira e Brito (1998) *apud* Lima (2002).

Augusto Filho (1992) detecta dois exemplos de mecanismos de queda de blocos: queda por tombamentos e queda por rolamentos de blocos ou matacões.

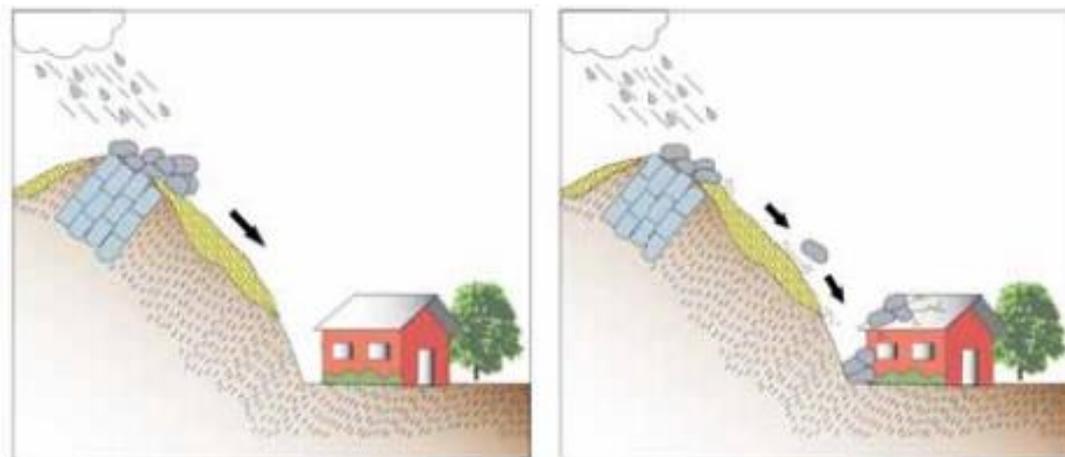
As quedas por tombamentos ocorrem, principalmente, em paredões de rocha ou solo, em geral em taludes de corte, que apresentam falhas e descontinuidades (Figura 12). Já as quedas por rolamento ocorrem de modo natural, consistindo no rolamento, encosta abaixo, de blocos de rocha que se desprendem do terreno por causa da perda de apoio em sua base, principalmente devido à ação das águas pluviais (Figura 13).

Figura 12 - Queda por tombamento



Fonte: Augusto Filho (1992).

Figura 13 - Queda por rolamento



Fonte: Augusto Filho (1992).

### 3.3 MECANISMOS DEFLAGRADORES, CAUSAS E AGENTES DOS MOVIMENTOS DE MASSA

Os movimentos de massa advêm de uma sequência de eventos, que podem ser desencadeados por diferentes causas, e que produzem efeitos que resultam no desprendimento de solo e/ou rocha do maciço, quando este perde sua estabilidade. Isto é, a estabilidade de massas e rochas é afetada por fatores instabilizantes, que aceleram a deflagração dos movimentos de massa.

Guidicini e Nieble (1984) definiram os fatores instabilizantes de solos como causas e agentes, sendo a causa a forma de atuação de determinado agente. As causas dos movimentos de massa dizem respeito às razões para que um determinado movimento tenha ocorrido, incluindo fatores geológicos, morfológicos, físicos e antrópicos.

Além disso, Guidicini e Nieble (1984) agrupam os condicionantes naturais em duas classes: agentes predisponentes e agentes efetivos. Os agentes predisponentes relacionam-se às características específicas do meio físico natural, enquanto os agentes efetivos podem causar modificações nas condições de equilíbrio existentes, inicialmente de modo progressivo (preparatórios), ou determinando a deflagração dos mecanismos de rompimento (imediatos). A Tabela 02 expõe os agentes e causas dos escorregamentos e processos correlatos.

Tabela 02 - Agentes/Causas dos escorregamentos e processos correlatos

AGENTES E CAUSAS DOS ESCORREGAMENTOS	
AGENTES	
PREDISPONENTES	<ul style="list-style-type: none"> <li>Complexo geológico, complexo morfológico, complexo climático-hidrológico, gravidade, calor solar, tipo de vegetação original.</li> </ul>
EFETIVOS	PREPARATÓRIOS <ul style="list-style-type: none"> <li>Pluviosidade, erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação de temperatura, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação de nível de lagos e marés e do lençol freático, ação de animais e humana, inclusive desflorestamento.</li> </ul>
	IMEDIATOS <ul style="list-style-type: none"> <li>Chuvas intensas, fusão do gelo e neve, erosão, terremotos, ondas, vento, ação do homem etc.</li> </ul>
CAUSAS	
INTERNAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Efeitos das oscilações térmicas.</li> <li>Redução dos parâmetros de resistência por intemperismo.</li> </ul>
EXTERNAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mudanças na geometria do sistema.</li> <li>Efeitos de vibrações.</li> <li>Mudanças naturais na inclinação das camadas.</li> </ul>
INTERMEDIÁRIAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elevação do nível piezométrico em massas homogêneas.</li> <li>Elevação da coluna da água em descontinuidades.</li> <li>Rebaixamento rápido do lençol freático.</li> <li>Erosão subterrânea retrogressiva "piping".</li> <li>Diminuição do efeito de coesão aparente.</li> </ul>

Fonte: Guidicini e Nieble (1976) *apud* Lima (2002).

Segundo Lima (2002), ao realizar a investigação de um movimento de massa, deve-se atentar para o fato de que, na maioria dos escorregamentos, não há agentes e causas deflagradoras agindo de modo isolado no evento, mas sim um conjunto deles, isto é, a deflagração acontece após a atuação paralela de vários fatores.

O reconhecimento dos fatores responsáveis pelas movimentações de massa, apesar de nem sempre ser suficiente para cessar a causa, pode minimizar seus efeitos, por meio da adoção de medidas mitigadoras preventivas e corretivas.

### 3.3.1 Influência da precipitação nos movimentos de massa

Segundo Silva (2018), a precipitação é considerada o elemento climático de maior importância quando se trata do desencadeamento dos movimentos de massa em encostas. Kormann *et al* (2013), explica que os altos índices de umidade

característicos de regiões de clima tropical favorecem o encharcamento do solo, trazendo como consequência os movimentos de massa.

Em períodos de índice pluviométrico elevado, tem-se uma maior ação da precipitação sobre encostas íngremes, provocando a saturação dos solos ou rochas, que acaba ocasionando de forma direta a deflagração dos deslizamentos. Ainda de acordo com Silva (2018), há algumas formas de atuação das águas provenientes de chuvas nos deslizamentos de massa:

- Diminuição da resistência ao cisalhamento dos materiais devido ao aumento da pressão hidrostática;
- Aumento das solicitações externas devido ao aumento do peso específico dos materiais que formam a encosta;
- Alteração da resistência do solo devido à diminuição da coesão aparente, eliminação das tensões capilares e dissolução da cimentação;
- Avanço da frente de saturação do maciço, provocando o desenvolvimento de poropressões positivas nos solos, subpressões nas descontinuidades rochosas e forças de percolação;
- Alteração do perfil da encosta por erosão de materiais, entre outros fatores.

Delmonaco *et al* (1995) *apud* Ramos Filho (2014), explicam que, de modo geral, os movimentos de massa profundos estão relacionados a chuvas precedentes acumuladas, enquanto os movimentos de massa superficiais dependem mais da intensidade e duração da chuva em períodos mais curtos. Em solos com baixa permeabilidade, a chuva precedente acumulada apresenta grande importância. Já para solos com alta permeabilidade, as chuvas que apresentam maior importância são as chuvas de curta duração e grande intensidade.

Martins (2021) estabeleceu uma correlação entre os movimentos de massa ocorridos e as precipitações na cidade de João Pessoa, no período compreendido entre 2015 e 2020. O Gráfico 01 expõe essa correlação.

Gráfico 01 - Comparação da precipitação anual x Ocorrências relacionadas



Fonte: Martins (2021).

Desse modo, tem-se que a quantidade e a intensidade da precipitação são fatores que estão relacionados com a deflagração dos movimentos de massa, influenciando a forma como a água se infiltra no solo. Ademais, o volume e a distribuição das chuvas em dias antecedentes às rupturas, são responsáveis pela preparação do terreno para os escorregamentos, uma vez que há aumento da umidade e avanço das linhas de saturação.

### 3.3.2 Influência das ações antrópicas nos movimentos de massa

O processo de uso e ocupação do solo é responsável por significativas alterações no estado natural do relevo, interferindo na dinâmica natural de desenvolvimento das encostas. Segundo Bigarella *et al* (2003), as ações humanas têm contribuído consideravelmente na desestabilização das encostas, fazendo com que haja uma perda de equilíbrio no espaço urbano devido à extensas movimentações de massa.

Florenzano (2008) expõe que, quanto às atividades antrópicas em áreas urbanas, o mais alarmante é a ocupação inadequada das vertentes, devido aos altos índices de desmatamento e corte de taludes, gerando maiores possibilidades de movimentos de massa. Farah (2003) e Parizzi (2004) destacam diversas atividades que ocasionam alterações em encostas naturais, devido à ocupação urbana:

- Movimentações de terra, com mudança das características geométricas da encosta;
- Execução de aterros sem compactação adequada, gerando sobrecarga e criação de materiais de baixa resistência;
- Desmatamento, implicando em aumento da velocidade de escoamento e eliminação da proteção do impacto de chuva nos terrenos;
- Lançamento de detritos e lixo nas encostas, formando depósitos tecnogênicos;
- Lançamento de esgoto e água servida nas encostas, gerando aumento de poropressões e fluxo subsuperficial.

### **3.3.3 Influência da vegetação nos movimentos de massa**

A cobertura vegetal é um fator que influencia na estabilidade das encostas, podendo produzir efeitos favoráveis ou desfavoráveis na estabilidade dessas. Segundo Gerscovich (2016), de modo geral, a vegetação protege o solo de vários efeitos climáticos, além de suas raízes conferirem reforço à superfície, aumentando sua resistência. Cavalcanti (2017) explica que os solos expostos à erosão e a infiltração, devido à remoção da vegetação e das camadas superficiais, podem contribuir para movimentações de massa.

No entanto, a presença de vegetação também pode causar efeitos desfavoráveis, como o efeito alavanca. O efeito alavanca é produzido pelos troncos das árvores, quando suas copas são atingidas por ventos, aumentando a pressão das raízes ao penetrar em fissuras, fendas e canais de solo/rocha. Ademais, a sobrecarga vertical proveniente do peso das árvores também é um fator desfavorável no que diz respeito aos movimentos de massa.

## **3.4 ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO TALUDE**

Para analisar a estabilidade de um talude, busca-se encontrar o seu fator de segurança. Tal análise compreende uma coleção de procedimentos para estimar quão próximo da ruptura determinada encosta se encontra. Para isso, alguns fatores devem ser levados em consideração para a análise da estabilidade de um talude: condições

de carregamento do solo, escolha do método de cálculo, perfil geotécnico, geometria do talude e estudo da pluviometria.

No que tange os métodos de cálculo, estes apresentam características particulares que buscam satisfazer o equilíbrio do problema, trazendo uma solução para este. Equações de equilíbrio, consideração das formas de superfície de ruptura circular e não circular e hipóteses simplificadoras, são exemplos de características dos métodos de cálculo que devem ser levadas em consideração.

### 3.4.1 Cálculo do Fator de Segurança (FS)

Segundo Marangon (2009), o fator de segurança é o resultado da razão estabelecida entre a resistência ao cisalhamento disponível do solo, que busca garantir o equilíbrio do corpo deslizando, e a tensão de cisalhamento mobilizada sob efeito dos esforços atuantes. A Equação 1 descreve a relação supracitada:

$$FS = \frac{\sum \text{Forças resistentes}}{\sum \text{Forças atuantes}} \quad (\text{Eq. 1})$$

De acordo com Ahrendt (2005), o fator de segurança indica o grau de estabilidade de um talude, indicando também a superfície de ruptura crítica referente a esse fator, quando este é mínimo. O valor limite entre a condição estável e instável do talude é 1. Para valores menores ou iguais a 1, o talude se encontra instável ou na iminência do rompimento.

Entretanto, a NBR 11682 (2009) explica que o valor de FS pode variar de acordo com a situação do talude, estabelecendo níveis de segurança e critérios referentes ao perigo de vidas humanas e à possibilidade de danos materiais e ao meio ambiente. As Tabelas 03 e 04 apresentam, respectivamente, o nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas e o nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais.

Tabela 03 - Nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas

Nível de segurança	Critérios
Alto	Áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas, como edificações públicas, residenciais ou industriais, estádios, praças e demais locais, urbanos ou não, com possibilidade de elevada concentração de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego intenso
Médio	Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego moderado
Baixo	Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego reduzido

Fonte: NBR 11682 (2009).

Tabela 04 - Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais

Nível de segurança	Critérios
Alto	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte e áreas que afetem serviços essenciais Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais graves, tais como nas proximidades de oleodutos, barragens de rejeito e fábricas de produtos tóxicos
Médio	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor moderado Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais moderados
Baixo	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor reduzido Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos

Fonte: 11682 (2009).

Desse modo, com os níveis de segurança determinados, é possível verificar qual é o valor de FS mínimo para se ter um talude estável (Tabela 05).

Tabela 05 - Fatores de segurança mínimos para deslizamentos

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

Fonte: NBR 11682 (2009).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

No referido tópico, foram apresentados todos os passos metodológicos utilizados para se alcançar os objetivos propostos no presente estudo.

A metodologia da pesquisa consistiu em uma série de fases distintas: levantamentos bibliográficos, visitas à área de estudo, mapeamento da área de risco, coletas em campo, ensaios de laboratório e análise da estabilidade do talude.

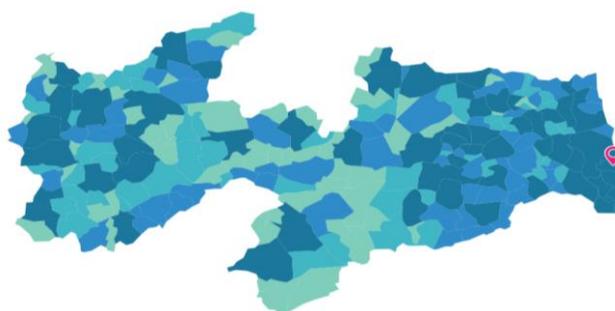
Ao seguir o supracitado passo a passo, foi possível obter uma série de informações fundamentais para caracterizar a área de estudo e determinar o risco do local quanto a possíveis deslizamentos.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA CIDADE DE JOÃO PESSOA

O talude estudado se encontra no município de João Pessoa, no estado da Paraíba. De acordo com dados do IBGE (2022), a cidade de João Pessoa apresenta um território de 210,044 km<sup>2</sup>, possuindo aproximadamente 833.932 pessoas, e apresentando cerca de 65 bairros. Ademais, localiza-se na mesorregião da Zona da Mata Paraibana.

A Figura 14 apresenta a localização da cidade de João Pessoa no mapa da Paraíba.

Figura 14 - Localização da cidade de João Pessoa no estado da Paraíba



Fonte: IBGE (2022).

Segundo Pereira (2017), no que se refere a cidade de João Pessoa, esta teve um crescimento populacional acelerado, devido à migração de indivíduos que vinham de cidades vizinhas em busca de trabalho e de melhores condições de vida. Com o aumento da urbanização, aliado à ausência de planejamento urbano, a quantidade de

bairros com infraestrutura inadequada se multiplicou de modo demasiado, fazendo com que locais próximos a encostas e vales de rios passassem a ser alternativas de moradia.

De acordo com dados da Coordenadoria Municipal de Proteção da Defesa Civil de João Pessoa (COMPDEC - JP), em 2023, João Pessoa apresentava cerca de 27 áreas de risco monitoradas, estando essas suscetíveis a alagamentos, inundações e deslizamentos. Ademais, de acordo com a autarquia, as áreas de maiores preocupações se encontram localizadas próximas às barreiras e rios, a exemplo dos bairros do Castelo Branco, Alto do Mateus, São José e Roger.

A COMPDEC-JP expôs um levantamento das comunidades que se encontram em áreas de risco na cidade de João Pessoa, apontando o tipo de risco que enfrentam (Tabela 06).

Tabela 06 - Comunidades em área de risco na cidade de João Pessoa

DESCRIÇÕES / IDENTIFICAÇÃO					Número de domicílios afetados pelo tipo de risco		
Nº	Comunidade	Bairro	População	Domicílios	Desmoronamento	Deslizamento	Alagamento/ Inundação
1.	Saturino de Brito	Trincheiras	2.100	500	150	325	****
2.	Santa Clara	Castelo Branco II	1.750	350	105	210	35
3.	São Rafael	Castelo Branco/ R. Tabajara	1.800	345	52	86	173
4.	Tito Silva	Miramar	1.900	380	57	95	190
5.	São José	São José	2.000	402	60	101	201
6.	São Judas tadeu	Alto do Mateus	1.030	206	41	72	****
7.	Boa Esperança	Cristo	5.200	1.050	210	368	105
8.	Maria de Nazaré	Funcionarios II	2.250	500	125	175	****
9.	Riacho/Riachinho	13 de Maio	950	210	53	74	21
10.	Chatuba	Manaira	1.900	361	108	****	253
11.	Sta Emilia de Rodath	Ilha do Bispo	1.700	400	120	****	240
12.	Porto do Capim	Varadouro	550	130	52	****	78
13.	Felipéia	Tambiá	205	41	16	25	****
14.	Beira da Linha	Alto do Mateus	1.400	280	28	84	168
15.	Barreira /Cabo Branco	Cabo Branco / Rua José Eduardo de Holanda	450	90	****	63	****
16.	Comunidade "S"	Roger	930	193	58	19	77
17.	Sta. Bárbara	Valentina	1.500	300	60	90	***** *
18.	Nova República	Geisel	2.200	480	96	****	192
19.	Arame	Grotão	450	100	20	40	****
20.	Bananeiras	Grotão	1.100	240	60	96	
21.	Porto de João Tota	Mandacaru	2.500	600	60	****	240
22.	Jardim Coqueiral	Mandacaru	3.300	760	152	****	266
23.	Rua Ari Barroso	Alto do Mateus	180	45	9	36	****
24.	São Geraldo	Rua: São Geraldo Nº 101/110 (Pé de referencia).	100	25	8	****	10
25.	KM-19/ BR-230	Castelo Branco - II	340	85	17	68	****
26.	Padre Hildom	Torre	1.320	330	66	****	132
27.	Renascer - I Distrito Mecânico/Varadouro	Distrito Mecânico / Varadouro	360	90	18	72	****
<b>TOTAL</b>			<b>39.465</b>	<b>8.493</b>	<b>1801</b>	<b>2098</b>	<b>2380</b>

Fonte: COMPDEC-JP (2018).

Ademais, além das ocupações inadequadas e da falta de planejamento urbano, há outros fatores que tornam tais áreas mais vulneráveis aos movimentos de massa, como a geologia, a geomorfologia e o clima do local.

No que se refere à geologia e à geomorfologia, o município de João Pessoa se encontra, em grande parte, sobre a formação barreiras. Segundo Arai (2006), a formação barreiras é uma cobertura sedimentar terrígena e continental que abrange uma região que se estende do estado do Rio de Janeiro até o estado do Amapá. Conforme Silva (2018), a formação barreiras trata-se de sedimentos clásticos, correspondentes a arenitos, siltitos, argilitos e conglomerados, de frequência lenticular, em cores vivas e variadas, formando falésias em grandes trechos e aflorando ao longo da costa, com maior ocorrência no litoral do Nordeste.

Ademais, diversos autores afirmam que a formação barreiras no estado da Paraíba alcança extensões que variam entre 30 e 50 km no sentido leste-oeste, a partir do litoral, e que todo o território litorâneo da Paraíba possui a presença dessa formação.

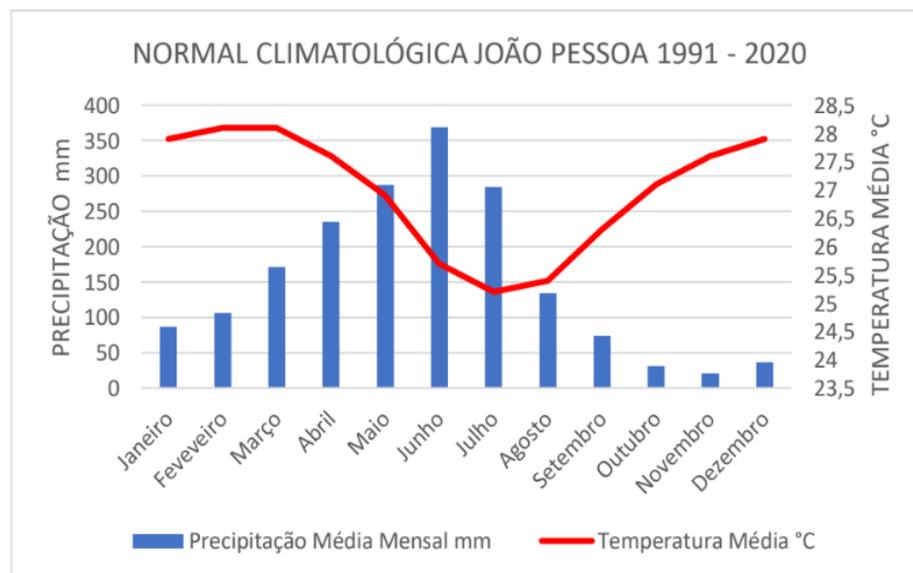
Conforme Silva (2018), a cidade apresenta um relevo com predominância dos baixos planaltos costeiros, sendo estas superfícies tabulares planas com a presença de ondulações moderadas ou fortes, de curta a média extensão, que ocupam cerca de 97% do município de João Pessoa.

Furrier *et al* (2006), relata que pesquisas anteriores constataram, com base em análises sedimentológicas, que os sedimentos areno-argilosos mal consolidados da formação barreiras, derivaram de granitos, gnaises e xistos. Na Figura 15, é possível observar a maior ocorrência de solos Podzólico Vermelho-Amarelo (solos argilosos), Areias Quartzosas Marinhas (solos arenosos) e Solos Aluviais.

Além disso, Fourier (2007) indica que os solos de textura arenosa são mais facilmente erodidos que os de textura argilosa. Os solos que pertencem à formação barreiras possuem grande porcentagem de grãos de quartzo presentes na rocha parental, se apresentando estes em sua maioria com textura arenosa. A resistência ao intemperismo, ligada ao clima tropical úmido, favorecem a sua predominância.



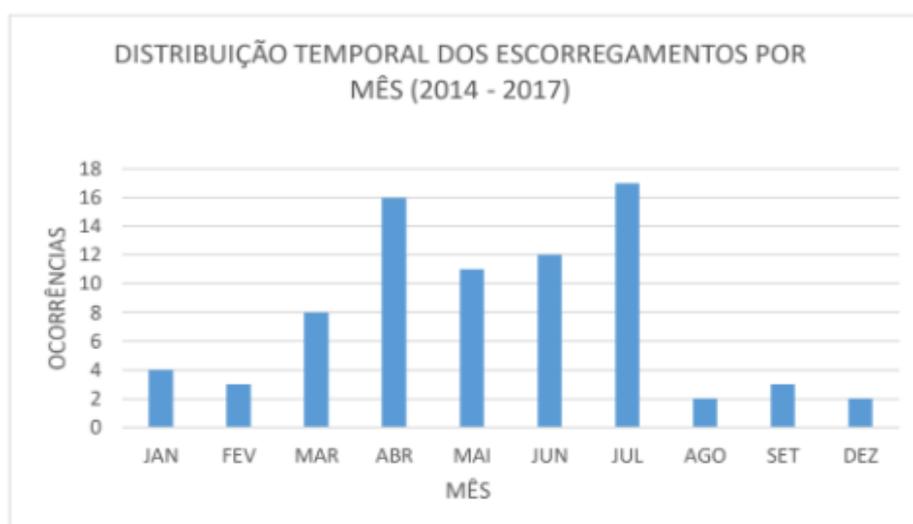
Gráfico 02 - Normal Climatológica João Pessoa 1991-2020



Fonte: Ramos *et al* (2022).

Ademais, Silva (2018) fez uma distribuição temporal dos escorregamentos por meses do ano ocorridos em João Pessoa no período de 2014 a 2017 (Gráfico 03), constatando que 82% dos fenômenos ocorridos no período analisado ocorreram entre os meses de abril a julho, que são caracterizados por elevados índices pluviométricos.

Gráfico 03 - Ocorrências de deslizamentos por mês no período de 2014 a 2017 na cidade de João Pessoa



Fonte: Silva (2018).

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Tendo ciência da situação da cidade de João Pessoa quanto às áreas de riscos de deslizamentos, assim como de suas características geológicas, geomorfológicas e de clima, a área escolhida para o estudo está situada no bairro do Roger.

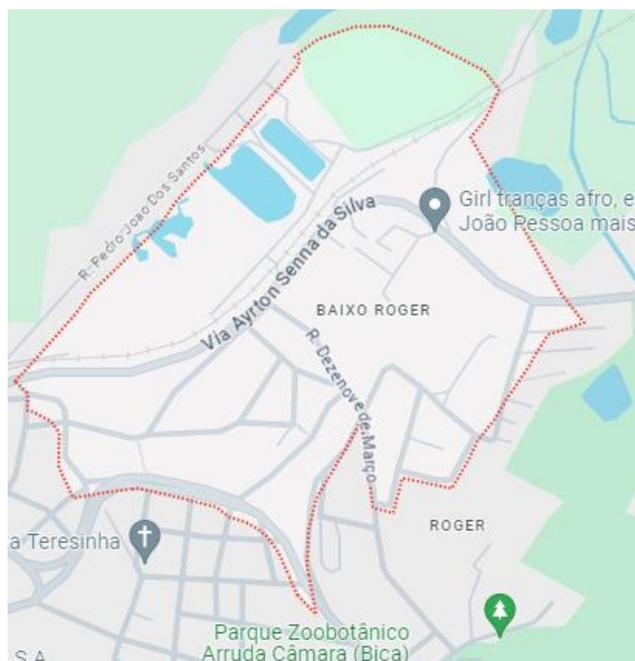
De acordo com dados do IBGE, no ano de 2010, a população do bairro do Roger era de 10.381 habitantes, sendo 5.402 mulheres e 4.979 homens, com um total de 2.874 domicílios, com uma média de 3,5 habitantes por domicílio.

Ademais, o bairro do Roger apresenta duas divisões: Baixo Roger e Alto Roger. Segundo o Atlas Municipal de João Pessoa, fornecido pelo *site* “Filipeia - Mapas da Cidade”, tal divisão apresenta divergências geográficas e socioculturais. Quanto às divergências geográficas, no que diz respeito ao relevo, enquanto o Alto Roger possui um relevo praticamente plano, com pequenas inclinações, o Baixo Roger possui relevo irregular e de inclinação bem acentuada, o que contribui para o aumento do número de morros com encostas.

Já no que tange a situação socioeconômica, o Alto Roger possui uma população de classe média baixa, enquanto o Baixo Roger possui uma população de baixa renda.

Desse modo, devido ao maior número de encostas em situações de risco, a presente pesquisa foi realizada no bairro do Baixo Roger, na cidade de João Pessoa (Figura 16).

Figura 16 - Bairro do Baixo Roger (João Pessoa - PB)



Fonte: Google Maps (2024).

No tocante ao solo do bairro do Roger, este apresenta, a partir de análises realizadas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMPRAPA), através do Mapa de Reconhecimento de Solos do Município de João Pessoa, a predominância de solos arenosos, solos derivados de sedimentos aluviais, solos argilosos e solos derivados de sedimentos de mangues.

Em relação ao clima do local, sabe-se que, por estar situado na cidade de João Pessoa, o bairro do Roger apresenta clima tropical úmido, com grande incidência de precipitações entre os meses de abril e julho, conforme já supracitado. Como indicado em Filho (2015), apesar de existirem diversos fatores e agentes condicionantes que influenciam a ocorrência de movimentos de massa, existe uma correlação intensa entre a precipitação acumulada e os casos de deslizamentos, sendo a chuva um dos principais agentes deflagradores de escorregamentos, uma vez que eleva a saturação do solo e as erosões na base dos taludes, acarretando em uma diminuição considerável da resistência do solo.

#### 4.2.1 Movimentos de massa na área de estudo

O levantamento de ocorrências de movimentos de massa foi realizado através de dados da COMPDEC-JP, a qual mantém um banco de registros de todos os casos constatados. Silva (2018) selecionou os eventos de deslizamentos de janeiro de 2014 a abril de 2018, identificando 88 ocorrências relacionadas à deslizamentos em barreiras, por bairro, e expôs os dados levantados no Gráfico 04.

Gráfico 04 – Ocorrências de deslizamentos por bairro, em João Pessoa, no período de 2014 a 2018



Fonte: Silva (2018).

Ao analisar o Gráfico 04, observa-se que os bairros mais afetados, no intervalo de tempo analisado, foram os bairros do Roger, Alto do Mateus, Miramar, Valentina e São José, concentrando juntos cerca de 47 registros de deslizamentos. Dentre eles, o bairro do Roger, foco do presente estudo, apresentou o maior número de ocorrências, com 12 registros.

Ademais, Silva (2018) também levantou os movimentos de massa possivelmente ocasionados pela chuva na cidade de João Pessoa, no período compreendido entre 2014 e 2018, através de dados disponibilizados pela COMPDEC-JP. A Tabela 07 expõe tal levantamento, contendo a data e a localização das ocorrências registradas.

Tabela 07 – Data e localização dos movimentos de massa possivelmente ocasionados pela chuva em João Pessoa

<b>DATA</b>	<b>LOGRADOURO</b>	<b>BAIRRO</b>
14/05/2014	R. Maria Alice da Conceição	Tambiá
24/03/2015	R. Silva Mariz	Cruz das Armas
01/07/2015	R. da Barreira	São José
	R. Manoel Guerra	Oitizeiro
23/07/2015	R. Manuel Guedes da Silva	Cruz das Armas
27/07/2015	R. Carteiro Dorgival Lopes da Silva	Alto do Mateus
28/07/2015	R. Dr. Vital Brasil	Valentina
29/12/2015	R. Oswaldo Lemos	Rangel
16/04/2016	R. Trav. Ia Iá Amorim Coutinho	Miramar
	R. Marta da Luz	B. dos Novais
	R. Ari Barroso	Alto do Mateus
	R. Oswaldo Lemos	Rangel
	R. Fotógrafo Ernani Augusto	Roger
	R. Salvador de Albuquerque	Roger
18/04/2016	R. Saturnino de Brito	Trincheiras
	Conjunto Maria Sales	Ilha do Bispo
13/04/2017	R. Padre Ibiapino	Varadouro
	R. São Judas Tadeu	Alto do Mateus
09/05/2017	R. José Eduardo de Holanda	Cabo Branco
29/05/2017	R. São Judas Tadeu	Alto do Mateus
	R. São Vicente	Miramar
	BR 230 KM 19	Castelo Branco
29/06/2017	R. do Tambor	Cruz das Armas
	BR 230 KM 19	Castelo Branco
30/06/2017	R. Carteiro Dorgival Lopes da Silva	Alto do Mateus
21/07/2017	R. Leonardo Silva Pereira	Roger
28/07/2017	Av. Beira Rio	Miramar
	R. Monsenhor Coutinho	Roger
29/07/2017	R. Carteiro Dorgival Lopes da Silva	Alto do Mateus
13/04/2018	R. Pedro Ulisses	Roger
	R. Edmundo Filho	São José

Fonte: Silva (2018).

Verifica-se, a partir da Tabela 07, que das 31 ocorrências de deslizamentos relacionadas a precipitações, 5 ocorrências fazem respeito ao bairro do Roger, representando 16,13% do total de registros, ficando atrás apenas do Alto do Mateus, com 6 ocorrências registradas.

Ademais, Silva (2018) levantou a precipitação diária e crítica de 7 dias para as datas com ocorrências registradas. A Tabela 08 abaixo expõe esse levantamento.

Tabela 08 – Precipitação diária e crítica de 7 dias para as datas com ocorrências registradas

<b>Dias com Ocorrência</b>		
<b>Data</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	
	<b>Diária</b>	<b>7 dias</b>
14/05/2014	75,5	25
24/03/2015	65,2	133,8
01/07/2015	24,2	157,4
23/07/2015	32,4	120
27/07/2015	59	96,2
28/07/2015	23,8	150,6
29/12/2015	87,4	58,6
16/04/2016	147,4	15,3
18/04/2016	41,4	276,1
13/04/2017	71	55,5
09/05/2017	50,8	137,6
29/05/2017	135	27,2
29/06/2017	60,4	115,4
30/06/2017	45,7	174,5
21/07/2017	96,4	32,9
28/07/2017	119,8	118,8
29/07/2017	48,8	142,2
13/04/2018	33,8	109,9

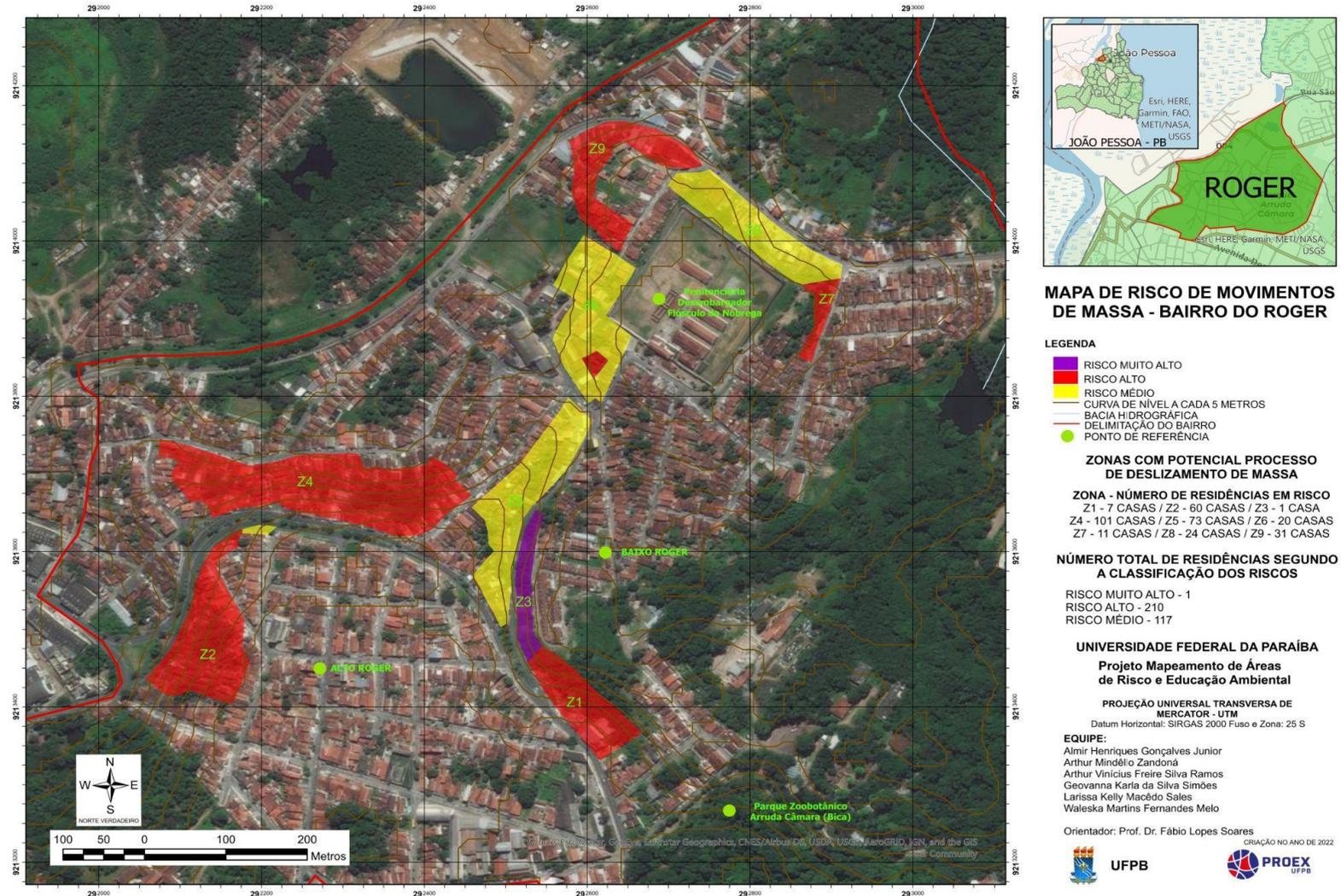
Fonte: Silva (2018).

Ao interpretar os dados contidos na Tabela 08, nota-se que o número de vezes que a precipitação diária superou a precipitação acumulada de 7 dias é considerável e representativo, confirmando a relação direta existente entre movimentos de massa e precipitações.

#### 4.2.2 Talude de estudo

A partir do mapa de risco de movimentos de massa do bairro do Roger, selecionou-se para a realização da pesquisa a zona Z9, que contém 31 casas em situações consideradas de alto risco (Figura 17).

Figura 17 - Mapa de Risco de Movimentos de Massa - Bairro do Roger



Fonte: PROEX/UFPB (2023).

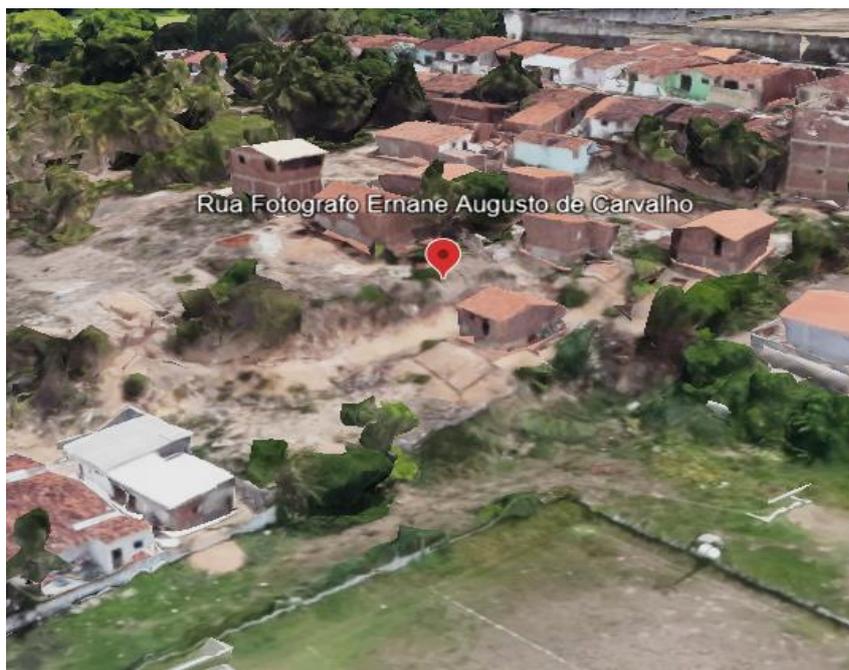
O talude escolhido para o estudo se encontra localizado no Baixo Roger, na Rua Fotografo Ernane Augusto de Carvalho, conforme expõe as Figuras 18 e 19.

Figura 18 - Localização do talude estudado



Fonte: Google Earth.

Figura 19 - Localização do talude estudado



Fonte: Google Earth.

Através de visitas em campo, foi possível descrever algumas características do local: encosta natural, de relevo levemente côncavo com pequenas inclinações, presença de residências no topo da encosta, e presença de muita vegetação de médio e alto porte nas proximidades do talude, como por exemplo, pé de bananeira. Tais características podem ser observadas através das Figuras 20, 21 e 22.

Figura 20 – Acesso ao talude



Fonte: Autora (2024).

Figura 21 – Vista panorâmica do talude



Fonte: Autora (2024).

Figura 22 – Presença de pés de bananeira no entorno do talude



Fonte: Autora (2024).

Ao analisar os dados da Tabela 07, nota-se que no dia 16/04/2016 houve uma ocorrência de movimento de massa na Rua Ernane Augusto de Carvalho, onde se

encontra o talude estudado. Ademais, ao observar a Tabela 08, nota-se que no dia da ocorrência houve uma precipitação de 147,4 mm, superando demasiadamente a precipitação de 7 dias de 15,3 mm, conforme destacado na Tabela 09.

Tabela 09 – Comparação da precipitação ocorrida no dia 16/04/2016 e a crítica ocorrida em 7 dias

<b>Dias com Ocorrência</b>		
<b>Data</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	
	<b>Diária</b>	<b>7 dias</b>
14/05/2014	75,5	25
24/03/2015	65,2	133,8
01/07/2015	24,2	157,4
23/07/2015	32,4	120
27/07/2015	59	96,2
28/07/2015	23,8	150,6
29/12/2015	87,4	58,6
<b>16/04/2016</b>	<b>147,4</b>	<b>15,3</b>
18/04/2016	41,4	276,1
13/04/2017	71	55,5
09/05/2017	50,8	137,6
29/05/2017	135	27,2
29/06/2017	60,4	115,4
30/06/2017	45,7	174,5
21/07/2017	96,4	32,9
28/07/2017	119,8	118,8
29/07/2017	48,8	142,2
13/04/2018	33,8	109,9

Fonte: Adaptado de Silva (2018).

Desse modo, pode-se inferir que, possivelmente, as chuvas intensas ocorridas no dia 16/04/2016 foram o motivo da deflagração do movimento de massa.

### 4.3 COLETA DE AMOSTRAS EM CAMPO

Para realizar a retirada de amostras do solo, escolheu-se uma região do talude que fosse de fácil acesso. Tanto o material deformado, quanto o material indeformado, foram retirados através de tubos PVC de 75 mm de diâmetro e 30 cm de comprimento, a fim de retirar amostras suficientes para a realização dos ensaios no estado natural e no estado parcialmente saturado (Figuras 23 e 24).

Ao final da coleta, todas as amostras foram envoltas em pano úmido e armazenadas em caixa térmica, com o intuito de manter os materiais com as condições naturais encontradas (Figura 25).

Figura 23 – Tubo PVC 75 mm cravado no talude



Fonte: Autora (2024).

Figura 24 – Amostra de solo retirada do talude



Fonte: Autora (2024).

Figura 25 – Armazenamento das amostras em caixa térmica



Fonte: Autora (2024).

#### 4.4 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Os ensaios do estudo foram realizados no Laboratório de Geotecnia e Pavimentação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba, seguindo todas as normas técnicas cabíveis e aplicáveis da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Para a obtenção dos dados necessários para a classificação e caracterização do solo, foram realizados os ensaios presentes na Tabela 10 abaixo:

Tabela 10 - Ensaios e respectivas normas utilizadas

<b>Ensaio</b>	<b>Norma pertinente</b>
Análise Granulométrica	NBR 7181 (2016)
Densidade Real	NBR 6458 (2016)
Limite de Liquidez	NBR 6459 (2016)
Limite de Plasticidade	NBR 7180 (2016)
Sedimentação	NBR 7181 (2016)
Cisalhamento direto	Metodologia descrita por Head (1996)

Fonte: Autora (2024).

#### 4.5 SOFTWARES UTILIZADOS

Para realizar a análise de estabilidade do talude, fez-se o uso de dois *softwares*: *Google Earth Pro* e *GeoStudio 2021 Slope/W* (licença estudante).

O *Google Earth Pro* foi utilizado com o intuito de extrair dados altimétricos do talude, possibilitando a modelagem deste, em posse de suas dimensões. Já o *software GeoStudio 2021 Slope/W* (licença estudante), foi utilizado com o intuito de realizar as análises de estabilidade da encosta, a partir da modelagem do talude estudado, inserindo como dados de entrada o ângulo de atrito, a coesão, o peso específico do solo e o método de cálculo a ser utilizado (Bishop, Janbu e Fellenius).

Enquanto o método de Bishop e Janbu consideram o equilíbrio de forças, o método de Fellenius considera o equilíbrio de momentos.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o intuito de analisar o desempenho e as características do solo que constitui o talude em estudo, foram coletadas amostras do solo para efetuação dos ensaios. Para isso, como já supracitado, coletaram-se amostras de solo, deformadas e indeformadas, utilizando-se tubos de PVC 75 mm, cada um com cerca de 30 cm de comprimento.

Ademais, para a análise da estabilidade, utilizou-se do software *GeoStudio 2021 - Slope/W da GEO-SLOPE International Ltd.* versão estudantil.

A descrição dos ensaios, bem como a descrição dos dados utilizados no software *GeoStudio* se encontram a seguir.

### 5.1 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

#### 5.1.1 Ensaio de Granulometria

Sabe-se que, no ensaio de granulometria, determina-se a quantidade percentual de material retido em cada peneira, de diferentes diâmetros. Inicialmente, separou-se a amostra seca deformada de, aproximadamente 100 g, e colocou-a em um conjunto de peneiras empilhadas de forma decrescente, isto é, a peneira de maior abertura situava-se no topo e a peneira de menor abertura situava-se na base.

Para o solo graúdo, as peneiras foram dispostas da seguinte forma: 38,1 - 28,4 - 19,1 - 9,5 - 4,8 - 2,0 mm. Já para o solo miúdo, foram dispostas da seguinte maneira: 1,2 - 0,6 - 0,42 - 0,30 - 0,15 - 0,074 mm (Figura 26).

Figura 26 - Conjunto de peneiras utilizadas no ensaio de granulometria

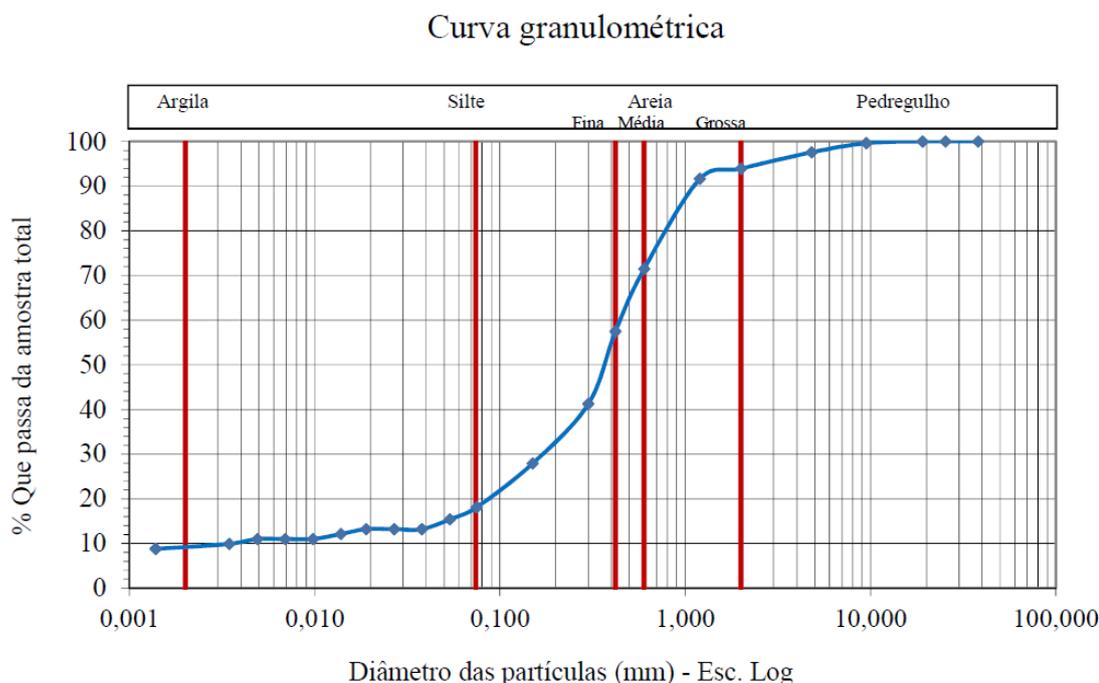


Fonte: Autora (2024).

Em seguida, agitou-se as peneiras, registrando-se a quantidade de amostra retida em cada peneira e, através de uma balança eletrônica, pesou-se a massa de cada fração que ficou retida.

Em posse dos dados obtidos, foi possível obter a curva granulométrica das amostras deformadas (Gráfico 05).

Gráfico 05 - Curva granulométrica das amostras deformadas



Fonte: Autora (2024).

Em relação ao diâmetro dos grãos, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) faz a classificação dos solos em cinco grupos distintos: pedregulhos, areias grossas, areias finas, siltes e argilas. Entretanto, devido às limitações físicas das peneiras utilizadas no ensaio de granulometria através de peneiramento, o percentual de silte e argila foram obtidos por meio do ensaio de sedimentação.

Em síntese, a análise granulométrica resultou nas seguintes porcentagens de materiais, conforme expõe a Tabela 11:

Tabela 11 - Resultado da granulometria das amostras

<b>Resumo da Granulometria - DNIT</b>	
<b>Material</b>	<b>%</b>
Pedregulho ( $d > 2,00$ mm)	6,08
Areia Grossa ( $0,42$ mm $< d \leq 2$ mm)	36,48
Areia Fina ( $0,074$ mm $< d \leq ,42$ mm)	37,73
Silte + Argila ( $d \leq 0,074$ mm)	19,72
Total	100,00
Areia Total (entre a Pen N <sup>o</sup> 10 e a 200)	74,21

Fonte: Autora (2024).

Em posse dos dados obtidos, verificou-se que o solo apresenta boa graduação, contendo uma quantidade expressiva de areia, além de apresentar, embora em menor quantidade, silte e argila. Desse modo, classificou-se o solo como uma areia argilo-siltosa, com presença de pedregulho.

### 5.1.2 Ensaio de Densidade Real

Para a determinação da densidade real das amostras coletadas, utilizou-se a metodologia contida na ABNT NBR 6458 (2016). No ensaio realizado, utilizaram-se dois picnômetros, com massas conhecidas, aos quais foram adicionadas amostras de solos de massas também conhecidas e, logo em seguida, preenchidas completamente com água destilada.

Realizou-se a pesagem das amostras contendo solo e água destilada, bem como a pesagem das amostras contendo apenas água destilada (Figuras 27 e 28).

Figura 27 - Picnômetro N° 2



Fonte: Autora (2024).

Figura 28 - Picnômetro N° 3



Fonte: Autora (2024).

Através da pesagem das amostras, e contendo alguns dados como a temperatura em que o ensaio foi realizado e a massa específica da água na temperatura do ensaio e na temperatura de 20°C, foi possível encontrar a densidade real das amostras, conforme consta na Tabela 12.

Tabela 12 - Resultado do ensaio de densidade real das amostras

<b>ENSAIO DE DENSIDADE REAL</b>			
<b>Picnômetro</b>	<b>Nº</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
P1 = massa do Pic. Limpo seco	g	43,95	39,12
P2 = P1 + solo seco	g	53,95	49,12
P3 = P2 + água	g	108,33	98,61
P4 = P1 + água	g	102,39	92,66
Temperatura de ensaio	°C	25,00	25,00
Massa esp. água temp. ensaio	g/cm <sup>3</sup>	0,9971	0,9971
Massa esp. água 20°C	g/cm <sup>3</sup>	0,9982	0,9982
Densidade 20°C	-	2,46	2,47
Densidade Média	-	2,47	
Densidade Real	-	2,46	

Fonte: Autora (2024).

Desse modo, a densidade real obtida foi de 2,46 g/cm<sup>3</sup>.

### 5.1.3 Ensaio dos Limites de Atteberg

Os ensaios de Limites de Atteberg, que também podem ser chamados de Limites de Consistência, possibilitam realizar a determinação dos limites de consistência do solo, que dizem respeito ao grau de ligação entre as partículas das substâncias. Quando aplicada a solos finos ou coesivos, a consistência está ligada ao teor de umidade.

O Limite de Liquidez (LL) estabelece o valor de umidade no qual o solo transita do estado líquido para o estado plástico. Tal limite é determinado através do aparelho de Casagrande (Figura 29), que permite a determinação do teor de umidade necessário para unir os bordos inferiores de uma canelura de 1 cm de comprimento aberta na massa de solo, após 25 golpes de mesma energia de impacto, por um cinzel de dimensões padronizadas.

Figura 29 - Aparelho de Casagrande utilizado no ensaio

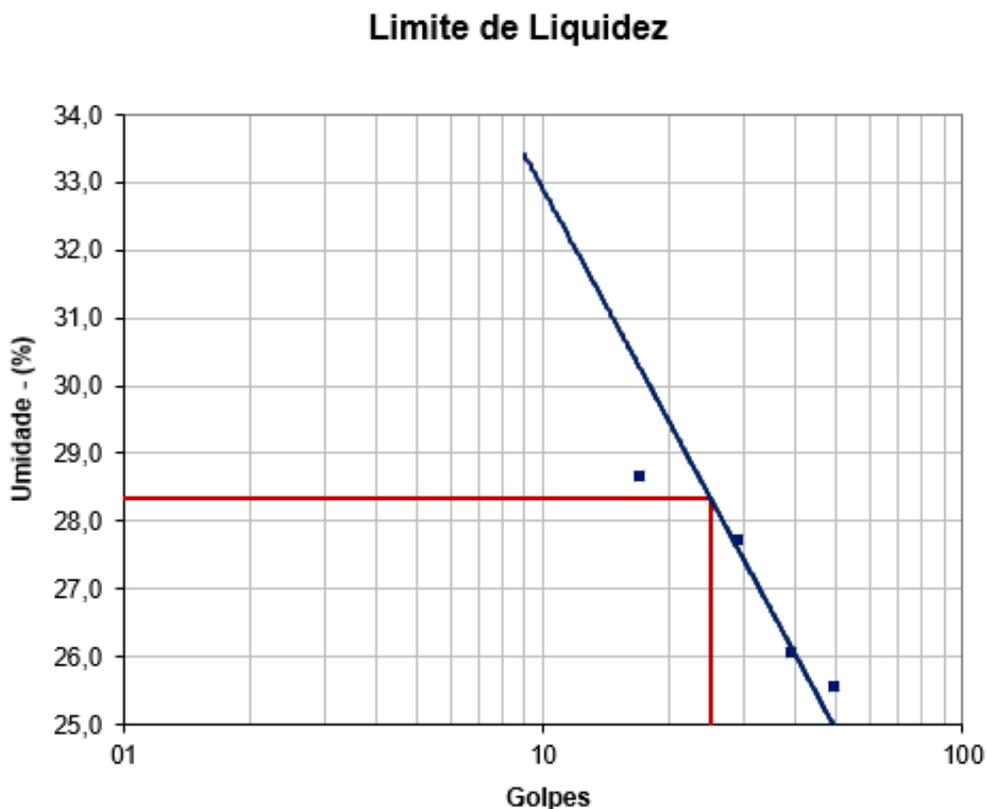


Fonte: Autora (2024).

No referido ensaio, realizou-se, repetidamente, o procedimento por cinco vezes, alterando-se gradativamente o teor de umidade. Com isso, obtiveram-se pontos de teor de umidade por golpes, que foram utilizados para traçar uma reta passando o mais próximo possível de todos os pontos.

O Limite de Liquidez pôde ser determinado por meio do Gráfico 06, traçando-se o ponto da reta que representa os 25 golpes.

Gráfico 06 - Resultado do Limite de Liquidez da amostra



Fonte: Autora (2024).

Desse modo, o valor encontrado para o Limite de Liquidez (LL) foi de 28,3%.

Já no ensaio do Limite de Plasticidade (LP), tem-se a definição do teor de umidade no qual o solo passa do estado plástico para o estado semissólido, representando a propriedade que permite o sólido ser moldado. Tal limite é estabelecido quando o solo começa a se fragmentar em pequenos pedaços quando enrolado em bastões de 3 mm de diâmetro, em uma placa esmerilhada. Isto é, é o menor teor de umidade em que o solo se comporta plasticamente.

A Figura 30 expõe as amostras coletadas nos ensaios de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade.

Figura 30 – Amostras dos ensaios de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade



Fonte: Autora (2024).

Após a pesagem das amostras e a realização dos cálculos, encontrou-se um valor de Limite de Plasticidade (LP) de 18,0%.

Em posse dos valores de LL e LP, foi possível obter o Índice Plasticidade (IP) da amostra, que indica a faixa de plasticidade do solo e é dado pela diferença entre o Limite de Liquidez (LL) e o Limite de Plasticidade (LP). O Índice de Plasticidade é diretamente influenciado pela composição do solo. Solos com menos valores de IP tendem a ser mais arenosos, enquanto solos com maiores valores de IP tendem a ser mais argilosos.

Obteve-se um IP de 10,3%, classificando o solo como medianamente plástico, de acordo com a Tabela 13, fornecida por Caputo (2015).

Tabela 13 - Classificação dos solos quanto ao Índice de Plasticidade

fracamente plásticos.....	$1 < IP < 7$
medianamente plásticos.....	$7 < IP < 15$
altamente plásticos.....	$IP > 15$

Fonte: Caputo (2015).

A Tabela 14 apresenta um resumo dos resultados dos limites de consistência encontrados.

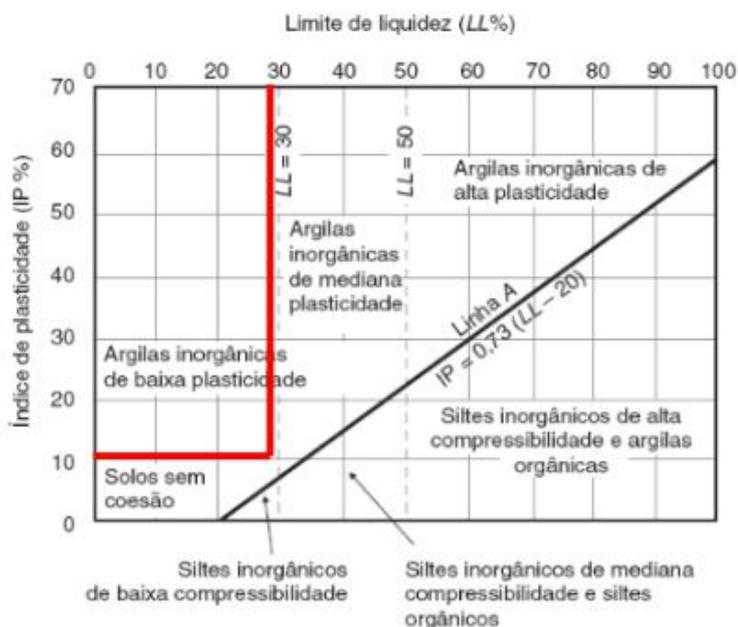
Tabela 14 - Resultados dos limites de consistência

Parâmetros	%
LL	28,3%
LP	18,0%
IP	10,3%

Fonte: Autora (2024).

Ademais, Caputo (2015) relaciona o LL e IP através de um ábaco (Figura 31). De acordo com o ábaco, é possível classificar o solo em relação à resistência à compressão e à coesão. Para valores acima da “LINHA A”, tem-se a predominância de argila no solo, enquanto para valores abaixo dessa linha tem-se a predominância de silte.

Figura 31 - Relação entre LL e IP



Fonte: Caputo (2015).

Segundo ábaco da Figura 31, tem-se que o solo estudado se encontra na região próxima a argilas inorgânicas de baixa plasticidade e solos sem coesão.

Ademais, tem-se que, apesar da alta concentração de areia, o solo apresenta argila em sua composição, ainda que em menor quantidade, conforme apresenta o ensaio de granulometria.

#### 5.1.4 Ensaio de Sedimentação

Para a realização desse ensaio, misturou-se 30,11 g de solo passante da peneira de número 100 com 20 mL de defloculante (hexametáfosfato de sódio e carbonato de sódio) e água destilada (até cobrir completamente a amostra). Tal amostra ficou em repouso por cerca de 21 horas.

Após esse período, a mistura foi colocada em uma proveta, onde a mesma foi completada com água destilada até alcançar o volume total de 1000 mL, conforme consta na Figura 32.

Figura 32 - Ensaio de Sedimentação



Fonte: Autora (2024).

Posteriormente, mergulhou-se o densímetro na proveta, realizando-se a leitura densimétrica da amostra e, após a leitura, retirou-se o densímetro, colocando-o em um recipiente com água. Tal processo foi repetido diversas vezes, nos intervalos de tempo presentes na Tabela 15. Para cada leitura realizada, foi possível determinar a % do solo em suspensão (silte e argila).

Tabela 15 - Resultados do Ensaio de Sedimentação

SEDIMENTAÇÃO						Massa de solo utilizada - g: 30,11			
Massa Específica dos Grãos de Solo ( $\text{g/cm}^3$ ): 2,46						Peneira utilizada: P <sub>10</sub>			100
Data	Hora da Leitura	Tempo da leitura (min)	Leitura Densim. $\text{Mg/cm}^3$	Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	Correção Temp. $\text{g/cm}^3$	Leitura Corrigida $\text{Mg/cm}^3$	Altura Queda (cm)	Diâmetro (mm)	% Amostra Total
07/03/2024	08:50	0,5	1,015	25	-	-	16,398	0,076	16,498
07/03/2024	08:51	1,0	1,014	25	-	-	16,398	0,054	15,399
07/03/2024	08:52	2,0	1,012	25	-	-	16,398	0,038	13,199
07/03/2024	08:54	4,0	1,012	25	-	-	16,398	0,027	13,199
07/03/2024	08:58	8,0	1,012	25	-	-	16,398	0,019	13,199
07/03/2024	09:05	15,0	1,011	25	-	-	16,398	0,014	12,099
07/03/2024	09:20	30,0	1,010	25	-	-	16,398	0,010	10,999
07/03/2024	09:50	60,0	1,010	25	-	-	16,398	0,007	10,999
07/03/2024	10:50	120,0	1,010	25	-	-	16,398	0,005	10,999
07/03/2024	12:50	240,0	1,009	25	-	-	16,398	0,003	9,899
08/03/024	08:50	1500,0	1,008	25	-	-	16,398	0,001	8,799

Fonte: Autora (2024).

### 5.1.5 Ensaio de Cisalhamento Direto

Esse ensaio apresenta como objetivo a determinação da resistência ao cisalhamento, em termos de tensões efetivas, utilizando-se do critério de ruptura de Mohr-Coulomb, através do equipamento de prensa de cisalhamento direto manual.

Neste equipamento, as cargas utilizadas funcionam em sistema de peso em pendural. Ademais, as leituras das deformações horizontais foram realizadas com o auxílio de um extensômetro com sensibilidade de 0,01 mm e uma célula de carga para determinação das forças horizontais (Figura 33).

Figura 33 – Equipamento para ensaio de cisalhamento direto



Fonte: Autoral (2024).

Os ensaios foram realizados em condições de solo natural e solo parcialmente saturado, para amostras diferentes, com as cargas variando entre 5 kg, 7,5 kg, 10 kg, 15 kg e 20 kg, obtendo-se uma relação entre a tensão cisalhante na ruptura e a tensão normal, sendo possível definir diretamente a envoltória de Mohr-Coulomb.

Para o solo natural, tem-se que, para cada leitura, este foi envolto por água no equipamento, durante 5 minutos, de modo a torná-lo parcialmente saturado. As Figuras 34 e 35 apresentam um corpo de prova natural cisalhado e um corpo de prova parcialmente saturado cisalhado, respectivamente.

Figura 34 - Corpo de prova natural cisalhado



Fonte: Autora (2024).

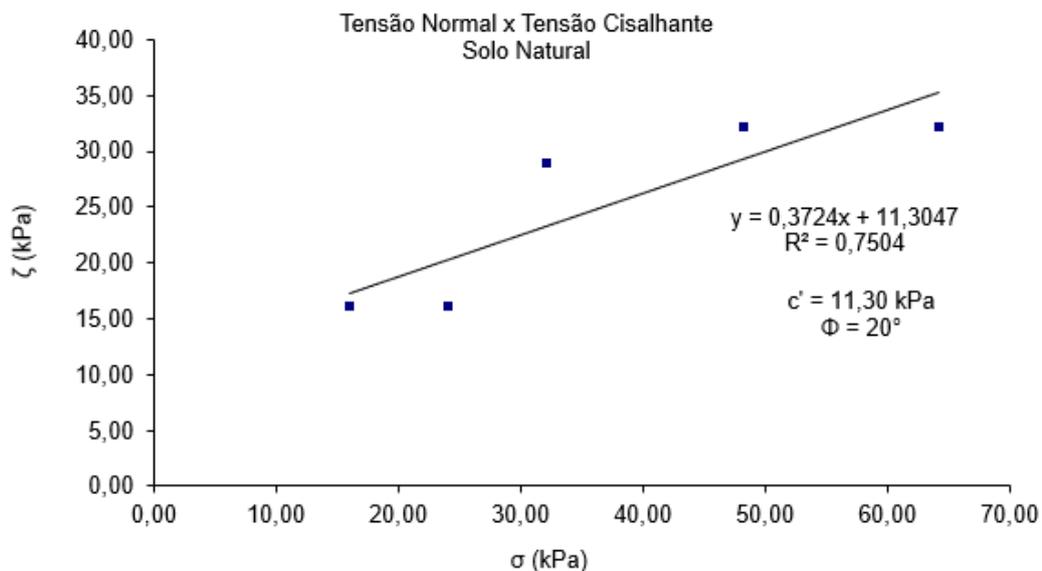
Figura 35 - Corpo de prova parcialmente saturado cisalhado



Fonte: Autora (2024).

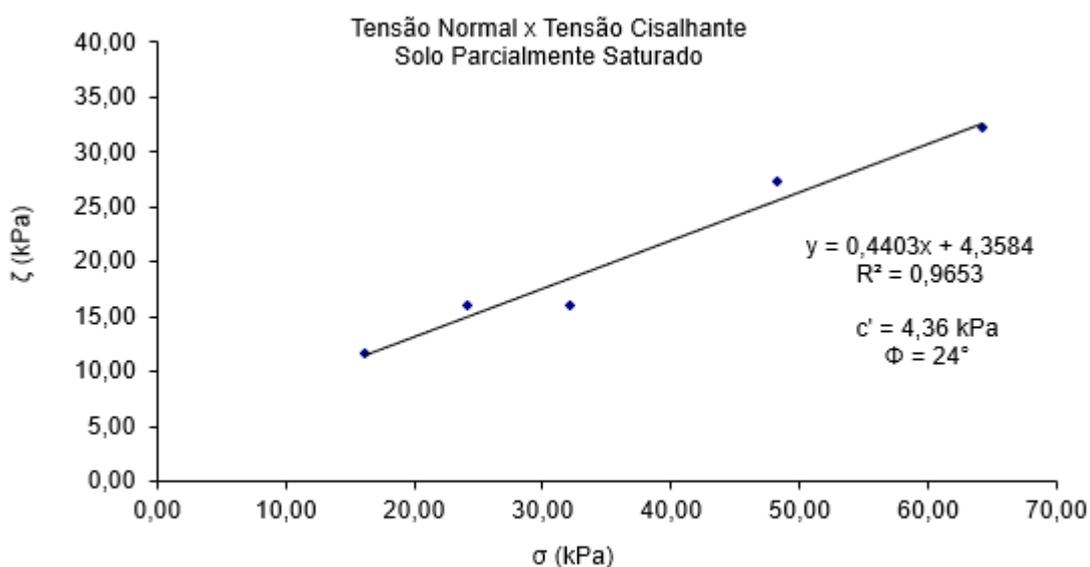
Em todos os ensaios realizados, a força  $F$  dada em kg foi utilizada de modo direto, registrando-se na célula de carga instalada. Utilizando-se os valores máximos de tensão de cisalhamento de cada ensaio, e seus respectivos valores correspondentes de tensão normal, foi possível gerar os gráficos de tensão cisalhante *versus* tensão normal para cada uma das situações propostas (solo natural e solo parcialmente saturado).

Gráfico 07 - Tensão cisalhante x Tensão normal (solo natural)



Fonte: Autora (2024).

Gráfico 08 - Tensão cisalhante x Tensão normal (solo parcialmente saturado)



Fonte: Autora (2024).

Nota-se que, para cada situação, tem-se um valor para o ângulo de atrito e para a coesão. A Tabela 16 abaixo apresenta os valores de ângulo de atrito e de coesão para cada uma das duas amostras estudadas.

Tabela 16 - Valores de coesão e ângulo de atrito das amostras

Condição	Ângulo de atrito	Coesão
Natural	20°	11,30 kPa
Parcialmente Saturado	24°	4,36 kPa

Fonte: Autora (2024).

## 5.2 ANÁLISE DE ESTABILIDADE ATRAVÉS DO *GEOSTUDIO*

A análise da estabilidade do talude foi feita através do *software GeoStudio 2021*, através da licença estudantil, na análise *Slope/W da GEO-SLOPE International Ltd.* No *software*, buscou-se descobrir o fator de segurança (FS) para as condições naturais do talude, bem como para as condições em épocas de chuva.

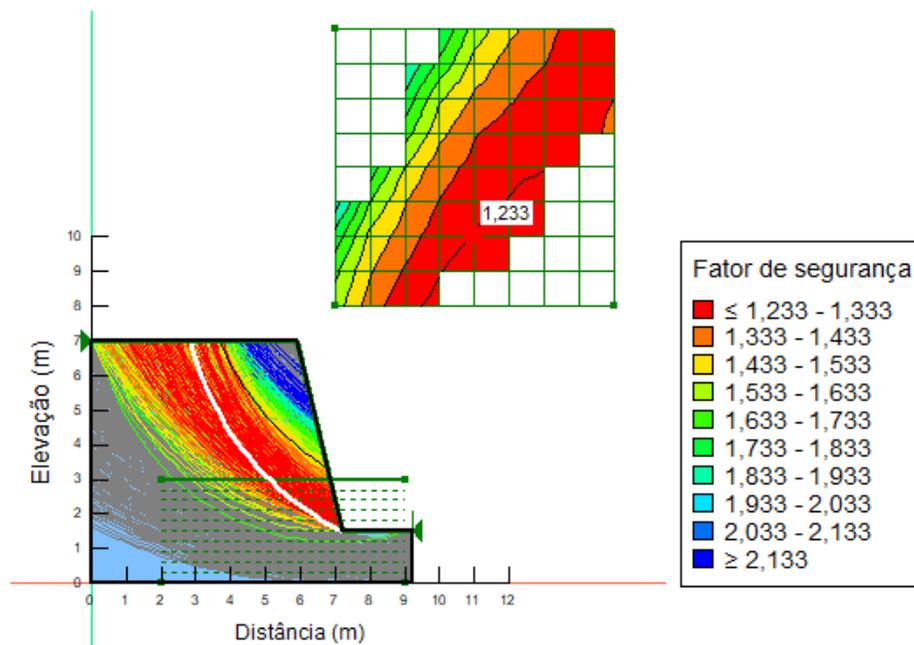
### 5.2.1 Modelagem no *software GeoStudio*

Para a determinação do FS foram utilizados três métodos de análise: Bishop, Janbu e Fellenius. Ademais, tanto para o talude natural, quanto para o talude parcialmente saturado, traçou-se um perfil com o menor fator de segurança, acompanhado de sua respectiva superfície de ruptura.

As análises de estabilidade foram executadas em modelo bidimensional. Para isso, necessitou-se informar alguns dados de entrada referentes ao talude em estudo: Dimensões do perfil e propriedades dos materiais (peso específico, coesão e ângulo de atrito). Para o peso específico do solo, utilizou-se o valor obtido em laboratório, de 16,25 kN/m<sup>3</sup>.

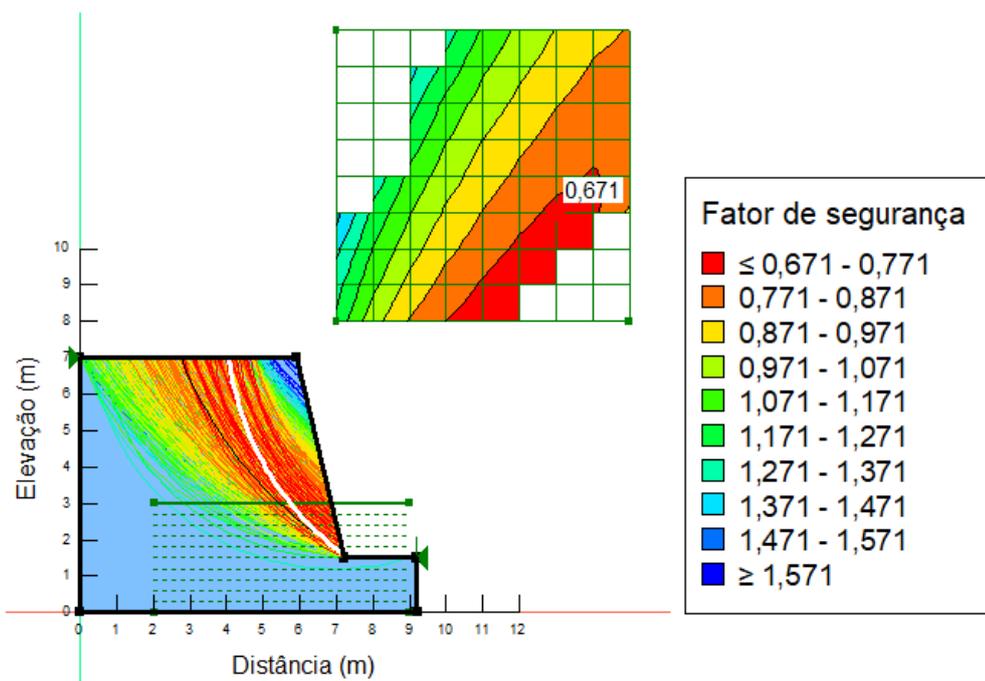
Com os dados da Tabela 16, e utilizando o *software GeoStudio*, foi possível representar o talude em estudo, obtendo-se o fator de segurança para cada situação (solo natural e solo parcialmente saturado), para cada um dos métodos de cálculo aplicados.

Figura 36 - Fator de Segurança do talude em estado natural pelo método Bishop



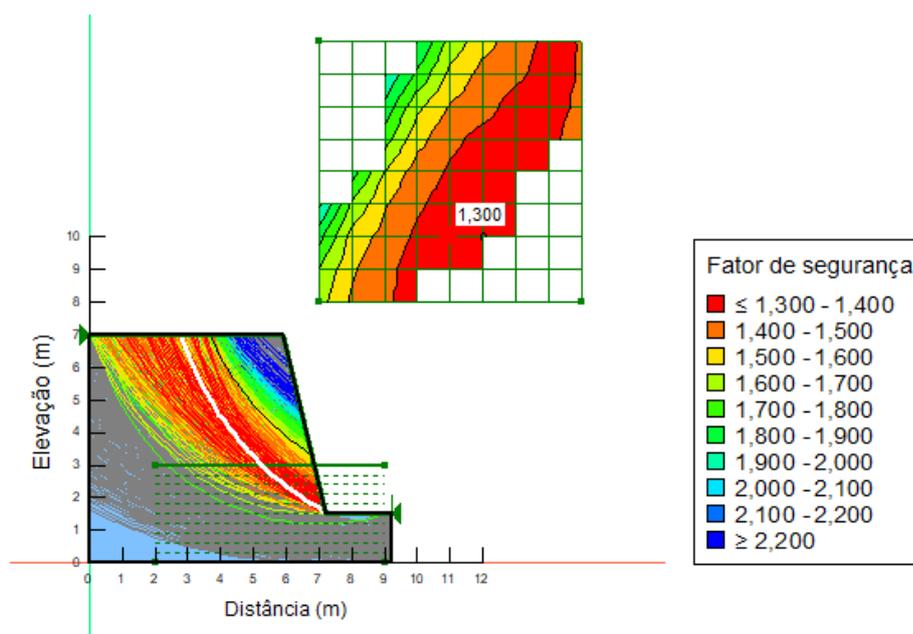
Fonte: Autora (2024).

Figura 37 - Fator de Segurança do talude em estado parcialmente saturado pelo método Bishop



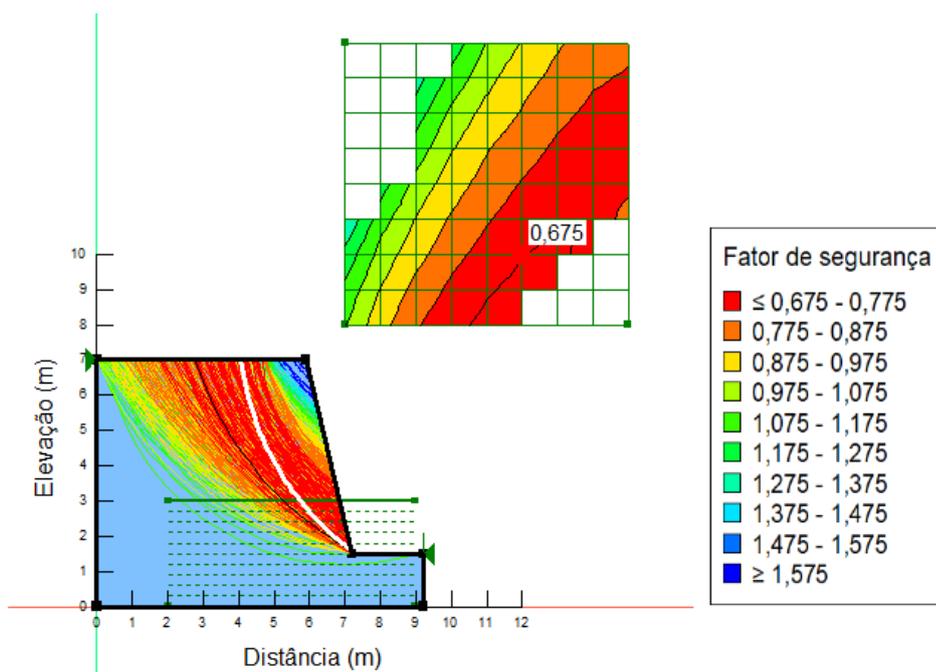
Fonte: Autora (2024).

Figura 38 - Fator de Segurança do talude em estado natural pelo método Janbu



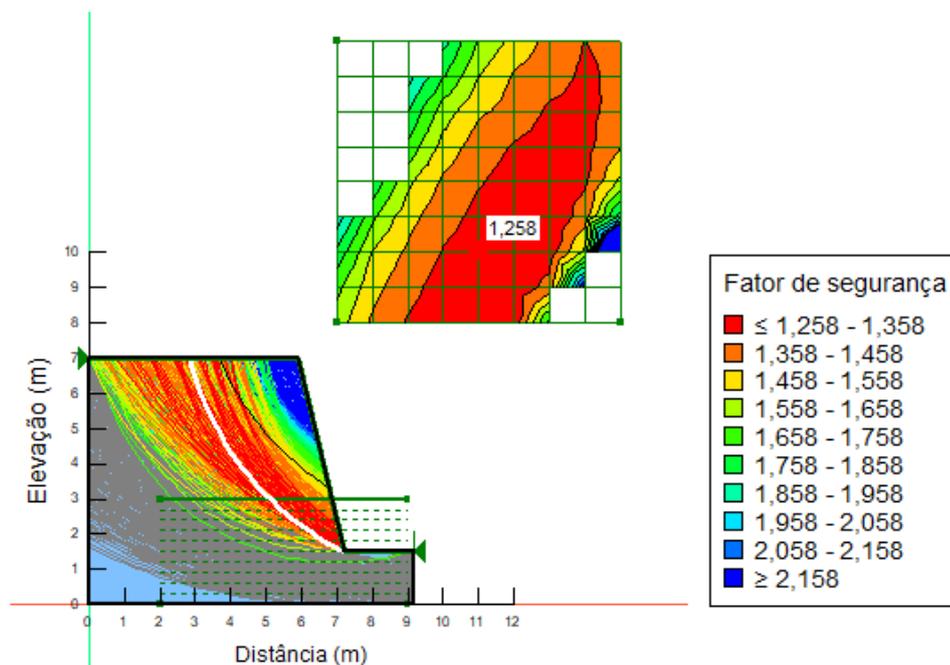
Fonte: Autora (2024).

Figura 39 - Fator de Segurança do talude em estado parcialmente saturado pelo método Janbu



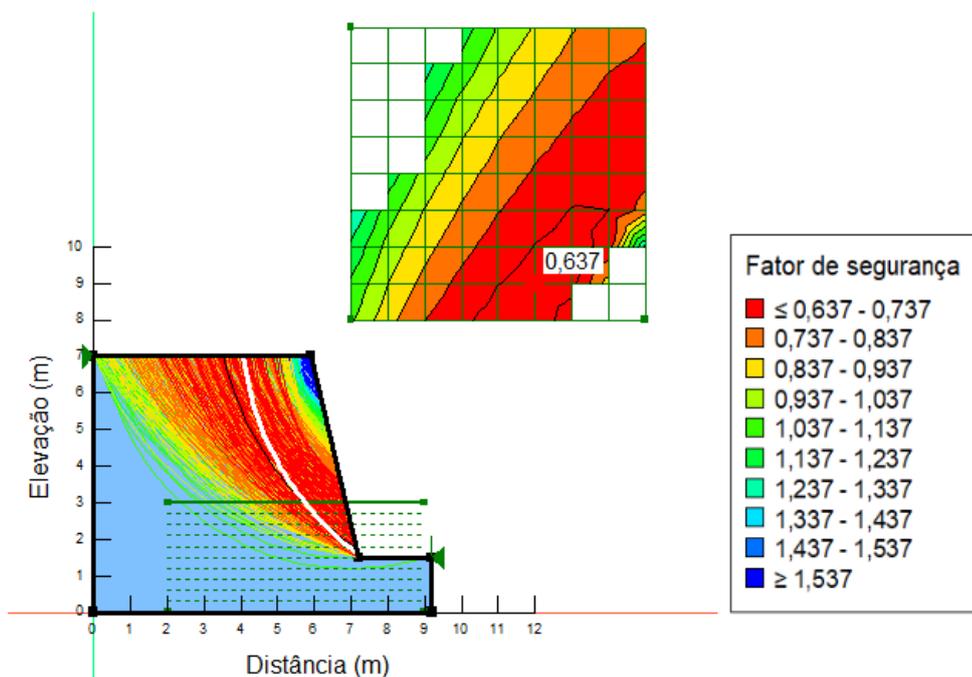
Fonte: Autora (2024).

Figura 40 - Fator de Segurança do talude em estado natural pelo método Fellenius



Fonte: Autora (2024).

Figura 41 - Fator de Segurança do talude em estado parcialmente saturado pelo método Fellenius



Fonte: Autora (2024).

A Tabela 17 abaixo apresenta os valores encontrados em cada método, para cada situação apresentada, a fim de estabelecer uma análise comparativa.

Tabela 17 - Valores de FS dos estados natural e parcialmente saturado para cada método de cálculo

Método de cálculo	Fator de Segurança (FS)	
	Natural	Parcialmente Saturado
Bishop	1,233	0,671
Janbu	1,300	0,675
Fellenius	1,258	0,637

Fonte: Autora (2024).

Analisando-se os valores apresentados na Tabela 16, tem-se que o valor mais crítico de FS para o talude em estado natural se deu pelo método de Bishop. Já para o talude em estado parcialmente saturado, o valor mais crítico se deu pelo método de Fellenius.

### 5.2.2 Análise comparativa com a NBR 11682 (2009)

Em posse dos dados de FS obtidos através da modelagem no *software GeoStudio*, foi possível realizar a comparação com a NBR 11682 (2009), que aborda a estabilidade de taludes.

Ao consultar a Tabela 03, tem-se que, quanto ao risco de perda de vidas humanas, o nível de segurança desejado é alto. Já no que tange o nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais, tem-se que, ao consultar a Tabela 04, esse é médio. Desse modo, ao relacionar esses níveis de segurança na Tabela 05, tem-se que o FS mínimo para que o talude se mantenha estável é de 1,5.

Tabela 18 – Comparação entre os valores de FS obtidos no *software GeoStudio* e a NBR 11682 (2009)

Método de cálculo	Fator de Segurança (FS)	
	Natural	Parcialmente Saturado
Bishop	1,233	0,671
Janbu	1,300	0,675
Fellenius	1,258	0,637
NBR 11682 (2009)	1,5	

Fonte: Autora (2004).

Ao comparar o FS mínimo preconizado na norma, com os valores obtidos ao realizar a modelagem no *software GeoStudio*, através da Tabela 18, tem-se que esses se encontram consideravelmente abaixo do estabelecido na NBR 11682 (2009). Desse modo, o talude se encontra instável e na iminência de rompimento, principalmente para a situação de solo parcialmente saturado.

## 6. CONCLUSÃO

Diante do supracitado, infere-se que o deslizamento é o tipo de movimento mais frequente na cidade de João Pessoa. A partir da junção dos dados bibliográficos e dos dados obtidos no estudo, comprova-se que os movimentos de massa estão diretamente ligados com o aumento dos índices pluviométricos na região. Ademais, também é possível constatar que a ocupação e o uso do solo são um fator preponderante no que tange a ocorrência de deslizamentos.

Ao realizar uma análise dos dados da COMPDEC-JP, entre 2014 e 2018, constatou-se que já ocorreu um deslizamento de massa no talude estudado, no ano de 2016. Além disso, ao analisar a precipitação diária no dia da ocorrência, verificou-se que essa superou demasiadamente a precipitação crítica de 7 dias, sendo possível apontar as chuvas intensas como um agente deflagrador do deslizamento registrado.

Em posse dos resultados alcançados nos ensaios geotécnicos de caracterização da amostra, é possível concluir que o solo do talude estudado apresenta boa graduação, levando-se a resultados esperados quando comparados a estudos análogos em taludes da formação barreiras.

Em relação à estabilidade do talude, observa-se que o fator de segurança existente entre as forças cisalhantes e a força normal atuantes no maciço, tem seu valor reduzido na situação parcialmente saturada (simulação de precipitação). Tal resultado se encontra dentro do esperado, uma vez que, em uma situação parcialmente saturada, a coesão do solo tem seu valor diminuído. Ademais, como já comprovado, altos índices pluviométricos apresentam relação direta com movimentos de massa.

Além disso, ao analisar o fator de segurança obtido para o talude em seu estado natural, nota-se que é um valor superior a condição de ruptura (fator de segurança menor ou igual a 1). Esse dado representa que, em seu estado seco, o solo não apresenta iminência de deslizamento. Entretanto, ao analisar o fator de segurança para a situação em que o solo se encontra parcialmente saturado, observa-se que o solo apresenta um fator de segurança menor ou igual a 1, indicando uma condição de ruptura, confirmando que, a partir de qualquer modificação em suas condições naturais, como chuvas intensas, o solo se encontra susceptível a deslizamentos.

Ademais, esse dado também comprova a susceptibilidade do bairro à ocorrência de movimentos de massa, conforme apontado por dados da COMPDEC-JP.

Ao comparar os fatores de segurança obtidos para cada uma das situações propostas, com os valores previstos na NBR 11682 (2009), infere-se que o talude em estudo se encontra com um fator de segurança abaixo do recomendado ( $FS = 1,5$ ), uma vez que esse apresenta alto risco em relação à perda de vidas humanas e médio risco em relação à danos materiais e ambientais. Desse modo, é possível afirmar que, diante da NBR 11682 (2009), o talude se encontra instável e na iminência de deslizamento, para as situações de solo seco e de solo parcialmente saturado.

Como proposta para pesquisas futuras, sugere-se o estudo da estabilidade dos demais taludes presentes no bairro do Roger, criando um banco de dados que abranja toda a região. Ademais, sugere-se também um estudo de soluções de estabilização para esses taludes, considerando os custos envolvidos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHRENDT, A. **Movimentos de massa gravitacionais - Proposta de um sistema de previsão: Aplicação na área urbana de Campos do Jordão – SP.** 2005. 364f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ARAI, M. (2006). **A grande elevação eustática do mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras.** Revista do Instituto de Geociências – USP. Série Científica, 2006. v. 6, n. 2, 1 – 6.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2009). NBR 11682 – **Estabilidade de encostas.** ABNT, Rio de Janeiro, RJ, 33p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016). NBR 6458 – **Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção da água.** ABNT, Rio de Janeiro, RJ, 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016). NBR 6459 – **Solo – Determinação do limite de liquidez.** ABNT, Rio de Janeiro, RJ, 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016). NBR 7180 – **Solo – Determinação do limite de plasticidade.** ABNT, Rio de Janeiro, RJ, 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016). NBR 7181 – **Solo – Análise Granulométrica.** ABNT, Rio de Janeiro, RJ, 7 p.

AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização Geológico-Geotécnica Voltada à Estabilização de Encostas: uma Proposta Metodológica.** 1º Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas (1º COBRAE), Anais, ABMS/ABGE, v. 2, 721-733, 1992.

AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J. C. **Estabilidade de taludes**. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de. Geologia de engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 243–269.

BIGARELLA, J. J.; PASSOS, E.; **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2003 v. 3 (p.877-1436).

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 7ª ed. Rio de Janeiro: LTC Editora S.A., 2015. 225p.

CAVALCANTI, M. M. **Estabilização de encostas com proteção superficial e drenagem superficial e profunda**. 2017. 97f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Mapa de Solos do Município de João Pessoa. Disponível em: <<http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.php?link=pb>>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

GERSCOVICH, D. M. S. **Estabilidade de taludes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. 2. ed. São Paulo: Edgar Blucher Ltda. Autores: Guido Guidicini e Carlos M. Nieble. Editora Blucher, 1984.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico de 2010**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/joao-pessoa/panorama>>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico de 2022**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/joao-pessoa/panorama>>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2024.

INFANTI, N. Jr; FORNASARI, N. Filho. **Processos da Dinâmica Superficial**. In: Oliveira, A. M. S. e Brito, S. N. A. Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, 1998, p. 131-152.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 30 de fevereiro de 2024.

FILHO, R. M. G.; SOARES, L. F. **Rainfall-landslide relationship for João Pessoa/PB - Brazil**. Geotecnia, n. 133, p. 51–62, 21 mar. 2015.

FARAH, Flavio. **Habitação e encostas**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2003, 312p.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. **Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica**. In: GUERRA, A. J. T. E CUNHA, S. B. (org.) Geomorfologia e Meio Ambiente. 4ª. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2003. cap. 3, p. 123-194.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FILIPEIA, Atlas Municipal de João Pessoa. Disponível em: <[https://filipeia.joaopessoa.pb.gov.br/files/atlas/Perfil\\_de\\_bairro.pdf](https://filipeia.joaopessoa.pb.gov.br/files/atlas/Perfil_de_bairro.pdf)>. Acesso em: 25 de janeiro de 2024.

FURRIER, M; ARAUJ, M. E; MENESES, L. F. **Geomorfologia e Tectônica da Formação Barreiras no Estado da Paraíba**. Geologia USP, série científica. 2006.

FURRIER, M. **Caracterização Geomorfológica e do Meio Físico da Folha de João Pessoa – 1:1000.000**. 213p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geografia Física, Departamento de Geografia - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

- LEROUEIL, S. *et al.* **Geotechnical characterization of slope movements.** In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF LANDSLIDES, no 7, 1996, Trondheim, p. 53-74.
- LIMA, A. F. **Comportamento geomecânico e análise de estabilidade de uma encosta da Formação Barreiras na área urbana na cidade do Recife.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, 2002.
- MARANGON, M. **Estabilidade de taludes.** Juiz de Fora: UFJP, 2009.
- MARTINS, L. M. Junior. **Análise da Correlação entre Movimentos de Massa e Dados de Precipitação de João Pessoa-PB.** 2021. 75f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2021.
- OLIVEIRA, L. M. (2010). **Acidentes Geológicos Urbanos.** MINEROPAR – Serviço Geológico do Paraná, Curitiba, PR, 1a edição, 78 p.
- PASSOS, D. D. **Alternativas de baixo custo para estabilização de taludes em áreas de risco e estudo de caso na comunidade do Roger, em João Pessoa-PB.** 72p. Trabalho de Conclusão de Curso - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.
- PAULINO, M. D. **Escorregamentos em Taludes: Análise de Estabilidade de um talude na Av. Beira Rio em João Pessoa/PB.** 62p. Trabalho de Conclusão de Curso - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2023.
- PARIZZI, M. G. *et al.* **Mecanismos de ruptura de taludes rochosos de Belo Horizonte, MG.** In: 5º Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas – COBRAE. Anais. São Paulo, 2009. 9p.

PELLEGRINA, Geórgia Jorge. **Proposta de um procedimento metodológico para o estudo de problemas geoambientais com base em banco de dados de eventos atmosféricos severos.** Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, 2011.

RAMOS FILHO, G. M. **Correlação entre Movimentos de Massa e Pluviosidade nas Encostas de João Pessoa/PB.** 63p. Trabalho de Conclusão de Curso - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

RAMOS, A. V. F. S. **Análise e proposta de baixo custo para estabilização de talude no bairro São José em João Pessoa-PB.** 107p. Trabalho de Conclusão de Curso - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2023.

RAMOS, A. V. F. S. *et al.* **Mapeamento de Risco e Educação Ambiental no bairro do Roger na cidade de João Pessoa.** In: 8º Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas – COBRAE. Anais. Porto de Galinhas - PE, 2021. 8p.

STEIN, R. T. *et al.* **Estabilidade de Taludes e Contenções,** Gênova Maria Pulz - Porto Alegre: SAGAH, 2021.

SILVA, L. F. **Análise de curva de correlação entre pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de João Pessoa (PB).** 73p. Trabalho de Conclusão de Curso - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres naturais: conhecer para prevenir.** 3 ed. Instituto Geológico. São Paulo, 2015.

ZUQUETTE, L. V. **Geotecnia ambiental.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.